

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Faculdade de Arquitetura
Mestrado em Planejamento Urbano e Regional

Giovani Longo Rosa

A mobilidade urbana e seus impactos à saúde populacional no Sul Global
Avaliação quantitativa em Porto Alegre, Brasil

Porto Alegre
2023

Giovani Longo Rosa

A mobilidade urbana e seus impactos à saúde populacional no Sul Global
Avaliação quantitativa em Porto Alegre, Brasil

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Planejamento Urbano e Regional pelo Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Júlio Celso Borello Vargas

Porto Alegre

2023

CIP - Catalogação na Publicação

Rosa, Giovani Longo

A mobilidade urbana e seus impactos à saúde populacional no Sul Global: Avaliação quantitativa em Porto Alegre, Brasil / Giovani Longo Rosa. -- 2023. 220 f.

Orientador: Júlio Celso Borello Vargas.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Porto Alegre, BR-RS, 2023.

1. Mobilidade urbana saudável. 2. Modelos quantitativos. 3. Saúde urbana. 4. Avaliação de Impacto à Saúde. 5. Saúde em todas as políticas. I. Vargas, Júlio Celso Borello, orient. II. Título.

Giovani Longo Rosa

A mobilidade urbana e seus impactos à saúde populacional no Sul Global

Avaliação quantitativa em Porto Alegre, Brasil

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Planejamento Urbano e Regional pelo Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Júlio Celso Borello Vargas

Aprovado em: Porto Alegre, 12 de junho de 2023.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Júlio Celso Borello Vargas
PROPUR/UFRGS

Profa. Dra. Milena Kanashiro
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Profa. Dra. Raquel Canuto
PPGANS/UFRGS

Prof. Dr. Roger dos Santos Rosa
Departamento de Medicina Social/UFRGS

Aos meus pais Marlene e Paulo.
E a todos que trabalham diariamente para
proteger o maior bem de todos: a vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiro, quero agradecer aos meus pais Marlene e Paulo por seu amor e suporte incondicional durante todos esses anos. Tudo isso não seria possível sem vocês. À minha família e aos meus amigos por estarem sempre ao meu lado e entenderem o meu intenso envolvimento com o mestrado nos últimos dois anos. À Michelle, por ter iniciado tudo ao me incentivar a cursar com ela a disciplina de Transporte e Mobilidade Urbana no PROPUR em 2020 como aluno especial.

Ao meu orientador Júlio Celso Borello Vargas pelo convívio, por sua dedicação gigantesca à pesquisa e por auxiliar não só no desenvolvimento da dissertação, como também no meu crescimento como pesquisador, profissional e, principalmente, como pessoa. Muito obrigado pela oportunidade. *Grazie mille*.

Ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional (PROPUR) da UFRGS, representado por professores, servidores e estudantes, por todo o conhecimento adquirido e pelo convívio durante o mestrado. Aos meus colegas mestrandos e doutorandos, pela parceria durante esta jornada. Não teria sido a mesma experiência sem vocês, sentirei saudades!

Às equipes dos projetos de pesquisa “Mobilidade ativa, saúde e bem-estar: análise multiescalar da caminhabilidade em cidades brasileiras” e “Desigualdades sociais, ambiente alimentar, estado nutricional e doenças crônicas não transmissíveis no Rio Grande do Sul: uma análise ecológica geoespacial”, aqui representadas pelas professoras Milena Kanashiro e Raquel Canuto, por tudo o que passamos e fizemos juntos. Ao pessoal da sala 521 da Faculdade de Arquitetura da UFRGS por compartilharmos vários momentos desde o retorno das atividades presenciais. Ao professor Bruno Mello e a turma de Circulação e Transportes Urbanos de 2021/2 pela oportunidade de fazer o estágio de docência com vocês.

À Empresa Pública de Transporte e Circulação (EPTC), representada aqui por Osman e Márcio, e ao Diego, por disponibilizarem uma parte considerável dos dados que estruturam este trabalho. Ao professor Roger Rosa por esclarecer alguns conceitos epidemiológicos importantes para a dissertação. À professora Ana Larrañaga por seu auxílio no desenvolvimento dos cenários analisados. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida ao longo do mestrado e pelo suporte.

Finalmente, à vida, por permitir que tudo isso tenha acontecido.

Se as nossas metrópoles fossem um corpo humano, ele estaria doente: obesidade pelo crescimento exagerado; calvície representada pela destruição da cobertura vegetal; bronquite por anos de inalação de um ar poluído; acrescentam-se a isso o diagnóstico de impotência para fazer as políticas certas e o “mal de Alzheimer político”, dado que os neurônios dirigentes esquecem rapidamente os compromissos assumidos. Portanto, a saúde urbana precisa ser pauta de discussão urgente. Pois, se as cidades estão doentes, seus habitantes padecem junto.

(Paulo Saldiva, Vida Urbana e Saúde)

RESUMO

A vida nas cidades está bastante relacionada à demanda por mobilidade e aos seus efeitos nocivos sobre a saúde humana. No Brasil, este fenômeno é perceptível porque sua população é majoritariamente urbana há décadas e o planejamento urbano historicamente corroborou a construção de um tipo de deslocamento cotidiano constituído pelo uso massivo de transporte individual movido a combustível fóssil. Publicações apontam que esse padrão de mobilidade urbana gera consequências negativas à população que vão além dos congestionamentos e sinistros de trânsito, como as Doenças Crônicas Não Transmissíveis (DCNTs), em função desse modelo de urbanização e de um estilo de vida centrado no transporte motorizado. Na Academia, a necessidade de compreender esse fenômeno complexo tem aproximado as ciências da saúde e as disciplinas urbanas. O principal conceito tratado é o de “Determinantes Sociais da Saúde”, os fatores não-clínicos estruturantes da saúde humana, como a urbanização, intrinsecamente relacionada à desigualdade socioeconômica. Para expandir esse entendimento, as pesquisas têm estudado os impactos das “exposições” relacionadas ao ambiente urbano – inalação de poluição do ar e sedentarismo, por exemplo – nas condições de saúde da população, considerando “desfechos” como óbitos, casos de doenças crônicas, perdas de qualidade de vida e custos financeiros. Para sistematizar a aplicação desses conceitos no transporte, existe a denominada Avaliação de Impacto à Saúde (AIS), uma metodologia pouco explorada no contexto brasileiro e latino-americano, apesar da crescente discussão acerca da chamada mobilidade ativa (caminhada e bicicleta). Seu uso pode aproximar o planejamento urbano da intitulada “Saúde em Todas as Políticas”, abordagem que considera a saúde como aspecto-chave nas tomadas de decisão. A partir desse panorama, a pesquisa tem como objetivo principal identificar como padrões de mobilidade urbana provocam impactos à saúde populacional em uma grande cidade do Sul Global. A hipótese principal é que o predomínio do transporte individual motorizado no cotidiano tem associação com mais óbitos. Para atingir os objetivos, foi realizado um estudo de caso único para o município de Porto Alegre, Brasil, baseado em dados secundários – população, divisão modal, tempo diário médio de viagem, distância anual total percorrida, concentração média anual de PM2.5, gasto energético semanal. Foi realizada uma Avaliação de Impacto à Saúde quantitativa que compara o padrão de mobilidade urbana vigente em 2019 a quatro possibilidades futuras, duas centradas nos transportes ativo e público e outras duas com predomínio do transporte individual motorizado na divisão modal. Foram analisadas três exposições – poluição do ar (PM2.5), atividade física e sinistros de trânsito – e dois desfechos – mortalidade por causas naturais e mortalidade por sinistros de trânsito. Os cenários centrados na motorização individual apresentaram aumento nos óbitos em até 4,7%, enquanto os que priorizaram os modos ativos (a pé e bicicleta) e o transporte público coletivo reduziram a mortalidade em até 4,1%. Isto confirma a hipótese e pode informar políticas que previnam os efeitos deletérios à saúde da mobilidade urbana.

Palavras-chave: Mobilidade urbana saudável. Modelos quantitativos. Saúde urbana. Avaliação de impacto à saúde. Saúde em todas as políticas.

ABSTRACT

Life in cities is closely related to the demand for mobility and its detrimental effects on human health. In Brazil, this phenomenon is noticeable due to its predominantly urban population for decades, and urban planning historically supported the development of a daily commuting pattern characterized by the widespread use of individually fuelled fossil-fuel-powered transportation. Publications indicate that this urban mobility pattern generates negative consequences for the population beyond just traffic congestion and accidents, such as Non-Communicable Diseases (NCDs), stemming from this model of urbanization and a lifestyle centred around motorized transport. In the academic realm, the need to comprehend this complex phenomenon has brought the health sciences and urban disciplines closer together. The central concept being explored is that of "Social Determinants of Health", the non-clinical factors that shape human health, like urbanization, intrinsically tied to socioeconomic inequality. To further this understanding, research has delved into the impacts of "exposures" related to the urban environment – such as air pollution inhalation and sedentary behaviour – on population health conditions. This takes into consideration "outcomes" like deaths, instances of chronic diseases, decreases in quality of life, and financial costs. To systematize the application of these concepts to transportation, there's the so-called "Health Impact Assessment" (HIA), a methodology that has been relatively underexplored in the Brazilian and Latin American context, despite the growing discourse on active mobility (walking and cycling). Its utilization can bridge urban planning with the concept of "Health in All Policies", an approach that considers health a crucial aspect in decision-making. Given this context, the primary objective of the research is to identify how patterns of urban mobility impact the health of the population in a major city in the Global South. The main hypothesis is that the prevalence of motorized individual transport in daily life is associated with higher mortality rates. To achieve these objectives, a single-case study was conducted for the city of Porto Alegre, Brazil, based on secondary data – population, modal split, average daily travel time, total annual distance travelled, annual mean pollutant concentration, weekly energy expenditure. A quantitative Health Impact Assessment was performed comparing the current pattern of urban mobility in 2019 with four potential future scenarios – two focusing on active and public transportation, and the other two emphasizing motorized individual transport in the modal split. Three exposures were analysed – air pollution (PM_{2.5}), physical activity, and road crashes – along with two outcomes – natural-cause mortality and fatal road crashes. Scenarios centred around individual motorization showed an increase in deaths of up to 4.7%, while those prioritizing active modes (walking and cycling) and public transport reduced mortality by up to 4.1%. This confirms the hypothesis and could inform policies to mitigate the detrimental health effects of urban mobility.

Keywords: Healthy urban mobility. Quantitative models. Urban health. Health impact assessment. Health in all policies.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Vigitel 2021: comparação entre capitais brasileiras (excesso de peso) ...	18
Figura 2 – Vigitel 2021: comparação entre capitais brasileiras (atividade física no deslocamento).....	19
Figura 3 – Vigitel 2021: comparação entre capitais brasileiras (população insuficientemente ativa).....	19
Figura 4 – Vigitel 2021: comparação entre capitais brasileiras (depressão)	20
Figura 5 – Óbitos anuais por sinistros de trânsito em Porto Alegre entre 2010 e 2020 e comparação com metas da ONU	20
Figura 6 – Taxa de motorização em Porto Alegre entre 2001 e 2019.....	21
Figura 7 – Total de passageiros de ônibus em Porto Alegre entre 2001 e 2019.....	21
Figura 8 – Relação entre planejamento urbano e de transporte, meio ambiente e saúde.....	28
Figura 9 – Exposições e desfechos na relação entre transporte e saúde	29
Figura 10 – Funcionamento da abordagem quantitativa na Avaliação de Impacto à Saúde	39
Figura 11 – Funcionamento do <i>Health Economic Assessment Tool</i> (HEAT)	41
Figura 12 – Exposições e desfechos considerados nos modelos	42
Figura 13 – Síntese do processo de revisão sistemática de literatura	44
Figura 14 – Distribuição geográfica das cidades-caso na amostra	45
Figura 15 – Exposições abordadas nos trabalhos revisados	46
Figura 16 – Desfechos mais abordados nos trabalhos revisados	46
Figura 17 – Abordagens do modelo AIS presentes na amostra	48
Figura 18 – Exposições e desfechos considerados nos modelos	49
Figura 19 – O modelo inserido na abordagem quantitativa da Avaliação de Impacto à Saúde	50
Figura 20 – A construção de cenários na abordagem quantitativa da Avaliação de Impacto à Saúde	55
Figura 21 – Função exposição-resposta para atividade física.....	70
Figura 22 – Matriz de sinistros de trânsito.....	72
Figura 23 – Síntese da metodologia adotada no trabalho.....	79
Figura 24 – RMPA: distribuição populacional e estrutura viária principal.....	81
Figura 25 – Mapa de Porto Alegre 1839 – L. P. Dias.	82

Figura 26 – Evolução da estrutura urbana: arraiais e os acessos.....	83
Figura 27 – Evolução da estrutura urbana: fins do século XIX.....	84
Figura 28 – Evolução da estrutura urbana: meados do século XIX.....	85
Figura 29 – Evolução dos acessos e localização industrial.....	87
Figura 30 – Evolução da estrutura urbana: situação atual.	88
Figura 31 – POA: distribuição populacional e estrutura viária principal em 2019.....	89
Figura 32 – Síntese da metodologia aplicada na dissertação	100
Figura 33 – Módulo A: Poluição do ar (PM2.5).....	101
Figura 34 – Módulo B: Atividade física	106
Figura 35 – Módulo C: Sinistros de trânsito.....	113
Figura 36 – Modelo preliminar 1: “População”.....	118
Figura 37 – Modelo preliminar 2: “Padrões de mobilidade urbana”	120
Figura 38 – Modelo preliminar 3: Poluição do ar (PM2.5)	132
Figura 39 – Localização dos sensores	132
Figura 40 – Modelo preliminar 4: Atividade física	137
Figura 41 – Cenários: comparação da divisão modal	150
Figura 42 – Divisão modal estimada para os cenários analisados.....	151
Figura 43 – Síntese dos resultados em relação ao cenário A.....	152
Figura 44 – Níveis de eletrificação de frota analisados	156
Figura 45 – Síntese dos resultados em relação ao cenário A.....	157
Figura 46 – Atividade física: resultado da dissertação x análise de sensibilidade...	168
Figura 47 – Poluição do ar: resultado da dissertação x análise de sensibilidade....	169

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cálculo do ar inalado para o cenário contrafactual do exemplo	63
Tabela 2 – Cálculo do poluente inalado para o cenário contrafactual do exemplo....	65
Tabela 3 – Matriz de óbitos para o exemplo.....	73
Tabela 4 – Divisão modal: estatísticas descritivas	93
Tabela 5 – Metas de divisão modal: estatísticas descritivas	93
Tabela 6 – Função exposição-resposta para atividade física.....	109
Tabela 7 – Óbitos por sinistros de trânsito em 2019 (20 anos ou mais).....	114
Tabela 8 – População de Porto Alegre entre 1970 e 2010.....	119
Tabela 9 – Estimativa da população de Porto Alegre em 2019 e 2032.....	119
Tabela 10 – Quantidade total de viagens diárias	121
Tabela 11 – Divisão modal: TP	123
Tabela 12 – Divisão modal: TI.....	124
Tabela 13 – Divisão modal: modos ativos (a pé, bicicleta).....	125
Tabela 14 – Índice de mobilidade por população	127
Tabela 15 – Índice de mobilidade por perfil populacional.....	128
Tabela 16 – Dado de entrada: divisão modal por cenário	129
Tabela 17 – Concentração média anual de PM2.5 por sensor em 2020.....	133
Tabela 18 – Dado de entrada: distância anual total percorrida (TI e TP)	135
Tabela 19 – Tempo médio diário por pessoa em cada modo (por população e cenário)	142
Tabela 20 – Tempo médio diário por pessoa em cada modo (por perfil populacional e cenário)	142
Tabela 21 – Distâncias anuais percorridas por modo	143
Tabela 22 – PM2.5: Concentração média anual geral por cenário.....	144
Tabela 23 – Atividade física: prevalência e gasto energético total por população ..	145
Tabela 24 – Atividade física: prevalência e gasto energético total por perfil populacional	145
Tabela 25 – Óbitos por sinistros de trânsito em 2019 (20 a 64 anos)	146
Tabela 26 – Óbitos por sinistros de trânsito em 2019 (65 anos ou mais).....	146
Tabela 27 – Óbitos por sinistros de trânsito em 2019 (homens de 20 a 49 anos)...	147
Tabela 28 – Óbitos por sinistros de trânsito em 2019 (mulheres de 20 a 49 anos).147	

Tabela 29 – Óbitos por sinistros de trânsito em 2019 (homens de 50 a 64 anos)...	147
Tabela 30 – Óbitos por sinistros de trânsito em 2019 (mulheres de 50 a 64 anos).	147
Tabela 31 – Óbitos por sinistros de trânsito em 2019 (homens de 65 anos ou mais)	148
.....	148
Tabela 32 – Óbitos por sinistros de trânsito em 2019 (mulheres de 65 anos ou mais)	148
.....	148
Tabela 33 – Porto Alegre: óbitos em 2019 (causas naturais e sinistros de trânsito)	148
.....	148
Tabela 34 – Porto Alegre: “anos de vida perdidos” (YLL) em 2019 (causas naturais e sinistros de trânsito)	149
.....	149
Tabela 35 – Porto Alegre: óbitos e “anos de vida perdidos” em 2019 (todas as causas).....	149
.....	149
Tabela 36 – Impacto nos óbitos em relação ao cenário “A”	153
.....	153
Tabela 37 – Impacto nos “anos de vida perdidos” em relação ao cenário “A”.....	153
.....	153
Tabela 38 – Impacto financeiro da mortalidade (Valor Estatístico da Vida) em relação ao cenário “A”	154
.....	154
Tabela 39 – Resultados: Nível de eletrificação N0	158
.....	158
Tabela 40 – Resultados: Nível de eletrificação N1	158
.....	158
Tabela 41 – Resultados: Nível de eletrificação N2	159
.....	159
Tabela 42 – Resultados: Nível de eletrificação N3	159
.....	159
Tabela 43 – Resultados: Nível de eletrificação N4	160
.....	160
Tabela 44 – Divisão modal x eletrificação de frota (PM2.5): impacto no total de óbitos da população em relação ao cenário A-N0 (%).....	161
.....	161
Tabela 45 – Cenário B: resultados desagregados por perfil populacional (óbitos) em relação ao cenário base “A”	163
.....	163
Tabela 46 – Cenário B: resultados desagregados por perfil populacional (“anos de vida perdidos”) em relação ao cenário base “A”	164
.....	164
Tabela 47 – Cenário E: resultados desagregados por perfil populacional (óbitos) em relação ao cenário base “A”	165
.....	165
Tabela 48 – Cenário E: resultados desagregados por perfil populacional (“anos de vida perdidos”) em relação ao cenário base “A”	166
.....	166
Tabela 49 – Atividade física: análise de sensibilidade.....	167
.....	167
Tabela 50 – Poluição do ar: análise de sensibilidade.....	168
.....	168
Tabela 51 – Valor Estatístico da Vida: análise de sensibilidade.....	170
.....	170

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 CONTEXTO E PROBLEMA DE PESQUISA	15
1.2 OBJETIVOS E HIPÓTESE	22
1.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA	23
2 FUNDAMENTAÇÃO CONCEITUAL	24
2.1 SAÚDE URBANA: APROXIMAÇÕES ENTRE CIÊNCIAS DA CIDADE E DA SAÚDE	24
2.2 A MOBILIDADE URBANA COMO UM DOS ASPECTOS CENTRAIS DA SAÚDE URBANA	30
3 FUNDAMENTAÇÃO METODOLÓGICA	35
3.1 POLÍTICAS E PROJETOS DE MOBILIDADE URBANA: AVALIAÇÃO DE IMPACTO À SAÚDE	35
3.2 REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL)	42
3.2.1 Construção da sintaxe e critérios de inclusão e exclusão	42
3.2.2 Resultados – extrato da revisão	44
3.3 MÉTODO ANALÍTICO	49
3.3.1 Construção de cenários	55
3.3.2 Utilização do método em estudos de mobilidade urbana	56
3.3.2.1 Abordagem 1 (direta) – Exemplo (Poluição do ar – PM2.5)	57
3.3.2.1.1 Óbitos	58
3.3.2.1.2 “Anos de vida perdidos” - YLL	59
3.3.2.1.3 “Valor Estatístico da Vida”	59
3.3.2.2 Abordagem 2 (indireta) - Exemplo	60
3.3.2.2.1 Poluição do ar (PM 2.5)	60
3.3.2.2.2 Atividade física	67
3.3.2.2.3 Sinistros de trânsito	71
3.3.3 Unidade de análise	77
3.3.4 Dados utilizados	77
4 METODOLOGIA	79
4.1 UNIDADE DE ANÁLISE	80
4.1.1 Evolução da estrutura urbana	81

4.1.2 A mobilidade urbana vigente	89
4.2 CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS	92
4.2.1 Padrão de mobilidade urbana	92
4.2.2 Eletrificação da frota	96
4.3 ABORDAGEM ESCOLHIDA	98
4.3.1 Poluição do ar (PM2.5)	100
4.3.2 Atividade física	106
4.3.3 Sinistros de trânsito	112
4.4 AQUISIÇÃO E PREPARAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA.....	118
4.4.1 População	118
4.4.2 Padrões de mobilidade urbana	119
4.4.2.1 Quantidade total de viagens diárias	120
4.4.2.2 Divisão modal	121
4.4.2.3 Tempo diário por pessoa no modo de transporte	126
4.4.2.4 Distância total anual percorrida no modo de transporte	129
4.4.3 Exposições	131
4.4.3.1 Poluição do ar.....	131
4.4.3.2 Atividade física	136
4.4.3.3 Sinistros de trânsito	140
4.4.4 Desfechos – mortalidade (causas naturais e sinistros de trânsito)	140
4.4.4.1 Óbitos	140
4.4.4.2 YLL – “Anos de vida perdidos”	141
4.4.4.3 “Valor Estatístico da Vida”	141
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	141
5.1 DADOS DE ENTRADA.....	141
5.1.1 Padrão de mobilidade urbana	141
5.1.2 Exposições	143
5.1.3 Desfechos	148
5.2 AVALIAÇÃO DE IMPACTO À SAÚDE	150
5.2.1 Padrão de mobilidade urbana	150
5.2.2 Eletrificação de frota	155
5.2.3 Distribuição dos impactos por perfil populacional	162
5.3 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	167
5.4 CONTRIBUIÇÕES, LIMITAÇÕES E ESCOLHAS DA PESQUISA	170

6 CONCLUSÃO	174
REFERÊNCIAS.....	176
APÊNDICE A — ANÁLISE DE DESAGREGAÇÃO DOS DADOS POR VARIÁVEL POPULACIONAL.....	194
APÊNDICE B — CÁLCULOS MÓDULO POLUIÇÃO DO AR (PM2.5).....	195
APÊNDICE C — CÁLCULOS MÓDULO ATIVIDADE FÍSICA.....	203
APÊNDICE D — POLUIÇÃO DO AR: CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO MÉDIA ANUAL DE PM2.5 POR CENÁRIO	214
APÊNDICE E — SINISTROS DE TRÂNSITO: CÓDIGOS CID E CLASSIFICAÇÃO DO PAR VÍTIMA-COLIDENTE	216

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO E PROBLEMA DE PESQUISA

As cidades, apesar de concentrarem as principais oportunidades econômicas e interação sociocultural, também são lugares cujos hábitos e estilo de vida dos habitantes estão associados a efeitos nocivos sobre a saúde humana (NIEUWENHUIJSEN; KHREIS, 2019).

Historicamente, a relação dos centros urbanos com a saúde humana foi documentada por questões relacionadas à higiene – principalmente pela água – e à proliferação de epidemias de doenças transmissíveis como a cólera, a peste bubônica, a varíola e a sífilis, com o surgimento da Epidemiologia moderna ocorrendo durante o combate à cólera no ambiente urbano da Londres industrial (FABIANI; BERCOVICI, 2022; JOHNSON, 2010; MUMFORD, 1998). A construção das cidades foi influenciada pelos pensamentos higienistas desenvolvidos no período, principalmente nas intervenções em Paris do Barão Haussmann, na proposta de cidade-jardim de Howard e nas obras de Le Corbusier (CHOAY, 2013; LE CORBUSIER, 2013; MASTROMAURO, 2010; MUMFORD, 1998).

Contudo, a partir de meados do século XX, ocorrem algumas transições notáveis: a **demográfica**, com o aumento da expectativa de vida da população e o controle da natalidade, e a **epidemiológica**, com o predomínio das doenças crônicas não transmissíveis sobre as transmissíveis (ARAÚJO, 2012; OMRAN, 1971). Ou seja, a população que morria jovem por doenças infecciosas como cólera, febre tifoide e varíola passou a morrer mais velha devido às doenças cardiovasculares, respiratórias, diabetes, câncer etc.

Nos países de alta renda, com o relativo controle das doenças transmissíveis, foi percebido que as desigualdades nas condições de vida influenciam não só no acesso de parcelas notáveis da população às inovações na saúde, como também nas próprias condições de saúde. Emergiu o entendimento de que a saúde é influenciada por fatores que vão além do sistema de saúde e que moldam a vida da pessoa, denominados

Determinantes Sociais da Saúde – DSS (OLIVEIRA; EGRY, 2000; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2022a, sem data).

Com movimento “Cidades Saudáveis” e a Carta de Ottawa, foi construída a compreensão de que o processo de urbanização está inserido neste conceito por sua relação com as iniquidades presentes na sociedade e que as cidades precisam promover melhores condições de vida e saúde. Isso teve impactos tanto no âmbito acadêmico pelas interações entre as ciências médicas e as disciplinas urbanas para a formação de uma área interdisciplinar denominada “**Saúde Urbana**” quanto na prática de planejamento ao estabelecer o conceito de “**Saúde em todas as políticas**”, que é a preocupação com os impactos das políticas públicas na saúde populacional durante a sua construção. Com isso, foram desenvolvidas metodologias para auxiliar a formulação de políticas de promoção de saúde, como a **Avaliação de Impacto à Saúde – AIS** (AZAMBUJA *et al.*, 2011; CAIAFFA *et al.*, 2008; NIEUWENHUIJSEN, 2020; RAMIREZ-RUBIO *et al.*, 2019; RYDIN *et al.*, 2012; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1986, sem data).

Ao observar a mobilidade urbana, essa questão também está presente. Apesar da grande prioridade dada aos sinistros de trânsito e às emissões de carbono na prática do planejamento urbano e de transporte, cresce a quantidade de evidências apontando de forma cada vez mais precisa a relação entre o padrão de mobilidade centrado no transporte individual motorizado – predominante na maior parte dos centros urbanos globais e especialmente em países do dito “Sul Global”, onde a imensa maioria dos veículos apresenta motores a combustão fóssil – e diversos efeitos deletérios às populações urbanas perceptíveis apenas a médio e longo prazo, como as doenças crônicas não transmissíveis (DCNTs) e a obesidade (IUNGMAN *et al.*, 2021; KHOMENKO *et al.*, 2020; MAIZLISH *et al.*, 2013; MUELLER *et al.*, 2015, 2017b, 2017a; NIEUWENHUIJSEN; KHREIS, 2019; ROJAS-RUEDA *et al.*, 2016; THONDOO *et al.*, 2020; WOODCOCK *et al.*, 2009).

Ao mesmo tempo, tem sido consolidado o entendimento de que a adoção do denominado transporte ativo, através da caminhada e da bicicleta, em conjunto com o uso do sistema de transporte público é a opção que pode promover as melhores condições de saúde populacional, em comparação com o modelo vigente centrado na motorização individual e no aumento das

distâncias percorridas (NIEUWENHUIJSEN, 2020; NIEUWENHUIJSEN; KHREIS, 2019; ROJAS-RUEDA *et al.*, 2016; SALGADO *et al.*, 2020).

Em função dessa preocupação com a saúde, as avaliações de impacto no transporte de alguns países do Norte Global – que originalmente tinham como foco somente a viabilidade econômica e depois incorporaram as questões ambientais – tem estimado os impactos à saúde populacional por meio de modelos quantitativos, trazendo quantidades de óbitos, casos de doenças, alterações na expectativa de vida saudável, além dos impactos financeiros de planos, projetos, cumprimento de metas de sustentabilidade ou mudanças no padrão de mobilidade urbana (MAIZLISH *et al.*, 2013; MUELLER, N. *et al.*, 2018; MUELLER *et al.*, 2020; OTERO; NIEUWENHUIJSEN; ROJAS-RUEDA, 2018; ROJAS-RUEDA *et al.*, 2011, 2012, 2016; WHITFIELD *et al.*, 2017; WOODCOCK *et al.*, 2014; WOODCOCK; GIVONI; MORGAN, 2013).

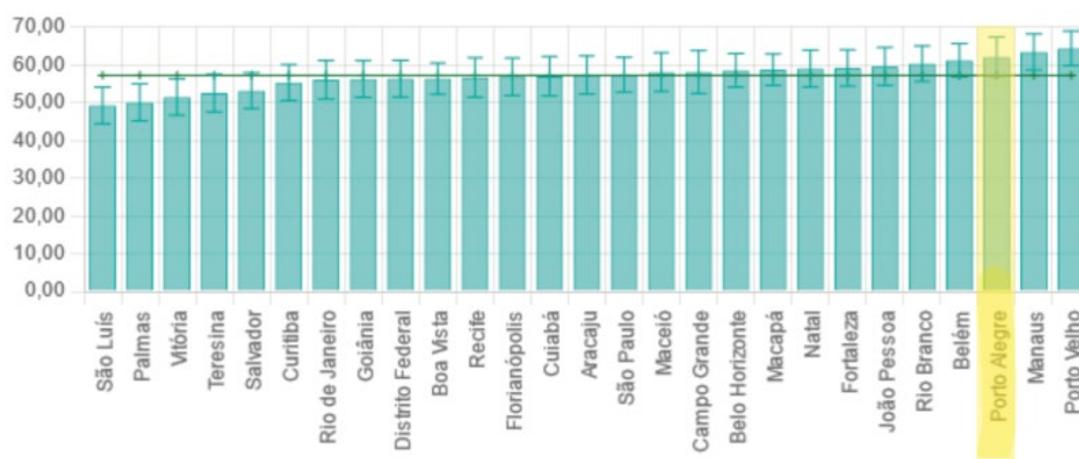
No Brasil, país do chamado “Sul Global” que passou por um intenso processo de urbanização entre 1940 e 1980 (BENEDET *et al.*, 2015), os impactos à saúde pela vida nas cidades são uma realidade para um grande número de pessoas, pois estima-se que 87% de sua população em 2018 era urbana (UNITED NATIONS; DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS; POPULATION DIVISION, 2019). Isso representa um contingente considerável de indivíduos com variadas demandas por mobilidade e que exercem pressão diária sobre os sistemas de transporte urbano.

Em resposta a esse fenômeno, desde os anos 1970 foram desenvolvidos vários planos e projetos ao longo de décadas com o objetivo pretense de atender a essa demanda de modo racional, principalmente por meio do transporte público motorizado. Contudo, o resultado desse processo histórico foi justamente a priorização do dito transporte individual motorizado a base de combustíveis fósseis, representado por veículos como o automóvel e a motocicleta, após anos de predomínio do transporte público. O motivo para isso foi a construção de cidades fragmentadas com dinâmicas espaciais (nas escalas urbana e regional) estruturadas em viagens pendulares longas que dificultam a adoção de modais ativos no cotidiano, reflexo de uma abordagem tecnocrática no planejamento do transporte urbano que não considerou os pedestres e os ciclistas no processo de construção e implantação das políticas (ABRAMO, 2007; ROSA *et al.*, 2022; VASCONCELLOS, 2018).

Desde os anos 2000, a pauta da “sustentabilidade” tem sido incorporada no planejamento urbano brasileiro, especialmente com a proposta “Política Nacional de Mobilidade Urbana Sustentável” (BRASIL, 2004), enquanto que os modais ativos de transporte têm sido cada vez mais incorporados no planejamento da mobilidade, especialmente após a promulgação da Política Nacional de Mobilidade Urbana (BRASIL, 2012). No entanto, as discussões sobre as relações entre saúde e mobilidade urbana no âmbito das cidades brasileiras ainda são tímidas ou praticamente inexistentes (ROSA *et al.*, 2022).

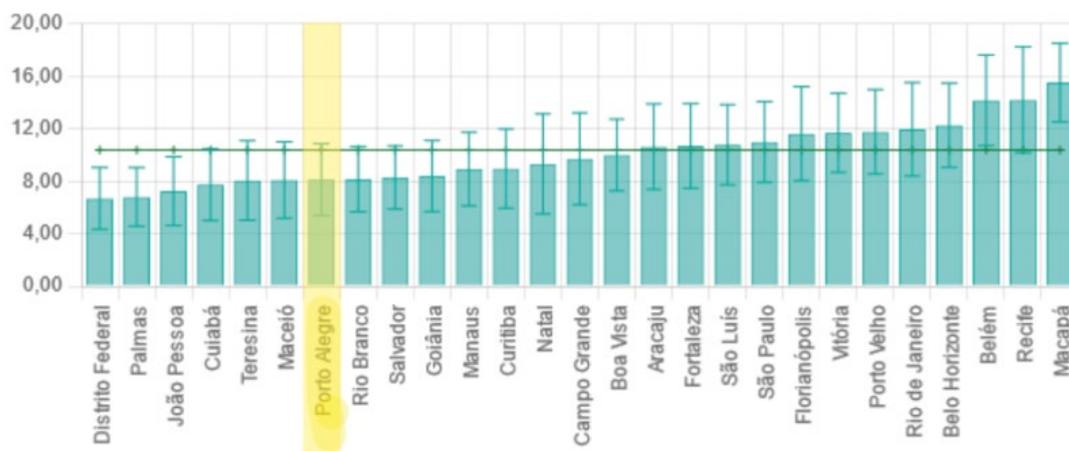
Dentro desse contexto de uma “privatização do transporte” (VASCONCELLOS, 2017, 2018) associada à promoção indireta de mal-estar populacional está inserido o município de Porto Alegre. A capital estadual do Rio Grande do Sul apresenta alguns dos piores indicadores de saúde entre as 27 capitais no Brasil, conforme dados do Vigitel 2021 (Figura 1): terceiro maior percentual de pessoas acima do peso (Figura 1), sétimo menor percentual de pessoas que fazem atividade física durante o deslocamento (Figura 2) e as maiores taxas de população insuficientemente ativa (Figura 3) e de diagnóstico de depressão (Figura 4) (BRASIL, 2022a, 2022b), apesar do seu esforço para a redução dos óbitos por sinistros de trânsito (Figura 5).

Figura 1 – Vigitel 2021: comparação entre capitais brasileiras (excesso de peso)



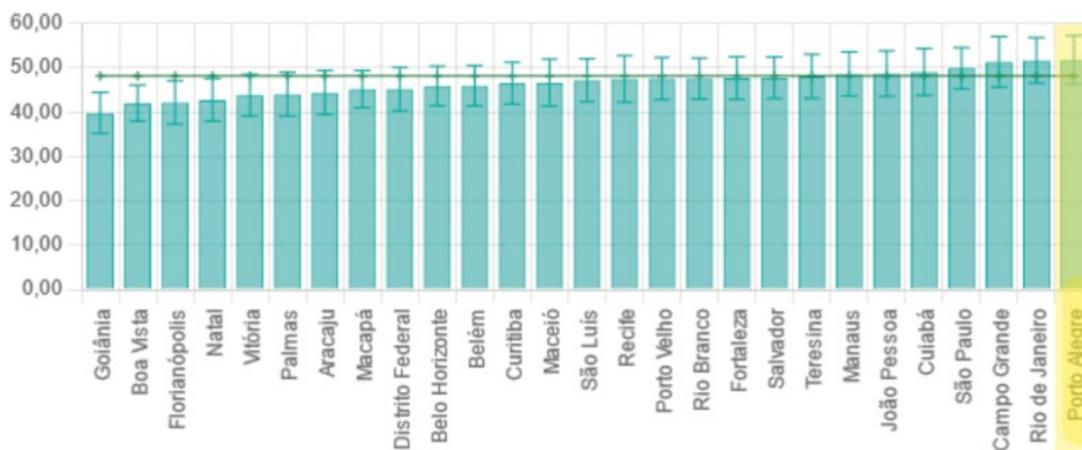
Fonte: Brasil (2022a) e Vargas (2023).

Figura 2 – Vigitel 2021: comparação entre capitais brasileiras (atividade física no deslocamento)



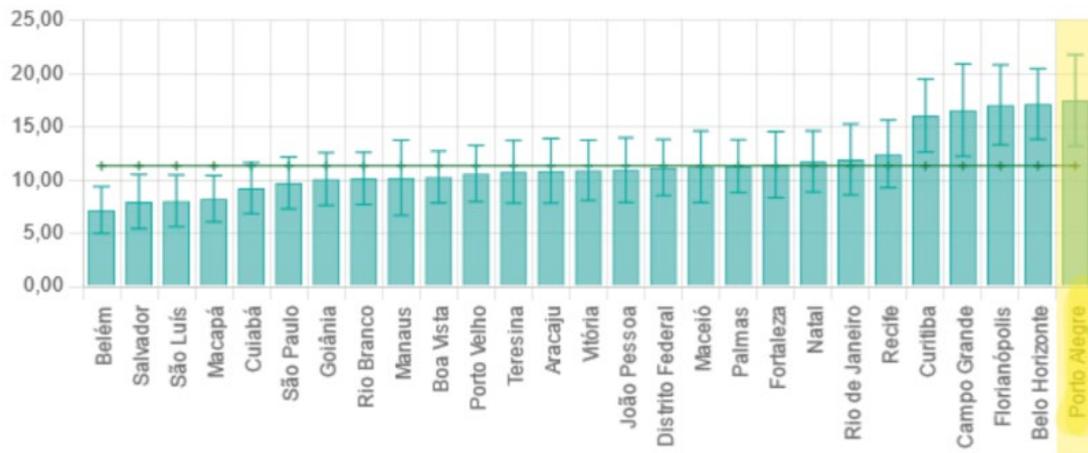
Fonte: Brasil (2022a) e Vargas (2023).

Figura 3 – Vigitel 2021: comparação entre capitais brasileiras (população insuficientemente ativa)



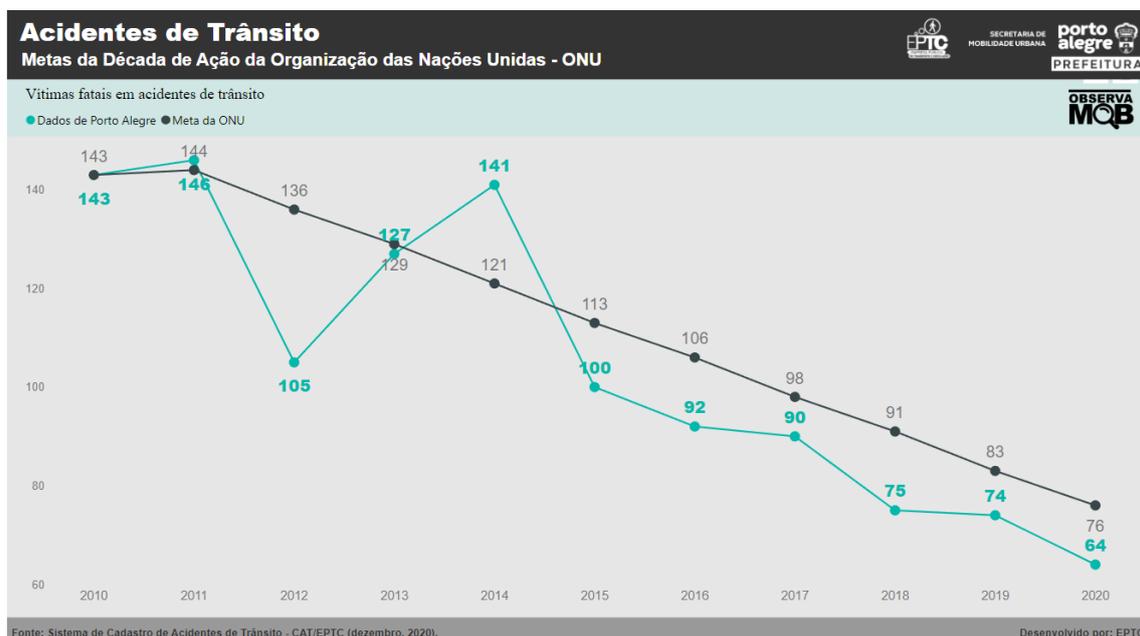
Fonte: Brasil (2022a) e Vargas (2023).

Figura 4 – Vigitel 2021: comparação entre capitais brasileiras (depressão)



Fonte: Brasil (2022a) e Vargas (2023).

Figura 5 – Óbitos anuais por sinistros de trânsito em Porto Alegre entre 2010 e 2020 e comparação com metas da ONU

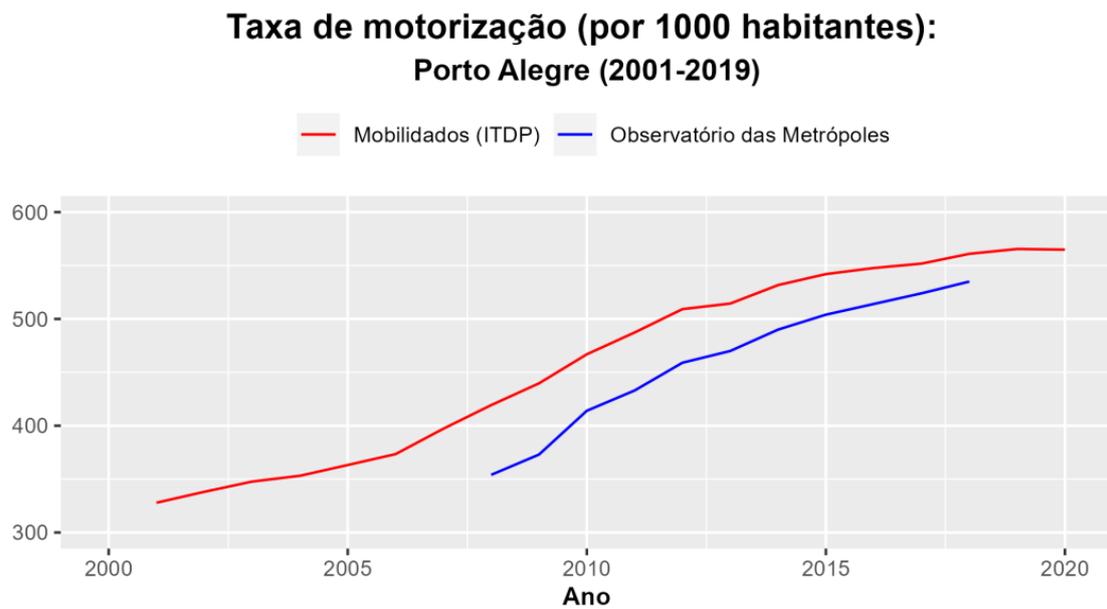


Fonte: EPTC (sem data).

Ao mesmo tempo, existem algumas publicações apontando aumento nas taxas de motorização no município e em sua Região Metropolitana (Figura 6) durante o período entre 2001 e 2019 (ITDP, sem data; RODRIGUES, 2019) enquanto o transporte por ônibus reduziu consideravelmente o número de

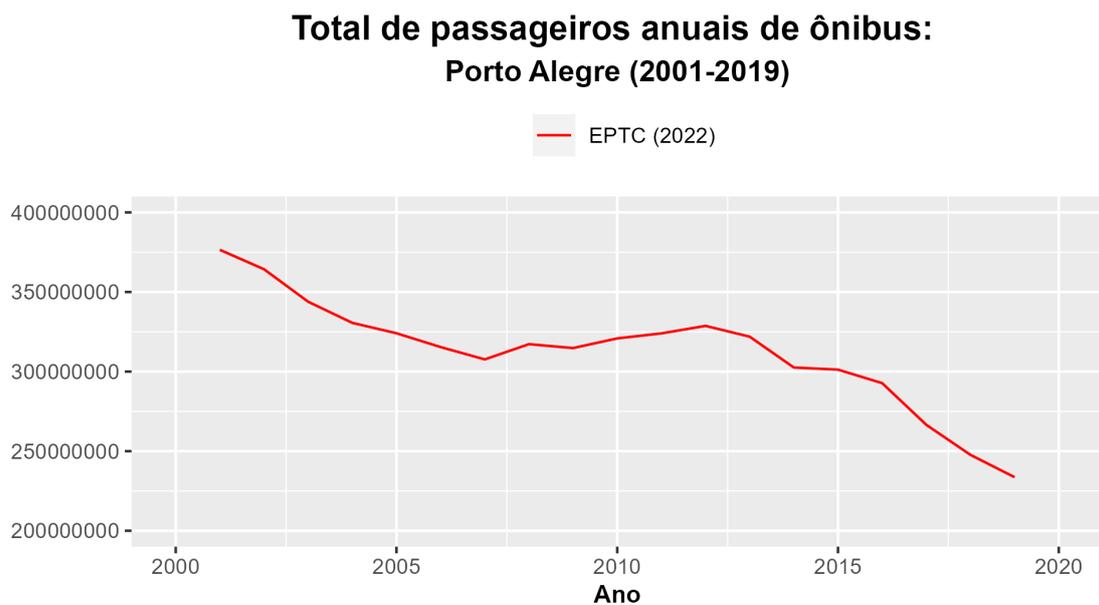
passageiros transportados anualmente no mesmo período (Figura 7) (EPTC, 2022).

Figura 6 – Taxa de motorização em Porto Alegre entre 2001 e 2019



Fonte: Elaboração própria, a partir de ITDP (sem data) e RODRIGUES (2019).

Figura 7 – Total de passageiros de ônibus em Porto Alegre entre 2001 e 2019



Fonte: Elaboração própria, a partir de EPTC (2022).

Além disso, os produtos do planejamento da mobilidade urbana porto-alegrense apontam para a falta de reflexão sistemática acerca dos efeitos nocivos do transporte urbano vigente à saúde populacional, o que vai de encontro à crescente inserção da temática dos meios ativos de transporte (ROSA *et al.*, 2022). Percebe-se isso devido à escassez de dados quantitativos atualizados sobre o padrão vigente de mobilidade urbana e a visão da cidade para o futuro, já que a última pesquisa origem-destino foi realizada em 2003 (EPTC, 2004a) e o Plano de Mobilidade (MobiliPOA) aprovado em 2022 não expõe metas objetivas para o futuro de Porto Alegre, apenas faz a análise de forma qualitativa (PORTO ALEGRE, 2018b), conforme o seu Prognóstico da Mobilidade Urbana apresenta:

O estudo do prognóstico da mobilidade do PMU de Porto Alegre se concentrou, sobretudo em **análises qualitativas**, que consistiram em identificar tendências e em fazer um exercício de análise de projeção da sua influência sobre as variáveis analisadas. A escolha por concentrar a análise neste tipo de abordagem foi motivada inicialmente **pela insuficiência ou desatualização de dados quantitativos históricos** de origem e destino de pessoas, para todos os modais, com abrangência municipal ou metropolitana. [...] Sendo assim, a meta principal desta etapa de prognóstico **não é fazer uma projeção matemática do futuro com base em variáveis controladas**, mas descobrir imagens de futuros prováveis e possíveis, com alguma segurança fornecida pelas tendências identificadas, que possibilitem a construção do plano de ação para a mobilidade urbana. (PORTO ALEGRE, 2018b, p. 5, grifo nosso)

A partir disso, definiu-se como questão de pesquisa: **“Quanto o padrão de mobilidade urbana está impactando a saúde da população em uma grande cidade do Sul Global?”**.

1.2 OBJETIVOS E HIPÓTESE

Com base na situação apresentada, o objetivo principal da pesquisa é **identificar como padrões de mobilidade urbana, representados pela divisão modal, provocam impactos à saúde populacional em uma grande cidade do Sul Global**.

A partir disto, os objetivos específicos são:

- Identificar a metodologia de Avaliação de Impacto à Saúde (AIS) para aplicação nas decisões de mobilidade urbana;

- Mapear as principais exposições e desfechos analisados na Avaliação de Impacto à Saúde;
- Definir cenários de mobilidade urbana com diferentes modos de transporte para simular os impactos à saúde.

A hipótese principal do trabalho é que o protagonismo do transporte individual motorizado no cotidiano está associado a mais óbitos em relação a um padrão centrado no transporte ativo e público coletivo.

1.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A estratégia de pesquisa adotada foi o estudo de caso único em uma cidade (município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil) a fim de estudar profundamente o fenômeno e com isso alcançar um conhecimento amplo e detalhado (YIN, 2018). A abordagem do problema é quantitativa, pois são utilizados dados numéricos, técnicas estatísticas e modelos matemáticos para a resposta ao problema.

Construímos cenários relativos aos padrões de mobilidade urbana e ao uso de veículos elétricos com base em informações presentes em planos, projetos, relatórios e medições. A partir deles, foram calculados os impactos de cada cenário na mortalidade por causas naturais e na mortalidade por sinistros de trânsito a partir de três fatores de risco, aqui denominados “exposições”: poluição do ar, atividade física e sinistros de trânsito. Utilizamos três indicadores para expressar a variação na mortalidade: óbitos, “anos de vida perdidos” (*Years of Life Lost - YLL*) e impactos monetários (Valor Estatístico da Vida). A população analisada foi a de 20 anos ou mais e foram considerados os anos de 2019 (cenário base) e 2032 (cenários contrafactuais).

Esta dissertação está estruturada em seis partes. Após a introdução são apresentadas a fundamentação conceitual e a fundamentação metodológica. Em seguida, há a descrição da metodologia adotada. O capítulo 5 traz os resultados e a sua discussão. Na sexta e última seção, são expressas as conclusões.

2 FUNDAMENTAÇÃO CONCEITUAL

2.1 SAÚDE URBANA: APROXIMAÇÕES ENTRE CIÊNCIAS DA CIDADE E DA SAÚDE

A relação entre as cidades e a saúde pode ser traçada desde a Antiguidade. Na Roma antiga, a higiene estava presente no cotidiano pela instalação de equipamentos relacionados à água – termas, casas de banho, fontes e aquedutos – e ao esgoto, como a Cloaca Máxima (MUMFORD, 1998).

Na Idade Média, período em que ocorreu a primeira epidemia de Peste Bubônica (ou Peste Negra), as cidades europeias possuíam hábitos e dispositivos sanitários considerados rudes, que eventualmente provocavam doenças relacionadas à contaminação da água e dos alimentos. Por outro lado, o contato com os conhecimentos árabes sobre medicina trouxe algumas inovações: foram construídos vários hospitais neste período, e foi estabelecida a “quarentena” para os visitantes, que ficavam nas enfermarias de isolamento (FABIANI; BERCOVICI, 2022; MUMFORD, 1998).

Na Idade Moderna, a Europa viu a invenção do vaso sanitário doméstico por *Sir* John Harrington, que demorou a ser incorporada no cotidiano, e o emprego do papel higiênico, uma prática chinesa. No entanto, a quantidade de água por habitante diminuiu com o tempo, já que a infraestrutura de aquedutos do século XVI não era mais suficiente para atender à população do século XVIII. Com isso, as doenças transmissíveis, como a varíola e a sífilis, floresceram (MUMFORD, 1998).

Com a Revolução Industrial, as cidades passaram a apresentar condições sanitárias piores que as do período anterior. As fábricas transformaram os rios em esgotos a céu aberto, muitas habitações não recebiam ventilação ou luz solar, dejetos eram arremessados diretamente na rua, a água não estava acessível para a maioria da população, e havia um mau cheiro característico na cidade. No período, proliferaram doenças como a peste bubônica, a febre tifóide e a cólera. Nesta época, nasce a Epidemiologia moderna a partir do estudo sistemático de John Snow sobre a cólera em Londres (JOHNSON, 2010; MUMFORD, 1998).

A partir da cidade industrial, o Higienismo passou a ser presente na reflexão sobre as cidades. Baseou-se na “teoria miasmática”, que atribui a causa das doenças aos ditos “miasmas”, emanações invisíveis que corromperiam o ar e a saúde humana com um cheiro repugnante. Por isso é um período de implantação dos grandes projetos urbanos, inspirados na abertura de grandes avenidas e na instalação do sistema de esgoto em Paris pelo barão Haussmann. Além disso, surgem propostas de aproximação entre cidade e natureza, como a cidade-jardim de Ebenezer Howard, que inspirou a criação dos subúrbios (CHOAY, 2013; JOHNSON, 2010; MASTROMAURO, 2010; MUMFORD, 1998).

Mais adiante, no início do século XX, o Modernismo também traz esta questão ao apresentar reflexões sobre a presença de áreas verdes, a incorporação de grandes espaços abertos, a insolação e a ventilação, tanto na escala do edifício quanto da cidade (CHOAY, 2013; LE CORBUSIER, 2013).

O término da 2ª Guerra Mundial em 1945 e a criação da Organização Mundial de Saúde (OMS) em 1948 representam um marco. Até então, a saúde estava associada ao sanitarismo, à higiene, ao enfrentamento de doenças transmissíveis. Com o controle relativo das doenças transmissíveis – como a erradicação da poliomielite e da cólera nos países de alta renda – e a constatação da existência de uma parcela considerável da população excluída desses avanços na saúde devido às suas condições de vida, a relação saúde-doença passa a ser observada sob a perspectiva social¹ (OLIVEIRA; EGRY, 2000; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2022a).

Essa necessidade de investigação emergiu devido à “transição epidemiológica”² (OMRAN, 1971), a mudança no panorama de morbimortalidade associada às alterações do perfil demográfico e socioeconômico de um território. Em função do envelhecimento populacional e da redução das taxas de fecundidade (a “transição demográfica”), as Doenças Crônicas Não Transmissíveis (DCNTs) passam a ser predominantes na

¹ A pandemia de COVID-19 (que não é escopo deste trabalho) tem mostrado, ao mesmo tempo, a relatividade desse controle sobre as doenças transmissíveis e as diferenças nos impactos à saúde devido aos fatores socioeconômicos.

² Nome também dado à teoria que aponta a existência de relações entre os padrões de saúde e de doenças em um território e seus determinantes demográficos e socioeconômicos.

população em detrimento das doenças infecciosas³. Este fenômeno foi identificado inicialmente em países de renda alta e há algumas décadas tem sido percebido em países como o Brasil (ARAÚJO, 2012; OMRAN, 1971).

DCNTs são condições clínicas desenvolvidas ao longo da vida, com início em idades jovens, a partir da interação entre fatores relacionados à herança genética, às condições de vida (exposição à poluição do ar, à intempérie e ao ruído) e à adoção de hábitos nocivos (sedentarismo, má alimentação e falta de lazer). Possuem muitas oportunidades de prevenção por serem de longa duração. São alguns exemplos as doenças cardiovasculares, algumas neoplasias, doenças respiratórias crônicas, diabetes *mellitus* tipo 2, além de doenças mentais e neurológicas como demências (doença de Parkinson, Alzheimer), ansiedade, depressão, entre outras (BRASIL, 2008).

Em geral, políticas de assistência à saúde – voltadas para o atendimento de demandas sociais dentro do sistema de saúde, como o acesso a infraestruturas como hospitais, farmácias e postos de saúde e o tratamento de doenças – são tidas como sinônimo de políticas de saúde. No entanto, as descobertas de que as condições de saúde são piores nas populações com menor renda em relação às mais ricas indica que a saúde é determinada por fatores externos ao sistema de assistência à saúde (OLIVEIRA; EGRY, 2000).

Com isso, surge o conceito de **Determinantes Sociais da Saúde – DSS** (*Social Determinants of Health - SDH*) relacionados às forças e agentes que moldam como uma pessoa vive e trabalha, e que acabam influenciando suas condições de saúde de forma desigual conforme sua condição socioeconômica, étnico-racial, cultural e religiosa (WORLD HEALTH ORGANIZATION, sem data).

A urbanização está inserida neste conceito porque a saúde pode ser vista como *criada e experimentada no próprio lugar da vida cotidiana*, possuindo relação direta com as desigualdades materiais existentes na sociedade e que influenciam desigualmente a saúde das populações. Esse entendimento tem origem no movimento “Cidades Saudáveis” da Organização Mundial de Saúde, cujo principal documento é a Carta de Ottawa, e que

³ Outra transição a ser comentada e influencia as DCNTs é a “transição nutricional” (não abordada na dissertação), relacionada às mudanças na dieta da população que aumentaram o consumo de gordura e reduziram a ingestão de fibras.

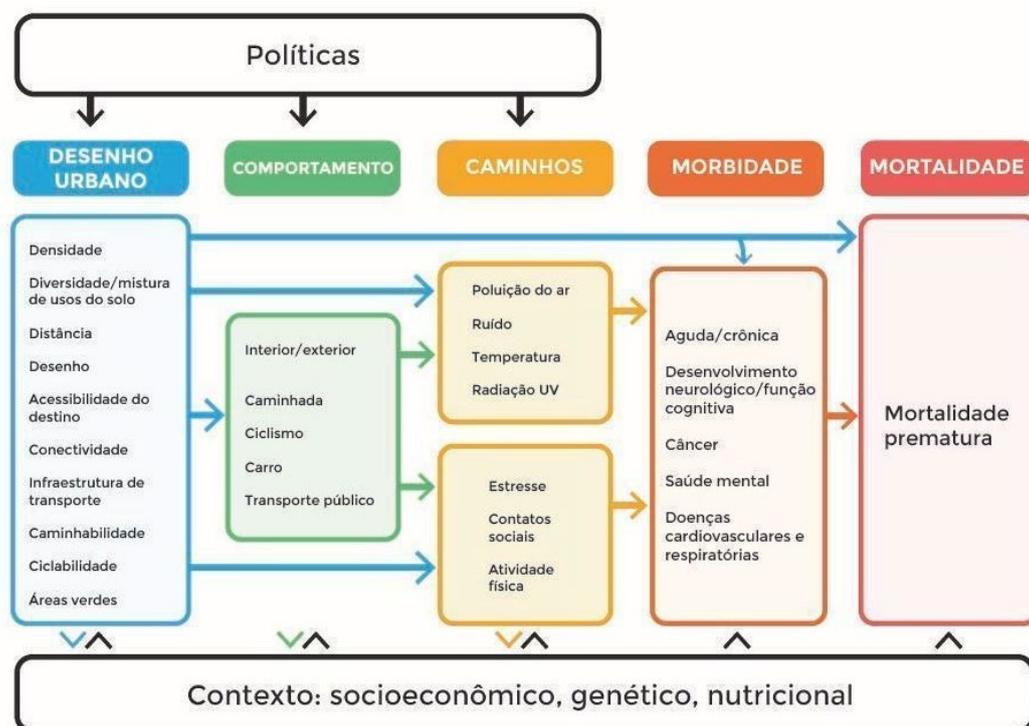
explicita a importância da dita “promoção de saúde” nos centros urbanos (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1986). Dentro da área de Planejamento Urbano e Regional, está relacionada a questões como habitação, acessibilidade e mobilidade urbana (AZAMBUJA *et al.*, 2011; RYDIN *et al.*, 2012; WORLD HEALTH ORGANIZATION, sem data).

Devido à compreensão do papel simultâneo do espaço urbano como notável promotor de doenças e de saúde, manifesto por meio de impactos nas condições de saúde populacional a médio e longo prazo, crescem as interações entre os estudos epidemiológicos e médicos e as disciplinas que estudam a cidade, como o Planejamento Urbano e a Geografia, o que indica avanços em direção ao estabelecimento de uma área do conhecimento interdisciplinar chamada “**Saúde Urbana**” (CAIAFFA *et al.*, 2008).

Em paralelo, desenvolveu-se o entendimento de que as políticas públicas – como as que envolvem o planejamento urbano, regional, ambiental e de transportes – interferem na saúde da população (Figura 8) e foi compreendida a necessidade de considerar a questão na sua formulação. A partir disso, surge o conceito de “**Saúde em todas as políticas**” (*Health in All Policies*)⁴, uma abordagem sistemática que leva em conta os impactos de qualquer política pública na saúde populacional de modo a evitar efeitos deletérios, melhorar as condições de saúde e promover equidade. Possui relação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, especialmente os ODS 3 (Saúde e bem-estar) e 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis). Está estruturada em evidências científicas e no uso de ferramentas de avaliação, como as Avaliações de Impacto à Saúde (AIS) (NIEUWENHUIJSEN, 2020; RAMIREZ-RUBIO *et al.*, 2019).

⁴ Tem sua origem para o âmbito internacional na Declaração de Alma Ata em 1978, embora existam relatos sobre a existência de trabalho similar na Finlândia em 1972. Foi implantada na União Europeia em 2006, durante a presidência finlandesa da entidade (STÄHL, 2018).

Figura 8 – Relação entre planejamento urbano e de transporte, meio ambiente e saúde



Nieuwenhuijsen, 2016 e 2018

Relação entre planejamento urbano e de transporte, meio ambiente e saúde. Traduzido de Nieuwenhuijsen (2020).

Fonte: Traduzido de Nieuwenhuijsen (2020).

Para compreender o surgimento de doenças nas populações de modo a possibilitar a sua erradicação e a promoção de saúde, as investigações epidemiológicas estão estruturadas na busca por relações de causa e efeito. Por isso, são dois conceitos-chave a **exposição** e o **desfecho** (Figura 9).

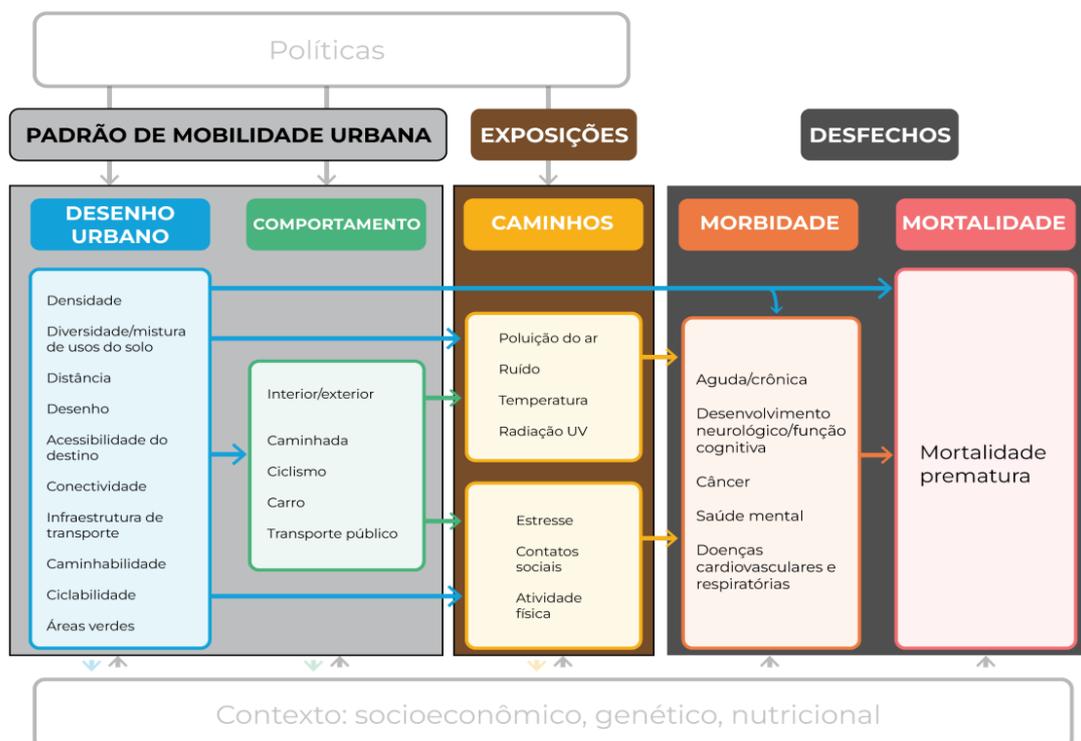
Exposição é o fator ao qual a população analisada está exposta e que exerce influência nas suas condições de saúde (LEE; PICKARD, 2013). Pode ser entendida como a “causa” da doença. São alguns exemplos a inalação de poluição do ar, a realização de atividade física em níveis insuficientes, a audição de ruído excessivo, as temperaturas extremas, a falta de acesso a áreas verdes como parques e praças, a inexistência de saneamento básico ou o consumo de alimentos ultraprocessados.

O conjunto dessas exposições e suas respostas biológicas acumuladas ao longo da vida é denominado “**expossoma**” (OLYMPIO *et al.*, 2019; VRIJHEID, 2014), uma analogia com o genoma. Está estruturado em três tipos de fatores: os “internos”, que são as características físicas individuais (idade, morfologia corporal, genoma), os “externos gerais”, relativos a aspectos

estruturais da população (condição socioeconômica, fatores sociodemográficos, local de residência, padrão de mobilidade urbana, clima, o ambiente urbano, etc.), e os “externos específicos”, que são voltados para o comportamento individual (prática de atividade física, alimentação, consumo de drogas, etc.) (OLYMPIO *et al.*, 2019; VRIJHEID, 2014).

Já o **desfecho** é a alteração nas condições de saúde provocada pela “**exposição**” (LEE; PICKARD, 2013). Ou seja, o “efeito” da doença na população em análise. Existem três modos de serem apresentados: por desfechos clínicos, desfechos de utilidade e desfechos monetários. O primeiro está associado aos efeitos mais diretos de uma doença, como óbitos e casos associados, o segundo expressa a preferência por uma situação através de indicadores de qualidade de vida relacionados a variações na expectativa de vida como o DALY (“anos de vida ajustados por incapacidade”, *disability-adjusted life years*), enquanto que o terceiro expõe a questão por meio de indicadores de custo financeiro como o Valor Estatístico da Vida/Valor da Vida Estatística (VEV ou VVE) (SILVA; SILVA; PEREIRA, 2016).

Figura 9 – Exposições e desfechos na relação entre transporte e saúde



Relação entre planejamento urbano e de transporte, meio ambiente e saúde. Traduzido de Nieuwenhuijsen (2020).

Fonte: Traduzido e adaptado de Nieuwenhuijsen (2020).

No Brasil, as evidências de estudos com foco na dita “Saúde Urbana” (AZAMBUJA *et al.*, 2011; CIRQUEIRA *et al.*, 2022; JONES *et al.*, 2019; MIRAGLIA; SALDIVA; BÖHM, 2005; RODRIGUES *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2012; VORMITTAG *et al.*, 2018) tem dificuldade de serem integradas na prática de planejamento urbano, principalmente sobre temas relacionados às fortes desigualdades socioespaciais e interesses econômicos, como o uso do solo urbano e o padrão de mobilidade urbana (MARICATO, 2008; ROLNIK; KLINTOWITZ, 2011; VASCONCELLOS, 2017, 2018).

2.2 A MOBILIDADE URBANA COMO UM DOS ASPECTOS CENTRAIS DA SAÚDE URBANA

Há a tendência de resumir a relação entre mobilidade urbana e saúde à incidência de **sinistros de trânsito** – anteriormente denominados “acidentes de trânsito” – dado que são eventos extremos que podem causar traumas, lesões graves (como fraturas ou amputações) e óbitos, que impactam consideravelmente as condições de vida dos envolvidos. A declaração das “Décadas Mundiais de Ação pela Segurança no Trânsito” (2011-2020 e 2021-2030) por ONU e OMS, além dos movimentos voltados à dita “Visão Zero” (*Vision Zero*) – busca pela eliminação dos sinistros de trânsito fatais – são exemplos da atenção que essa questão tem recebido nas últimas décadas (KIM; MUENNIG; ROSEN, 2017; ONU BRASIL, 2011; OPAS/OMS, 2021).

De acordo com a Classificação Internacional de Doenças – CID (*International Classification of Diseases - ICD*), os **sinistros de trânsito** são considerados **causas externas** (não-naturais) de mortalidade, assim como são os atos de violência (homicídios, suicídios), os acidentes e as mortes suspeitas (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2022b).

Por outro lado, a mobilidade urbana gera outras externalidades “invisíveis” que também impactam a saúde populacional, porém de forma gradual e que resultam nos chamados óbitos por “**causas naturais**”, relacionadas às falhas no funcionamento do corpo, como as DCNTs (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2022b).

A partir do entendimento de que as cidades exercem notável influência sobre as condições de saúde de suas populações, a mobilidade urbana passou

a receber crescente atenção das pesquisas sobre saúde urbana, pois o transporte motorizado é atualmente um dos principais responsáveis por vários malefícios à saúde humana: a inalação diária de poluição do ar vinda dos motores à combustão, pneus e pastilhas de freio; a perturbação gerada pela poluição sonora; os níveis insuficientes de atividade física associados a um estilo de vida sedentário; o crescente nível de temperatura nas ilhas de calor urbano pelo aquecimento global; e a redução da oferta de áreas verdes acessíveis devido à construção e alargamento de vias para automóveis (MUELLER *et al.*, 2015; NIEUWENHUIJSEN, 2020).

A poluição do ar, por exemplo, é representada por diferentes partículas e moléculas como o dióxido de carbono (CO₂), o monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio (NO_x) – com destaque para o dióxido de nitrogênio (NO₂) – o ozônio (O₃), o dióxido de enxofre (SO₂), o metano (CH₄) e as partículas finas com diâmetro menor que 10 e 2,5 micrômetros (PM₁₀ e PM_{2.5}, respectivamente). De acordo com o relatório *Global Burden of Disease*, foi a terceira maior causa de óbitos no mundo em 2019, contribuindo com 11,65% dos óbitos globais (MURRAY *et al.*, 2020; RITCHIE; ROSER, 2017).

O poluente do ar mais conhecido é o dióxido de carbono (CO₂) devido aos seus impactos no clima em escala global – mesmo que a maior parte de sua emissão ocorra no Norte Global, com 92% das emissões excedentes de carbono até 2015 (HICKEL, 2020) – e à crescente discussão sobre uma transição energética, com metas de redução das emissões de carbono (*net zero*) nas próximas décadas (FANKHAUSER *et al.*, 2022; UNITED NATIONS, sem data) e o desenvolvimento de um mercado de créditos de carbono (CALEL, 2013). No entanto, este não é o poluente que causa impacto direto à saúde nos centros urbanos e sim as partículas finas inaláveis (PM_{2.5} e PM₁₀), que tem impacto local, embora possuam a mesma origem de emissão (MCDUFFIE *et al.*, 2021).

Para as pesquisas de saúde urbana, destaca-se a PM_{2.5} como um poluente muito estudado por sua associação às doenças respiratórias, cardiovasculares, diabetes, mortes, dificuldades relacionadas à natalidade (partos prematuros e recém nascidos abaixo do peso) (MUELLER *et al.*, 2015, 2017b, 2017a). Além disso, é muito utilizada nos estudos que envolvem a mobilidade urbana por servir como um *proxy* para as emissões do transporte

motorizado (MUELLER *et al.*, 2015). A recomendação atual da Organização Mundial de Saúde é que a concentração média anual de PM_{2.5} seja no máximo 5 microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), a metade do valor recomendado anteriormente (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2021c).

A atividade física é uma exposição associada à promoção de melhores condições de saúde e qualidade de vida, pois a sua realização de forma regular pode auxiliar na prevenção de óbitos por doenças cardiovasculares, derrame, diabetes mellitus tipo 2, câncer de cólon, demências e doenças mentais como depressão (MUELLER *et al.*, 2015, 2017b, 2017a). A quantidade semanal mínima recomendada pela Organização Mundial de Saúde (OMS) é 150 minutos de atividade física moderada (30 minutos de caminhada diária, por exemplo), ou 75 minutos de atividade intensa (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2020). Para crianças e adolescentes (6 a 17 anos), este valor é 300 minutos semanais, o equivalente a 60 minutos de atividade diária (DUMITH *et al.*, 2021; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2020). No entanto, há uma evidência recente de que mesmo a realização de atividade física semanal em quantidade menor que a recomendada ainda é muito benéfica à saúde, de modo que um em cada dez óbitos prematuros pode ser prevenido caso a população pratique metade da quantidade recomendada de atividade física semanal (GARCIA *et al.*, 2023).

Desde 2021, o Brasil possui o “Guia de Atividade Física para a População Brasileira”, com recomendações para incorporar a realização de atividade física no cotidiano de diversos perfis populacionais, como as crianças de 0 a 5 anos, a população infanto-juvenil de 6 a 17 anos, os adultos de 18 a 59 anos e idosos de 60 anos ou mais, além de situações específicas como as pessoas com deficiência, as mulheres gestantes ou em situação de pós-parto e a atividade física no ambiente escolar. O guia ressalta diversas vezes os efeitos positivos da realização de qualquer quantidade de atividade física, mesmo que em quantidade menor que a recomendada (BRASIL, 2021).

Há quatro “domínios” em que a atividade física pode ser realizada: no tempo livre, no deslocamento, nas atividades de trabalho (ou estudo), e nas tarefas domésticas. O primeiro está relacionado principalmente ao lazer (esportes, brincadeiras e jogos), o segundo refere-se ao uso de modos ativos de transporte (a pé, bicicleta, skate, cadeira de rodas, remo, etc.), o terceiro

tem associação com atividades laborais ou educacionais (trabalhos que exigem força, como capinar, varrer, ordenar ou interações educacionais como as aulas de atividade física e as brincadeiras nos intervalos ou nos períodos antes e depois das aulas), já a última está presente no cuidado do lar e do núcleo familiar (jardinagem, dar banho em outra pessoa ou no animal de estimação, limpar a casa, etc.) (BRASIL, 2021).

A pesquisa sobre Saúde Urbana tem se expandido a partir de questões como as mudanças climáticas e as ilhas de calor urbano. Com isso, passou a incluir investigações sobre outras exposições como as **temperaturas extremas** (calor e frio excessivo), as **áreas verdes urbanas** e a **poluição sonora**. Estudos mostram que existe uma “temperatura de mínima mortalidade” (*minimum mortality temperature*) e que tanto as temperaturas maiores do que ela (calor) quanto as menores (frio) aumentam a probabilidade de óbitos (GASPARRINI *et al.*, 2015; GUO *et al.*, 2014). Além disso, a temperatura impacta a ocorrência de sinistros de trânsito, internações hospitalares e partos prematuros (MUELLER *et al.*, 2017b, 2017a).

As áreas verdes urbanas também têm sido correlacionadas com a mortalidade por causas naturais e a ocorrência de depressão (GASCON *et al.*, 2016; ROJAS-RUEDA *et al.*, 2019). Uma publicação recente mostra que o aumento da cobertura vegetal nas cidades europeias para 30% da área total pode reduzir a temperatura média em 0,4°C e prevenir quase 2% dos óbitos no verão europeu (IUNGMAN *et al.*, 2023).

A poluição sonora, presente em vias com alto fluxo de veículos, está associada à perturbação do sono, estresse, doenças cardiovasculares e perda da capacidade auditiva ao longo do tempo (HALONEN *et al.*, 2015; HÉRITIER *et al.*, 2017; VAN KEMPEN *et al.*, 2018). Recomenda-se limites de pressão sonora de 55 dB durante o período diurno (7h-23h) e 40 dB no noturno (23h-7h) (BERGLUND *et al.*, 1999; WORLD HEALTH ORGANIZATION. REGIONAL OFFICE FOR EUROPE, 2009).

A reversão dos efeitos deletérios da urbanização passa pela promoção da dita “mobilidade ativa”, o uso recorrente da caminhada ou da bicicleta para deslocamento que envolve o uso de esforço humano moderado ou intenso. Sua adoção em conjunto com o transporte público é considerada uma alternativa interessante para o enfrentamento de doenças crônicas não

transmissíveis – cardiovasculares, diabetes, alguns tipos de câncer, por exemplo – por permitir que setores da população que não possuem condições de manter uma rotina de exercícios incorporem a atividade física no seu cotidiano (FRANK; ANDRESEN; SCHMID, 2004; SAELENS; HANDY, 2008; VERAS; DOMENICO; MARQUES, 2017).

Um dos condicionantes para sua adoção é a forma urbana, conforme apresentado em publicações sobre caminhabilidade e ciclabilidade. A literatura aponta como fatores que estimulam esse tipo de comportamento de viagem a compacidade, a acessibilidade e a distribuição no solo urbano de usos que atraem viagens, como os comércios, os serviços e as áreas verdes. Entretanto, a maior parte dos centros urbanos brasileiros possui traçado descontínuo e com grande número de bairros apresentando homogeneidade de usos do solo, o que reforça o comportamento de viagem centrado no automóvel (ABRAMO, 2007; EWING; CERVERO, 2001, 2010; SAELENS; HANDY, 2008; VARGAS; NETTO, 2017).

Outra questão presente nas discussões sobre o futuro da mobilidade urbana é a adoção de tecnologias “limpas” de propulsão dos veículos, como as células de hidrogênio, biocombustíveis e, principalmente, os carros elétricos (NIEUWENHUIJSEN, 2020). Sua intenção é reduzir a poluição do ar relativa ao uso de combustíveis fósseis motores à combustão, e com isso alcançar as metas de redução da emissão de carbono (ALVES; BRANDT, 2021; MACHADO, 2022). Com base nisso, alguns países – China, União Europeia, Estados Unidos, Chile, Colômbia, Costa Rica, Equador, Panamá, República Dominicana, entre outros – estabeleceram planos de eletrificação de sua frota para as próximas décadas (ALVES; BRANDT, 2021; MACHADO, 2022).

No Brasil, por outro lado, a eletrificação da frota ainda é pouco explorada, sob a alegação de foco no desenvolvimento de biocombustíveis como etanol, biometano e biodiesel (ALVES; BRANDT, 2021; MACHADO, 2022). Por isso, não há uma perspectiva de participação dos veículos elétricos na frota total, que tem avançado em nichos, como as frotas de empresas de setores industriais, varejistas, alimentícios e de infraestrutura (ALVES; BRANDT, 2021; MACHADO, 2023).

3 FUNDAMENTAÇÃO METODOLÓGICA

3.1 POLÍTICAS E PROJETOS DE MOBILIDADE URBANA: AVALIAÇÃO DE IMPACTO À SAÚDE

A incorporação do uso do automóvel nas cidades trouxe consigo uma série de obras viárias de grande porte – como viadutos, túneis, avenidas e pontes – e a alterações de usos do solo urbano para a formação de subúrbios. Isto exigiu que o uso de estudos de impactos no Planejamento Urbano e Regional e no planejamento e operação do transporte urbano. O primeiro tipo que surgiu foi a **Avaliação Econômica** (*economic appraisal*), cuja metodologia foi desenvolvida entre as décadas de 1950 e 1960 nos Estados Unidos e na Europa. O seu objetivo é compreender a viabilidade econômica do projeto, definida sob a ótica da sociedade como a geração direta de benefícios econômicos e desenvolvimento. Para isso, são realizadas as **Análises de Custo-Benefício** com o objetivo de compreender e antecipar os efeitos causados por algum projeto, plano ou política, gerando evidências que embasam sua aplicação, ajuste ou abandono (DALBEM; BRANDÃO; MACEDO-SOARES, 2010; SENNA, 2014).

Pouco depois, em 1969, com a discussão crescente sobre as questões ambientais, os Estados Unidos promulgaram a Lei da Política Ambiental (NEPA - *National Environmental Policy Act*), que trouxe como inovação a chamada **Avaliação de Impacto Ambiental - AIA** (*Environmental Impact Assessment*) (LEITE, 2013; POTT; ESTRELA, 2017).

No Brasil, a Avaliação de Impacto Ambiental foi institucionalizada em 1981, com destaque para o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e seu correspondente Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) (LEITE, 2013; POTT; ESTRELA, 2017).

O EIA é o resultado de um estudo técnico que avalia as consequências ambientais da implantação de um projeto ou empreendimento, sendo necessário para o licenciamento ambiental. É composto por quatro seções: o diagnóstico, a análise dos impactos do projeto e suas alternativas, as medidas mitigadoras dos impactos negativos e o programa de acompanhamento e monitoramento (LEITE, 2013).

Já o RIMA é o documento que expressa de forma acessível as conclusões apresentadas no EIA, devendo apresentar: a descrição do projeto e suas alternativas tecnológicas e locacionais, a síntese dos resultados dos estudos de diagnóstico ambiental, a descrição dos seus prováveis impactos ambientais, a caracterização da qualidade ambiental futura, a descrição do efeito esperado das medidas mitigadoras previstas, o programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos e a recomendação quanto à alternativa mais favorável (LEITE, 2013).

Ou seja, o Planejamento Urbano e Regional brasileiro historicamente possui estudos de impacto para a mobilidade urbana com viés tecnocrata e voltados para os impactos econômicos (avaliação econômica) e depois para as questões ambientais (EIA/RIMA). No entanto, nenhum destes estudos de impacto considera explicitamente os impactos de longo prazo na saúde populacional, uma vez que o seu escopo é o curto prazo, seja pelo estabelecimento da viabilidade financeira da obra ou pela implantação de medidas mitigatórias (alargamento de via, arborização etc.).

No final dos anos 1990, com base no entendimento em alguns países do Norte Global sobre a necessidade de incorporar os Determinantes Sociais da Saúde na sua construção de políticas, começa a ser estruturada a chamada **Avaliação de Impacto à Saúde – AIS** (*Health Impact Assessment – HIA*) a partir da publicação do Consenso de Gotemburgo (PEREIRA; HACON, 2017; WHO REGIONAL OFFICE FOR EUROPE; EUROPEAN CENTRE FOR HEALTH POLICY, 1999).

A AIS é uma metodologia que permite identificar e compreender sistematicamente os fatores que contribuem para a incidência ou prevenção de doenças. Serve para antecipar os efeitos na saúde populacional causados por algum projeto, plano ou política, gerando evidências que embasam sua aplicação ou abandono (WORLD HEALTH ORGANIZATION, sem data). Segundo Pereira e Hacon (2017) e Thondoo et al. (2023), a AIS pode ser organizada em seis etapas⁵:

- **Diagnóstico** (*screening*): determinação da necessidade de realização da AIS para o contexto considerado;

⁵ Segundo Thondoo et al. (2023), são as mesmas etapas da Avaliação de Impacto Ambiental (*Environmental Impact Assessment - EIA*).

- **Definição do escopo** (*scoping*): estabelecimento dos limites e do foco da avaliação ao identificar fontes de dados, populações consideradas, questões-chave e metodologia empregada;
- **Avaliação** (*appraisal* ou *assessing*): uso de evidência para avaliar os impactos à saúde
- **Recomendação** (*recommending*): formulação de um conjunto de recomendações que maximizem os benefícios à saúde;
- **Divulgação** (*reporting*): disseminação das descobertas e aprendizados por diferentes meios de comunicação (artigos, relatórios);
- **Monitoramento** da implementação das recomendações e **análise** do progresso obtido e das parcerias formadas a partir dessas recomendações (*monitoring and evaluation*) para ver sua efetividade.

Quanto à escala temporal, a AIS pode ser classificada em **prospectiva**, **simultânea** ou **retrospectiva**, ou seja, pode ser realizada antes, durante ou depois da implantação das políticas ou dos projetos analisados, respectivamente (KRIEGER *et al.*, 2003). Em relação ao escopo, há quatro tipos de AIS (em escala crescente de recursos necessários): **documental** (*desk-based HIA*), realizada somente com uso de dados secundários; **rápida** (*rapid HIA*), a mais comum e é aplicada para projetos com prazos curtos, sendo opcional a participação de partes interessadas, que geralmente ocorre por meio de oficinas; **intermediária** (*intermediate HIA*), em que há a coleta de dados novos e o uso extensivo dos dados disponíveis; e a **compreensiva** (*comprehensive HIA*), utilizada em grandes intervenções, com tempo e recursos suficientes para realizar um trabalho de campo intensivo, além da análise e da disseminação dos resultados, geralmente utilizando questionários e grupos focais como meios de participação da população, o que possibilita trazer toda a evidência disponível sobre os impactos da mobilidade urbana na saúde (GABER; KAPUR, 2014; HARRIS *et al.*, 2007; KRIEGER *et al.*, 2003; NIEUWENHUIJSEN, 2020; THONDOO *et al.*, 2023).

Sua abordagem pode ser qualitativa, quantitativa ou mista. As que usam quantificação são de caráter epidemiológico, pois adaptam técnicas e conceitos

da Epidemiologia para a questão analisada (mobilidade urbana) a fim de determinar a morbidade (quantidade de casos) e/ou mortalidade (quantidade de óbitos) evitável e os impactos econômicos (diretos e indiretos) ao sistema de saúde (BRASIL, 2014; JOFFE; MINDELL, 2002; NIEUWENHUIJSEN *et al.*, 2018; PEREIRA; HACON, 2017; ROJAS-RUEDA, 2019; THONDOO *et al.*, 2022, 2023).

A combinação das abordagens quantitativa e qualitativa tem permitido a inserção de instrumentos participativos na AIS quantitativa, o que levou à proposição de mais uma abordagem: a “AIS quantitativa participativa” (*Participatory quantitative HIA – PQHIA*) (THONDOO *et al.*, 2023), o que pode ser um meio de obter um entendimento mais amplo e qualificado dos impactos à saúde causados pela mobilidade urbana (THONDOO *et al.*, 2023).

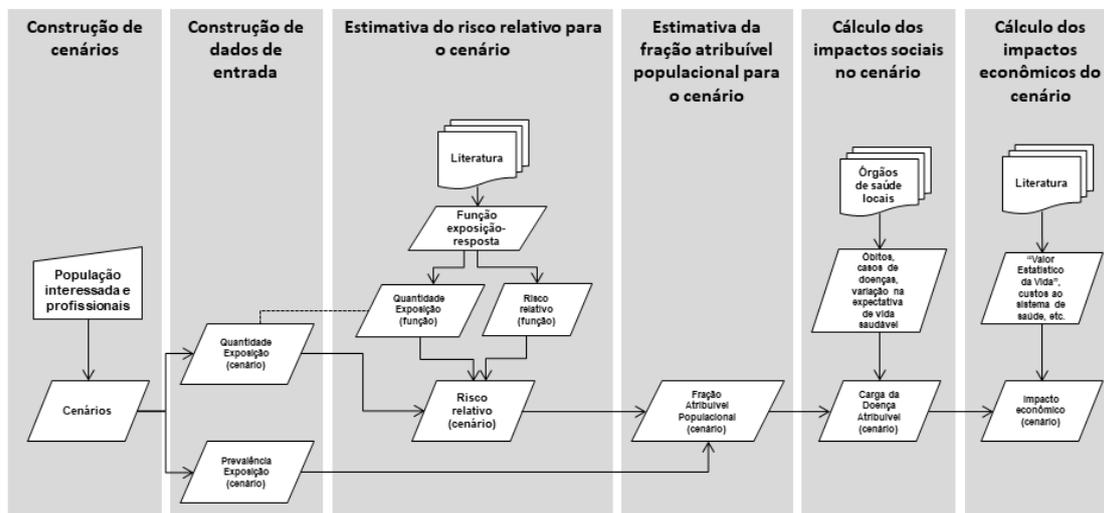
No Brasil, foram estabelecidas diretrizes do Ministério da Saúde para a AIS em 2014 (BRASIL, 2014), embora não ocorreu sua institucionalização até o presente momento, como em diversos países da América Latina (THONDOO; GUPTA, 2021).

Na abordagem quantitativa (Figura 10), trabalha-se com cenários relativos à divisão modal ou outros aspectos do padrão de mobilidade estabelecidos anteriormente e que serão transformados em dados de entrada para a quantificação dos impactos sociais (morbidade, mortalidade, DALYs) e econômicos (diretos e indiretos) à saúde populacional (BRASIL, 2014; JOFFE; MINDELL, 2002; NIEUWENHUIJSEN *et al.*, 2018; PEREIRA; HACON, 2017; ROJAS-RUEDA, 2019).

Por exemplo, Rojas-Rueda *et al.* (2016) mostram que na cidade de Varsóvia poderiam ser evitadas 113 mortes anuais se a participação da bicicleta na divisão modal fosse semelhante à de Copenhague (27%), enquanto 19 mortes anuais poderiam ser evitadas se a participação da caminhada na divisão modal fosse semelhante à de Paris (46%). Já o trabalho de Mueller *et al.* (2020) aponta que 667 mortes prematuras ao ano podem ser evitadas com a implantação das Superquadras em Barcelona.

Figura 10 – Funcionamento da abordagem quantitativa na Avaliação de Impacto à Saúde

AIS QUANTITATIVA



Fonte: Elaboração própria.

A AIS pode ser entendida como um avanço em relação à Avaliação Econômica, pois, apesar de compartilharem aspectos metodológicos pelo uso de análises de custo-benefício, a AIS tem como mote a saúde populacional e os Determinantes Sociais da Saúde. A AIS difere-se da Avaliação de Impacto Ambiental por aspectos metodológicos e paradigmáticos (a AIS é centrada na saúde humana e utiliza métodos epidemiológicos, já a AIA tem como foco o meio ambiente), embora ambas tratem das questões ambientais (DALBEM; BRANDÃO; MACEDO-SOARES, 2010; KIM; HAIGH, 2021; MURRAY *et al.*, 2003).

Dentro do contexto da AIS para a mobilidade urbana, existem modelos quantitativos que buscam prever os impactos da mobilidade urbana na saúde a partir de abordagem epidemiológica.

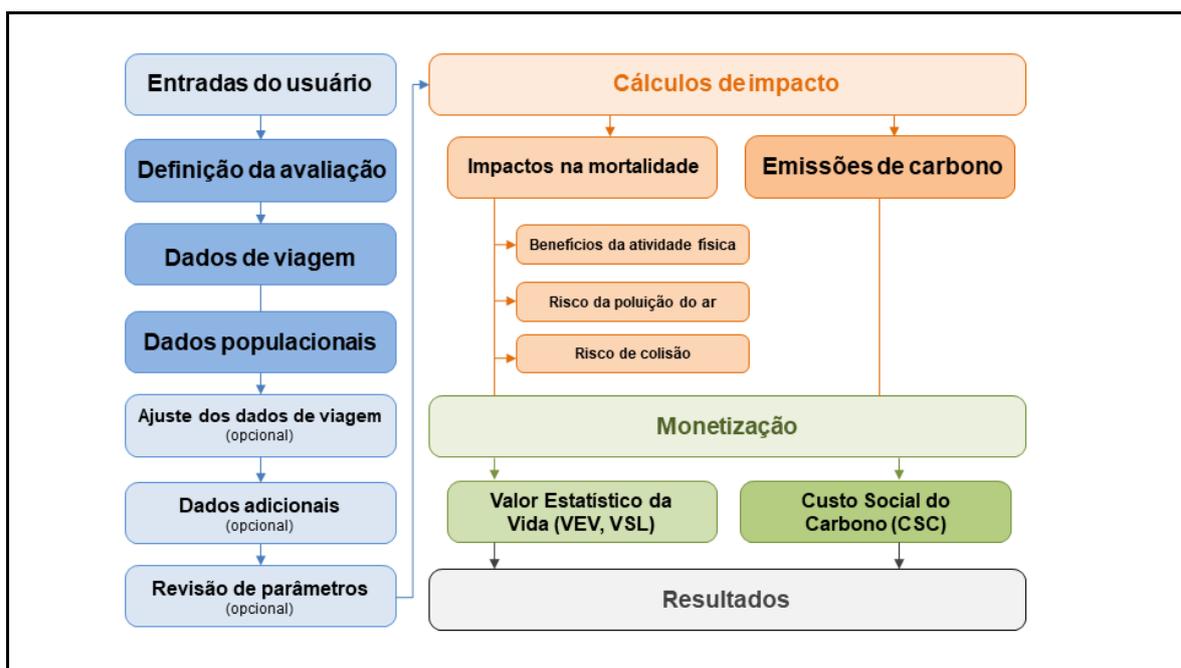
O primeiro deles é o **Integrated Transport and Health Impact Model (ITHIM)**, (JOHNSON; ABBAS, 2021) utilizado pela primeira vez em Woodcock *et al.* (2009) e que analisa impactos à saúde relacionados à poluição do ar (PM_{2.5}), atividade física, sinistros de trânsito, além de calcular mudanças nas emissões de CO₂ para cada cenário considerado. Utiliza dados relativos ao padrão de mobilidade urbana, à atividade física realizada na população, aos

sinistros de trânsito e às condições de saúde da população (JOHNSON; ABBAS, 2021).

Sua principal vantagem é a possibilidade de estimar os impactos à saúde de diferentes padrões de mobilidade urbana (cenários) ao longo do tempo; contudo, não possibilita a compreensão da distribuição espacial dos impactos à saúde nas escalas mais finas e está limitado a três exposições: poluição do ar (PM_{2.5} ou NO₂), atividade física e sinistros de trânsito. Outra questão é a necessidade de dados de entrada desagregados por indivíduo (microdados de pesquisa origem-destino, de pesquisa de saúde, entre outros), o que pode restringir sua aplicação.

Na mesma linha, há o modelo **Transport, Air Pollution and Physical ActiviteS (TAPAS)**, apresentado pela primeira vez em Rojas-Rueda et al. (2011). Tanto o ITHIM quanto o TAPAS são parecidos em suas abordagens, a principal diferença está no cálculo dos impactos nos sinistros de trânsito: o ITHIM considera a distância total anual percorrida pelo modal “colidente” e pelo modal “vítima” (o que); já o TAPAS estima a partir da multiplicação da distância total anual percorrida pelo modal “vítima” por um indicador de óbitos/lesões por distância anual percorrida (bilhão de quilômetros/milhas).

Há também o **Health Economic Assessment Tool (HEAT)**, uma ferramenta da OMS originalmente voltada para os impactos à saúde da atividade física no transporte (Figura 11). Com o desenvolvimento do ITHIM e do TAPAS, incorporou elementos de ambos os modelos e passou a também estimar impactos à saúde da poluição do ar (PM_{2.5}) e sinistros de trânsito, além de emissões de dióxido de carbono. Difere-se dos anteriores por ser voltado para a prática de planejamento urbano, possuindo algumas adaptações que simplificam o seu uso e permitem compatibilidade com vários tipos de dados de entrada (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2021b, 2021a).

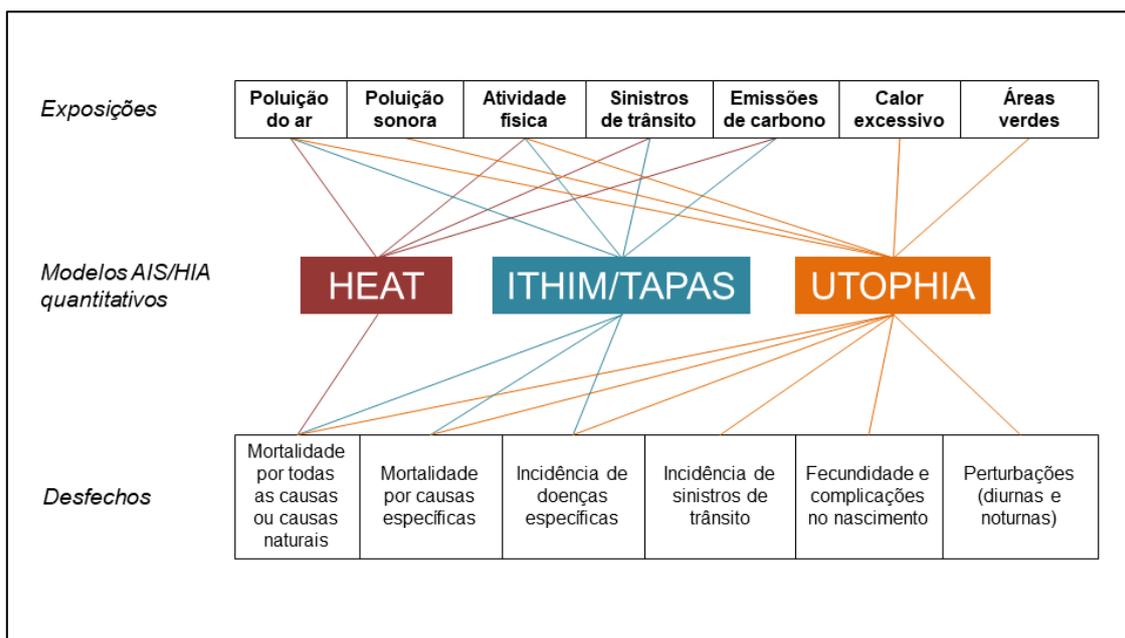
Figura 11 – Funcionamento do *Health Economic Assessment Tool* (HEAT)

Fonte: Rosa e Vargas (2022).

Por fim, há o ***Urban and TranspOrt Planning Health Impact Assessment (UTOPHIA)***, utilizado inicialmente em Mueller et al. (2017b, 2017a) que explora exposições como poluição do ar (PM_{2.5}, NO₂), atividade física, ruído, efeitos das ilhas de calor e acesso a áreas verdes. Suas aplicações até o momento buscaram entender os impactos à saúde provocados pelo cumprimento de recomendações internacionais relativas às exposições citadas e sua distribuição no espaço urbano a partir de setores censitários. As suas principais vantagens são a compreensão da distribuição espacial dos impactos e a incorporação de faixas etárias acima de 65 anos na análise. Todavia, sua principal limitação é o fato de ser construído para compreender cenários de mudança na quantidade de exposição ao invés de compreender cenários de mobilidade urbana.

Em síntese (Figura 12), esses modelos analisam várias exposições, com destaque para a poluição do ar e a atividade física, presentes em todos. Isso vale para os desfechos, com a mortalidade por todas as causas/causas naturais sendo comum a todos. Percebe-se que o modelo UTOPIA é o que incorpora o maior número de exposições e desfechos, enquanto o HEAT é o que possui o escopo mais restrito (ROSA; VARGAS, 2022).

Figura 12 – Exposições e desfechos considerados nos modelos



Fonte: Adaptado de Rosa e Vargas (2022).

3.2 REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL)

Para identificar os modelos quantitativos de avaliação de impacto à saúde mais utilizados em estudos sobre transporte urbano, além das exposições e desfechos mais considerados, foi realizada uma revisão sistemática de literatura agregativa em quatro bases de dados – *Web of Science* (todas as bases), *Scopus*, *PUBMED*, *TRID*.

3.2.1 Construção da sintaxe e critérios de inclusão e exclusão

A sintaxe utilizada foi construída a fim de buscar publicações que abordem a relação entre o transporte e a saúde pública nas cidades por meio da metodologia de Avaliação de Impacto à Saúde (*Health Impact Assessment*).

A **primeira parte** delimita os resultados para **estudos que abordem impactos à saúde**, adicionando o nome da metodologia e de alguns termos e nomes de modelos utilizados que foram identificados em leituras anteriores à Revisão Sistemática de Literatura:

"*Healt* impact* assess**" OR "*healt* impac* model**" OR "*healt* risk* assess**" OR "*environmen* healt**" OR "*healt* impac**" OR "*burden of diseas**" OR "*healt* in all polic**" OR "*UTOPIA*" OR "*ITHIM*")

A segunda seção pretende restringir a busca para pesquisas sobre o ambiente urbano:

AND ("Urb configura*" OR "Urb* sett*" OR cit* OR "urb* envirom*" OR "metropol* (are* OR regi*)" OR town* OR "config* urb*" OR ciu* OR cid* OR "ambi* urb*")*

Já a **terceira** delimita o escopo à temática do **transporte urbano**:

AND (transp OR mob* OR traff* OR "mod* patter*" OR bik* OR cycl* OR walk* OR transit OR vehic* OR (rail* OR trai* OR subway or metro))*

Para filtrar os resultados, foi inserido um bloco de termos sem relevância para a pesquisa, a partir dos resultados obtidos nas aplicações piloto da sintaxe:

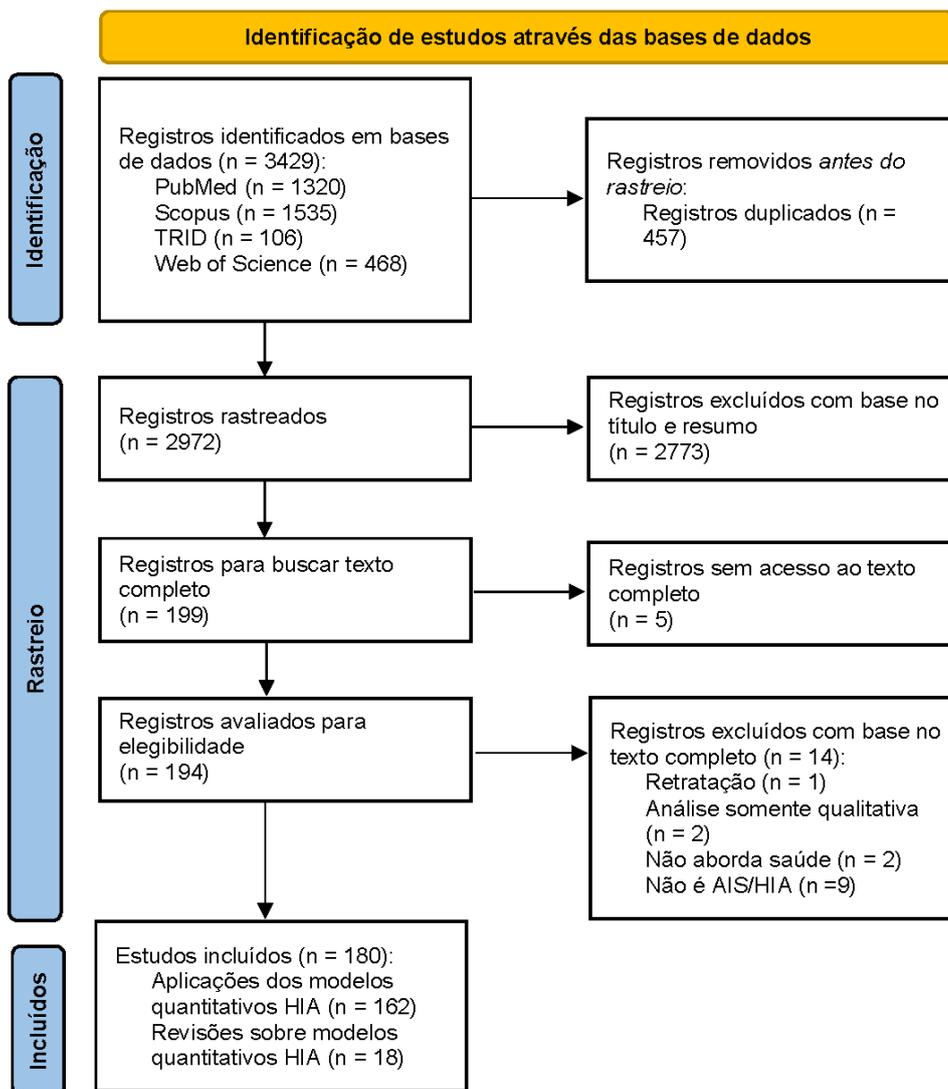
AND NOT ((mine OR mining) OR (aqu OR wat*) OR soil OR landfill OR rubbish OR virus OR "block chain" OR plasticizer OR rodent* OR animal* OR dog* OR cat* OR transplantation OR waste OR food OR pesticide OR malaria OR bioterrorism OR marketing OR workplace OR teach* OR tsunami OR earthquake OR insulation OR polio OR transplacental OR poleotolerance OR training OR fish OR cyclon* OR trailer OR rural OR "oral health" OR "biomass burn*" OR (medication* OR drug*))*

A partir dessa construção, a sintaxe utilizada para a busca nas bases de dados foi:

("Healt impact* assess*" OR "healt* impac* model*" OR "healt* risk* assess*" OR "environmen* healt*" OR "healt* impac*" OR "burden of diseas*" OR "healt* in all polic*" OR "UTOPHIA" OR "ITHIM") AND ("Urb* configura*" OR "Urb* sett*" OR cit* OR "urb* envirom*" OR "metropol* (are* OR regi*)" OR town* OR "config* urb*" OR ciu* OR cid* OR "ambi* urb*") AND (transp* OR mob* OR traff* OR "mod* patter*" OR bik* OR cycl* OR walk* OR transit OR vehic* OR (rail* OR trai* OR subway or metro)) AND NOT ((mine OR mining) OR (aqu* OR wat*) OR soil OR landfill OR rubbish OR virus OR "block chain" OR plasticizer OR rodent* OR animal* OR dog* OR cat* OR transplantation OR waste OR food OR pesticide OR malaria OR bioterrorism OR marketing OR workplace OR teach* OR tsunami OR earthquake OR insulation OR polio OR transplacental OR poleotolerance OR training OR fish OR cyclon* OR trailer OR rural OR "oral health" OR "biomass burn*" OR (medication* OR drug*)).*

O **critério de inclusão** foi a **presença de análise quantitativa** dos impactos sobre a saúde populacional gerados pelas “exposições”. Das 3429 referências retornadas (2972 únicas), foram incluídas 180 publicações, sendo 18 revisões e 162 aplicações de modelos AIS/HIA (Figura 13).

Figura 13 – Síntese do processo de revisão sistemática de literatura



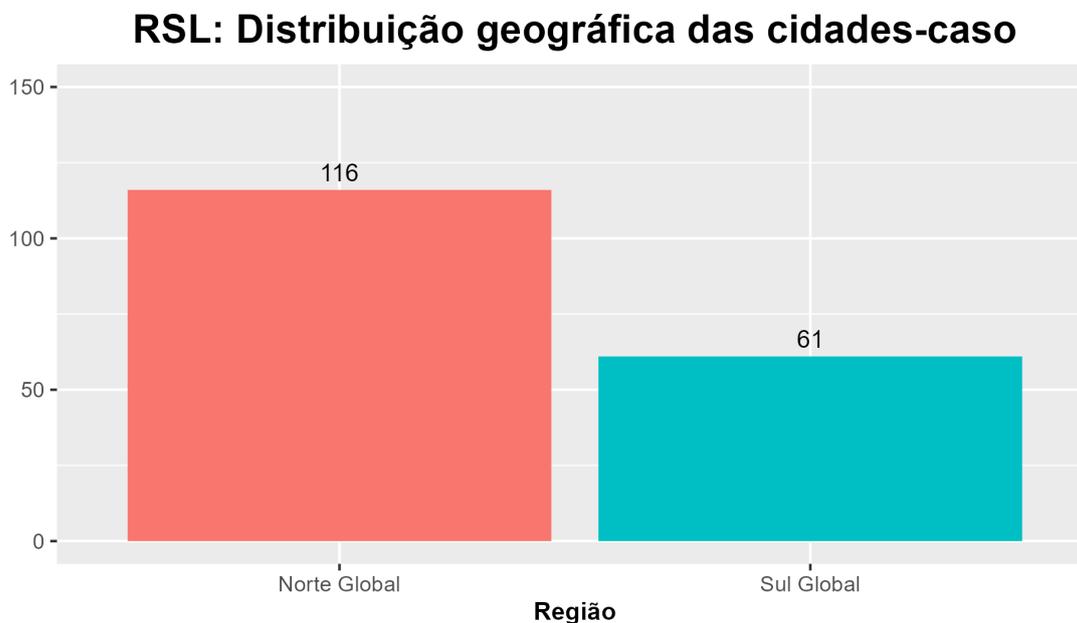
Fonte: Elaboração própria, a partir de Page *et al.* (2021).

3.2.2 Resultados – extrato da revisão

O primeiro aspecto perceptível é a predominância de avaliações de impacto à saúde quantitativas voltadas para centros urbanos do dito “Norte

Global” em comparação com os do “Sul Global” (Figura 14), o que indica a existência de uma lacuna do conhecimento sobre a temática para cidades de países de renda baixa e média, como o Brasil.

Figura 14 – Distribuição geográfica das cidades-caso na amostra



Fonte: Elaboração própria.

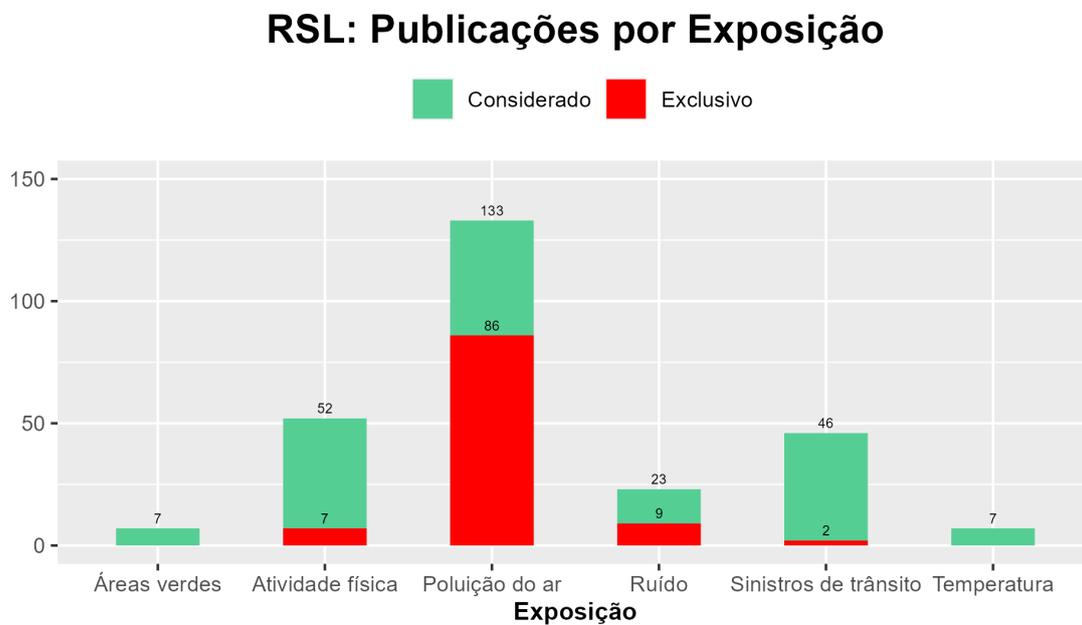
Quanto às exposições consideradas, a amostra indica grande preocupação com a **poluição do ar** (Figura 15), pois 133 das 162 publicações analisadas abordavam essa exposição, sendo 86 de forma exclusiva. O segundo aspecto mais analisado é a **atividade física** com 52 trabalhos, sendo 7 dedicados à exposição. O terceiro são os **sinistros de trânsito**, com 46 pesquisas, sendo duas focadas neste ponto, enquanto o quarto é o **ruído**, com 23 trabalhos, dos quais 9 abordam somente este aspecto. As **temperaturas extremas (calor e frio excessivos)** e as **áreas verdes** – presentes em 7 trabalhos – são exposições inseridas recentemente neste tipo de pesquisa por causa do surgimento de evidências no estado da arte.

O desfecho mais considerado nas publicações foi a mortalidade por causas naturais/por todas as causas⁶, presente em 103 de 162 publicações, seguido pela mortalidade por causas naturais específicas (68), morbidade por

⁶ Algumas publicações utilizam o termo mortalidade por todas as causas (*all-cause mortality*) para se referir à mortalidade por causas naturais (*natural-cause mortality*), por isso a categoria incluiu ambos os termos.

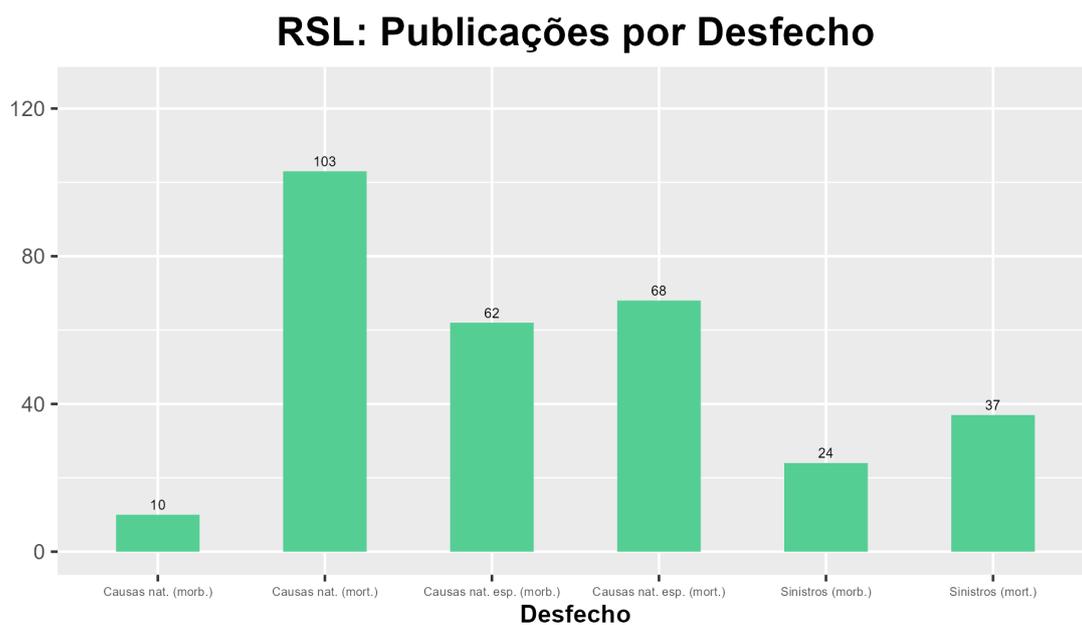
causas naturais específicas (62), mortalidade por sinistros de trânsito (37), morbidade por sinistros de trânsito (24) e morbidade por causas naturais (geral) com 10 publicações (Figura 16).

Figura 15 – Exposições abordadas nos trabalhos revisados



Fonte: Elaboração própria.

Figura 16 – Desfechos mais abordados nos trabalhos revisados



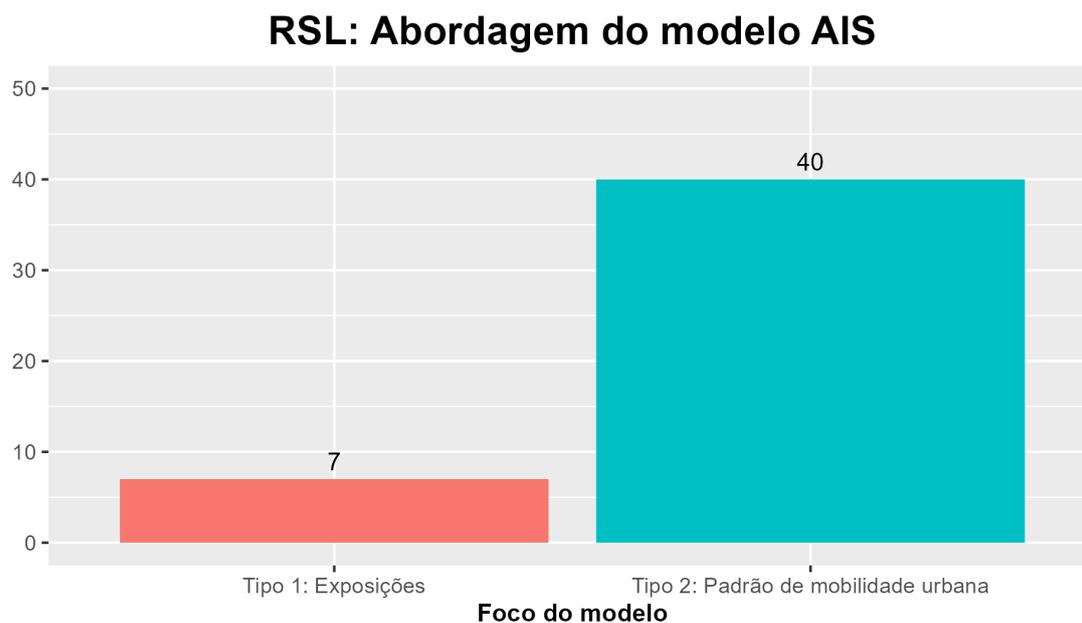
Fonte: Elaboração própria.

Ao analisar apenas os modelos de avaliação de impacto à saúde que consideram simultaneamente mais de uma exposição⁷ (Figura 17), foram identificados **dois tipos**. O **primeiro** relaciona **dados de exposições associadas ao transporte urbano** – como a poluição ou a atividade física – com recomendações ou metas desejadas. Está presente em 7 publicações, todas elas utilizando o modelo *Urban and Transport Planning Health Impact Assessment (UTOPHIA)* (BARBOZA *et al.*, 2022; IUNGMAN *et al.*, 2021; KHOMENKO *et al.*, 2020; MUELLER *et al.*, 2017b, 2017a; MUELLER, Natalie *et al.*, 2018; MUELLER *et al.*, 2020).

Já o **segundo** usa **dados do padrão de mobilidade** – especificamente a divisão modal e o tempo de viagem – e a partir dele **deriva indiretamente as exposições** para comparar com os cenários alternativos, suas respectivas divisões modais e exposições. Está presente em 40 publicações, sendo os modelos utilizados o *Integrated Transport and Health Impact Model (ITHIM)* (SÁ *et al.*, 2017; WHITFIELD *et al.*, 2017; WOODCOCK *et al.*, 2009, 2014; WOODCOCK; GIVONI; MORGAN, 2013), o **TAPAS** (*Transportation, Air Pollution and Physical ActivitieS*) Tool (CLOCKSTON; ROJAS-RUEDA, 2021; MUELLER, N. *et al.*, 2018; OTERO; NIEUWENHUIJSEN; ROJAS-RUEDA, 2018; ROJAS-RUEDA, 2021; ROJAS-RUEDA *et al.*, 2011, 2012, 2016) – e o *Health Economic Assessment Tool (HEAT)*, da OMS. Ambos os tipos apresentam uma aplicação no contexto brasileiro, em São Paulo (BARBOZA *et al.*, 2022; SÁ *et al.*, 2017).

⁷ Os trabalhos que analisam somente uma exposição tendem a criar modelos específicos, o que gera heterogeneidade e dificulta a indicação de modelos predominantes.

Figura 17 – Abordagens do modelo AIS presentes na amostra

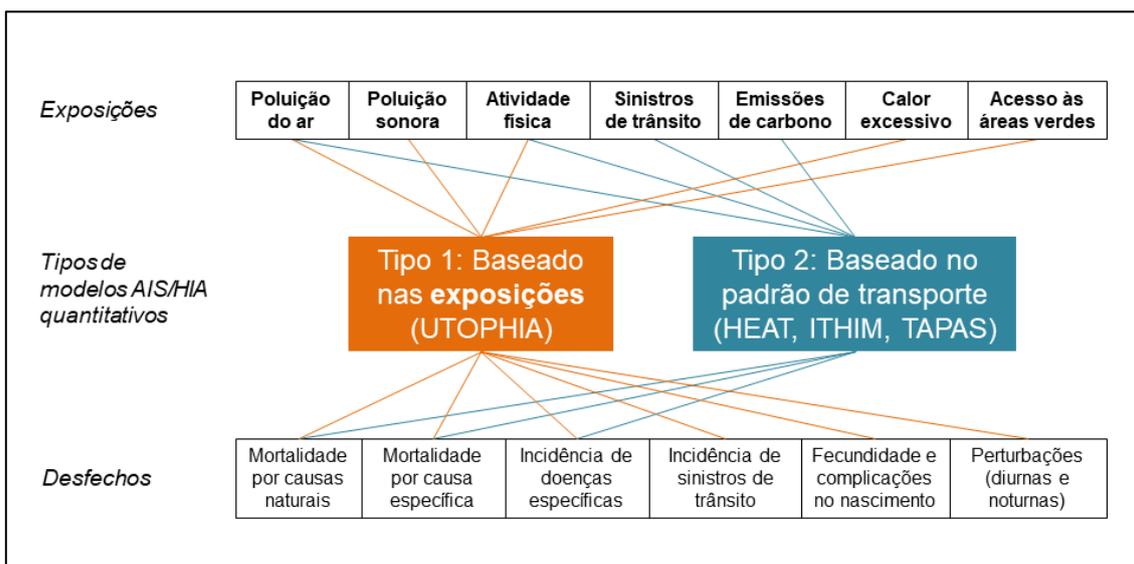


Fonte: Elaboração própria.

Aplicações de modelos do primeiro tipo geralmente analisam alguma combinação destas exposições: poluição do ar, poluição sonora, atividade física, calor excessivo e acesso a áreas verdes. Por outro lado, os modelos do segundo tipo consideram a poluição do ar, a atividade física e os sinistros de trânsito, exposições sabidamente relacionadas à mobilidade urbana, além de estimar as emissões de carbono (Figura 18).

Em relação aos desfechos de saúde considerados (Figura 18), ambos os tipos de modelos AIS consideram a mortalidade por causas naturais e por causas específicas, além da incidência de determinadas doenças. No entanto, os modelos do primeiro tipo abrangem também desfechos relacionados aos sinistros de trânsito, à natalidade e às perturbações (diurnas e noturnas).

Figura 18 – Exposições e desfechos considerados nos modelos



Fonte: Elaboração própria.

3.3 MÉTODO ANALÍTICO

As avaliações de impacto à saúde com enfoque quantitativo utilizam uma abordagem denominada **Avaliação Comparativa de Risco** (*Comparative Risk Assessment*) (MURRAY *et al.*, 2003), que envolve dois estágios: a **construção dos cenários** e a **aplicação do modelo quantitativo** para determinação dos impactos à saúde.

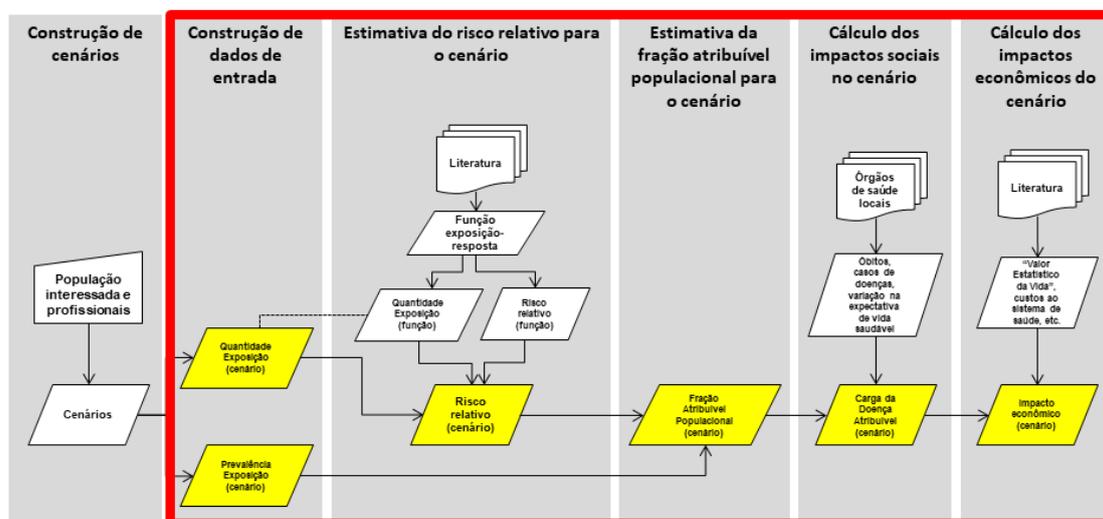
A primeira etapa envolve a **construção dos cenários**, que serão comparados entre si para estruturar o entendimento sobre os impactos da mobilidade urbana na saúde populacional. Determina-se inicialmente um **cenário base**, que servirá de referência para as análises, sendo geralmente a situação atual ou a manutenção do padrão corrente (*business-as-usual, BAU*), além de alguns **cenários contrafactuais** relacionados a mudanças nos padrões de transporte e/ou nos níveis de poluição do ar, atividade física, temperatura, entre outros. **Geralmente, estão associados à visão de futuro presente em algum plano ou política de mobilidade urbana, sendo o momento mais próximo da prática em Planejamento Urbano e Regional.**

A segunda é a **aplicação dos modelos quantitativos** (Figura 19). O objetivo da metodologia é entender o impacto atribuível a um fator estudado. Na Epidemiologia, esse fator é nomeado “**exposição**” (*exposure*) porque a

população está exposta a ele e o impacto provocado é denominado “**desfecho**” (*outcome*), por ser uma **consequência dessa “exposição”**. Os principais indicadores utilizados para compreender esse impacto à saúde são as quantidades de **casos ou óbitos atribuíveis**.

Figura 19 – O modelo inserido na abordagem quantitativa da Avaliação de Impacto à Saúde

AIQ QUANTITATIVA



Fonte: Elaboração própria.

Ao analisar a exposição, dois aspectos são considerados: a **quantidade de exposição** (ex.: a concentração média anual de PM2.5 em uma cidade é igual a 30 microgramas por metro cúbico), e a **prevalência**, que indica a proporção de pessoas expostas dentro da população da amostra (ex.: 60% de uma população está exposta à inatividade física).

Para quantificar o impacto à saúde é necessário descobrir o **risco relativo**⁸ do cenário analisado. O conceito de “risco”, na Epidemiologia, é a probabilidade de ocorrência de um evento (óbito ou caso de doença). Neste caso, é uma medida de associação que indica a probabilidade relativa de um

⁸ O “risco relativo” é uma medida de associação equivalente à razão de chances (*odds ratio*). A diferença entre eles está na fórmula utilizada:

Risco relativo = (população doente exposta/população exposta) / (população doente não-exposta/população não-exposta)

Razão de chances = (população doente exposta/ população não-doente exposta) / (população doente não-exposta / população não-doente não-exposta)

determinado desfecho ocorrer devido à exposição analisada (WAGNER; CALLEGARI-JACQUES, 1998).

O risco relativo é um número contínuo maior ou igual a zero. Todos os valores menores que 1 indicam redução da probabilidade de ocorrência do desfecho, enquanto os maiores apontam aumento no risco. O valor 1 expressa indiferença da exposição no desfecho.

Por exemplo, um risco relativo de 2,1 aponta um aumento em 110% na probabilidade de ocorrência de um desfecho devido à exposição, por outro lado, um risco relativo de 0,76 indica uma redução em 24% nessa probabilidade.

É obtido a partir de pesquisas oriundas das Ciências da Saúde (meta-análise, estudos de coorte, estudos longitudinais etc.). Cada estudo indica a relação entre os níveis de exposição estudados (a situação vigente, o cenário) e o seu risco relativo. A dita relação é denominada **função exposição-resposta** (Quadro 1) (MUELLER *et al.*, 2017b, 2017a) – também chamada “dose-resposta” (CLOCKSTON; ROJAS-RUEDA, 2021; ROJAS-RUEDA, 2021).

Quadro 1 – Funções exposição-resposta utilizadas na dissertação

Exposição	Risco relativo (IC 95%)	Quantidade de exposição considerada	Desfecho analisado	Abrangência geográfica	Faixa etária	Tipo de estudo	Fonte
Poluição do ar (PM2.5)	1,08 (1,06; 1,09)	Por aumento em 10 µg/m ³ na concentração média anual	Mortalidade por causas naturais	América do Norte, Ásia, Europa e Oceania	≥ 20 anos	Meta-análise	Chen e Hoek (2020)
Atividade física	<ul style="list-style-type: none"> • 0,86 (0,83; 0,89) • 0,84 (0,81; 0,88) • 0,83 (0,79; 0,87) • 0,81 (0,76; 0,85) • 0,8 (0,76; 0,84) • 0,78 (0,74; 0,83) • 0,77 (0,73; 0,82) • 0,77 (0,72; 0,82) • 0,76 (0,71; 0,81) • 0,75 (0,7; 0,8) • 0,74 (0,68; 0,79) • 0,72 (0,66; 0,78) 	Em MET-horas semanais: <ul style="list-style-type: none"> • 2,5 • 4,5 • 6,25 • 11,25 • 12,5 • 17,5 • 22,5 • 25 • 31,5 • 35 • 45 • 63 	Mortalidade por causas naturais	América do Norte, Ásia, Europa e Oceania	≥ 20 anos	Meta-análise	Woodcock <i>et al.</i> (2011)

Fonte: Elaboração própria.

Como nem sempre existe um estudo que considere níveis de exposição iguais aos que serão analisados, é necessário **estimar o risco relativo para a situação analisada** com base em alguma função exposição-resposta, por meio da equação 1 (CLOCKSTON; ROJAS-RUEDA, 2021; MAIZLISH; TOMARI; LONDON, 2019):

$$RRc = RRf^{\left(\frac{Ec}{Ef}\right)} \quad (1)$$

Em que:

- RRc: risco relativo apresentado no cenário analisado;
- RRf: risco relativo apresentado na função exposição-resposta;
- Ec: quantidade de exposição no cenário analisado;
- Ef: quantidade de exposição apresentado na função exposição-resposta

A quantidade de exposição analisada geralmente é uma “diferença de exposição”, que é a diferença entre os níveis de exposição do cenário analisado e do cenário base.

A partir do risco relativo, é obtida a **Fração Atribuível populacional (FAp)**, que é a proporção do total de óbitos ou casos em uma população que pode ser atribuída à exposição analisada (WAGNER; CALLEGARI-JACQUES, 1998). A FAp é um número contínuo cujo valor varia de infinito negativo até 1, sendo os valores menores que zero indicativos de que a exposição evita casos/óbitos. **Por exemplo, uma fração atribuível populacional de 0,02 significa que 2% dos óbitos/casos na população considerada são atribuíveis à exposição analisada, já outra de -0,1 indica que a exposição analisada evita o equivalente a 10% dos óbitos/casos na população considerada.** É calculada por meio da equação 2:

$$FAp = \frac{f \times (RR - 1)}{f \times (RR - 1) + 1} \quad (2)$$

Em que:

- f : é a prevalência de uma exposição, a razão entre população exposta (P_e) e a população total (P_t)
- RR: o risco relativo estimado para o cenário a partir da função exposição-resposta

Uma vez obtida a fração atribuível populacional, é possível determinar os impactos à saúde atribuíveis a partir do total de casos ou óbitos – a **carga da doença** (*burden of disease*) – esperados para a população por meio da equação 3:

$$CDa = CDe \times FAp \quad (3)$$

Em que:

- CDa: carga de doença atribuível à exposição analisada
- CDe: carga de doença esperada na população analisada
- FAp: fração atribuível populacional

O cálculo segue a sequência $RR \rightarrow FAp \rightarrow CD$. As relações entre o risco relativo, a fração atribuível populacional e os impactos à saúde que representam podem ser explicadas pelo Quadro 2:

Quadro 2 – Síntese da relação entre RR, FAP e os impactos à saúde

Risco Relativo (RR)	Fração Atribuível populacional (FAP)	Como impacta a saúde?
menor que 1	menor que 0	Reduz os casos/óbitos (serve como prevenção)
igual a 1	igual a 0	Não influencia os casos/óbitos
maior que 1	maior que 0	Aumenta os casos/óbitos (é uma causa de doenças)

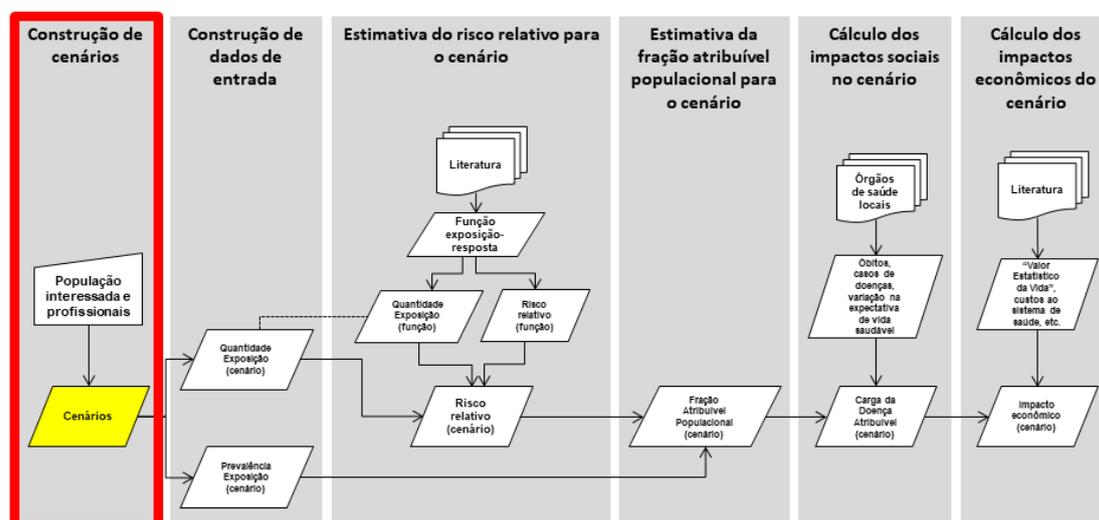
Fonte: Elaboração própria.

3.3.1 Construção de cenários

A construção dos cenários (Figura 20) é um aspecto-chave deste tipo de avaliação de impacto, já que a metodologia de Avaliação Comparativa de Risco (JOFFE; MINDELL, 2002; MURRAY *et al.*, 2003) envolve a comparação direta entre eles, de modo a expandir a compreensão sobre os impactos da mobilidade urbana na saúde.

Figura 20 – A construção de cenários na abordagem quantitativa da Avaliação de Impacto à Saúde

AIQ QUANTITATIVA



Fonte: Elaboração própria.

É o processo mais próximo ao Planejamento Urbano e Regional por envolver dois elementos inerentes à área: a **compreensão da situação vigente** no local analisado, representada por seus indicadores (padrão de mobilidade urbana e exposições) e a **tomada de decisão em relação ao futuro**, uma **decisão essencialmente política** e que é representada por metas (relativas à saúde, à mobilidade urbana). Por isso, pode envolver diversos agentes interessados (*stakeholders*) por meio de metodologias participativas (THONDOO *et al.*, 2020).

Existem dois tipos de cenários: o **base**, que servirá como referência para o desenvolvimento das análises, sendo geralmente a representação mais

próxima da situação atual no caso estudado; e o **contrafactual**, relativo a projeções, projetos ou visões para o futuro, além de realidades alternativas. São exemplos de cenários a serem utilizados em Avaliações de Impacto à Saúde: a substituição de uma parcela das viagens de automóvel por viagens de bicicleta, a redução na concentração anual de poluição do ar ou o cumprimento de alguma meta estabelecida (MUELLER *et al.*, 2020; ROJAS-RUEDA *et al.*, 2016; WOODCOCK *et al.*, 2014).

3.3.2 Utilização do método em estudos de mobilidade urbana

Existem duas abordagens de aplicação da metodologia para verificar os impactos que o padrão de mobilidade urbana exerce sobre a saúde da população de uma determinada cidade ou região.

A **primeira** é "direta", pois a quantidade real de exposição no cenário "base" (atual) é comparada diretamente à quantidade da mesma exposição em um ou mais cenários "contrafactuais" (futuro). Essas previsões geralmente correspondem a metas de sustentabilidade. **Em resumo, o cenário é uma quantidade de exposição almejada.**

A **segunda**, utilizada neste trabalho, é "indireta" e, portanto, exige que sejam **primeiramente definidos os padrões de mobilidade urbana desejados** -- ex.: divisão modal -- que serão eles próprios os cenários futuros. A partir deles, será possível estimar **a quantidade das exposições que cada padrão produz**, para, finalmente, permitir a avaliação de impacto à saúde por meio dos indicadores de óbitos, anos de vida perdidos e custos monetários.

Por exemplo, uma divisão modal atual com alto percentual de transporte motorizado e baixo percentual de viagens ativas indica muita poluição do ar e pouca atividade física nos deslocamentos. Uma meta de aumento do percentual das viagens ativas e diminuição das motorizadas constitui um cenário almejado com menos exposição "poluição do ar" (maléfica) e mais exposição "atividade física" (benéfica). **Em síntese, o cenário é uma divisão modal almejada, e as exposições serão sua consequência.**

3.3.2.1 Abordagem 1 (direta) – Exemplo (Poluição do ar – PM2.5)

Imaginemos que a equipe de planejamento urbano de uma cidade buscou saber como a implantação de um limite máximo na concentração média anual de partículas inaláveis menores que 2,5 micrômetros (PM2.5) pode impactar quantitativamente a mortalidade por causas naturais na população.

O primeiro passo foi estabelecer o **cenário base** – a realidade atual – pela medição em campo da concentração média anual de PM 2.5, cujo valor foi igual a **10 µg/m³**. A concentração de PM 2.5 em um local é medida por sensores que registram a concentração do poluente na atmosfera em intervalos definidos, geralmente a cada hora. A partir desses dados, são calculadas tanto a **concentração média anual de PM2.5** quanto a concentração média nas últimas 24 horas, considerando temperatura e umidade relativa do ar.

Em seguida, o **cenário contrafactual** foi determinado com base nas recomendações da OMS, ao escolher **5 µg/m³** como limite máximo de concentração anual de PM2.5 (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2021c). A diferença entre as duas concentrações, - **5 µg/m³**, é justamente a **diferença de exposição** utilizada como dado de entrada nos cálculos.

Suponhamos que o modelo utilizado pela equipe de planejadores urbanos tem como **referência de função exposição-resposta** a evidência apresentada por Chen e Hoek (2020): **para cada aumento em 10 microgramas/m³ na concentração média anual de PM 2.5 (a “exposição”), a probabilidade de óbito por causas naturais para a população com 20 anos ou mais aumenta 8% (resposta)**. Ou seja, o risco relativo de referência ("RR função") é 1,08.

A partir dessa função exposição-resposta e da diferença de exposição, é possível estimar o **risco relativo** para a situação analisada:

$$RR_{\text{cenário}} = 1,08^{\left(\frac{-5}{10}\right)} = 0,96$$

Portanto, essa redução em 5 microgramas por metro cúbico na concentração anual de PM 2.5 (**diferença de exposição**) reduz em 4% a probabilidade relativa (**Risco Relativo**) de ocorrer um óbito por causas naturais na população com 20 anos ou mais da cidade analisada.

A partir do Risco Relativo calculado, é necessário estimar a **prevalência de PM2.5 na população**, ou seja, o percentual de habitantes expostos ao poluente, para que se possa calcular a **Fração Atribuível Populacional**.

Vamos considerar que 99% da população está exposta à PM2.5 na cidade do exemplo (ou seja, a prevalência é 0,99).

$$FAP = \frac{0,99 \times (0,96-1)}{0,99 \times (0,96-1)+1} = -0,041$$

Neste caso, aproximadamente **4,1% de todos os óbitos anuais por causas naturais para a população com 20 anos ou mais podem ser evitados** com a redução em 5 microgramas por metro cúbico na concentração média anual de PM2.5

Ao obter a Fração Atribuível Populacional, é possível quantificar os impactos à saúde tanto em custos sociais (casos, óbitos e anos de vida saudável perdidos) quanto econômicos. Para isso, **a Fração Atribuível Populacional é multiplicada pela quantidade total de casos, óbitos ou anos de vida saudável perdidos** (a “carga da doença”).

3.3.2.1.1 Óbitos

Para estimar os óbitos por causas naturais atribuíveis à mudança nos níveis de PM 2.5, basta **multiplicar o total de óbitos por causas naturais da cidade, bairro ou área de análise pela Fração Atribuível Populacional**. Para o exemplo, vamos considerar que morrem 1.000 pessoas de 20 anos ou mais por ano por causas naturais na população da área em estudo:

$$\text{Óbitos}_{PM2.5} = 1000 \times (-0,041) = -41$$

Neste caso, **41 óbitos entre a população com 20 anos ou mais podem ser evitados pela redução dos níveis de PM2.5**.

3.3.2.1.2 “Anos de vida perdidos” - YLL

Os potenciais “anos de vida perdidos” (*Years of Life Lost* - YLL) estão relacionados às mortes prematuras, em idades menores que a expectativa de vida ao nascer. Na escala do indivíduo, é a **diferença entre a expectativa de vida ao nascer na área em estudo e a idade em que ocorreu o óbito** – por exemplo, para uma pessoa com expectativa de vida ao nascer igual a 77 anos, uma morte aos 45 anos representa 32 “anos de vida perdidos”. Já na escala da população, é a soma desse resultado obtido individualmente considerando todas as mortes prematuras na população.

Para o exemplo, vamos considerar que são perdidos anualmente 30.000 potenciais anos de vida:

$$\text{Anos de vida perdidos PM 2.5} = 30.000 \times (-0,041) = -1.230$$

Neste caso, **1.230 “anos de vida perdidos”** na população com 20 anos ou mais **podem ser evitados devido à redução dos níveis de PM 2.5**.

3.3.2.1.3 “Valor Estatístico da Vida”

Por fim, é possível calcular o custo monetário dos óbitos atribuíveis, ao multiplicá-los pelo indicador “**Valor Estatístico da Vida**” (VEV) (Equação 4), que é uma estimativa do custo médio para prevenir uma morte estatística ou o valor que a pessoa está disposta a pagar para evitar uma morte (FERRARI *et al.*, 2019).

$$\text{Custo} = \text{VEV} \times \text{Óbitos} \quad (4)$$

Para o exemplo, vamos considerar o Valor Estatístico da Vida de R\$ 2.272.829,77 calculado pela Associação Nacional de Transportes Públicos em 2018 para as cidades brasileiras (ANTP, 2020):

$$\text{Custo PM 2.5} = \text{R\$ } 2.272.829,77 \times (-41) = - \text{R\$ } 93.186.020,57$$

O resultado significa que aproximadamente R\$ 93,2 milhões podem ser economizados devido à redução nos níveis de PM 2.5.

3.3.2.2 Abordagem 2 (indireta) - Exemplo

A situação simulada aqui é que uma cidade deseja diminuir o impacto do seu padrão de transporte sobre a saúde, partindo de pressupostos intuitivos que afirmam ser necessário diminuir as viagens motorizadas e aumentar as viagens ativas para que isso aconteça. Neste exemplo, ao contrário do anterior, são tratadas as 3 exposições – poluição do ar, atividade física e sinistros de trânsito.

3.3.2.2.1 Poluição do ar (PM 2.5)

Vamos considerar que a cidade-exemplo pretenda alterar o seu padrão de mobilidade urbana para **diminuir a participação do transporte individual motorizado (TI) no cotidiano e promover o uso de bicicleta**. Com base nas alterações da divisão modal, foi estabelecido como meta que o **tempo médio de uso diário do TI por pessoa reduza dos atuais 30 minutos por dia para 10 minutos por dia** e que o **tempo médio de uso da bicicleta por pessoa aumente de 5 para 9 minutos por dia**. O tempo médio de uso para o transporte a pé e para o transporte público (TP) mantém-se iguais a 15 minutos por dia e 20 minutos por dia, respectivamente (Quadro 3).

Quadro 3 – Padrão de mobilidade adotado no exemplo

Modo de transporte	Tempo de uso do modo de transporte por pessoa na situação atual (min/dia) - cenário base	Tempo de uso do modo de transporte por pessoa desejado (min/dia) - cenário contrafactual
Transporte a pé	15	15
Transporte por Bicicleta	5	9

Transporte público (TP)	20	20
Transporte individual motorizado (TI)	30	10

Fonte: Elaboração própria.

O objetivo aqui é expressar as diferenças na poluição do ar em **cada cenário** por meio de variações na concentração média anual de PM2.5. Para isso, são estimadas a quantidade total de ar e de poluente PM2.5 inalados diariamente por uma pessoa em cada cenário, denominados **ar inalado** e **poluente inalado**, que são utilizados para estimar a concentração média anual de PM2.5 representativa para o transporte. A variação dessa concentração para o cenário em relação à mesma concentração para o cenário base é utilizada para os cálculos dos impactos à saúde.

Os cálculos do ar inalado e do poluente inalado são feitos para **três atividades**: o sono, o transporte e as outras atividades. O ar inalado é calculado por meio da Equação 5:

$$AIx = TVx \times Dx \quad (5)$$

Em que:

- AIx = ar inalado na atividade ou modo de transporte “x” (m³)
- TVx = taxa de ventilação na atividade ou modo de transporte “x” (m³/h) – constante
- Dx = duração diária da atividade ou modo de transporte “x” (h)

A **taxa de ventilação** é estimada a partir dos **Equivalentes Metabólicos da Tarefa** (METs) adotados para os impactos da atividade física, já que uma unidade equivale a um consumo de oxigênio (VO₂) de aproximadamente 3,5 mL/kg/min (COELHO-RAVAGNANI *et al.*, 2013). Neste trabalho, foram utilizados os valores presentes em Clockston e Rojas-Rueda (2021) (Quadro 4).

Quadro 4 – Relação entre o MET e a ventilação-minuto adotados

Atividade ou modo de transporte	Gasto energético (MET)	Taxa de ventilação (m³/h)
Sono	0,95	0,27
Outras atividades	1	0,61
Transporte a pé	4	1,14
Transporte por Bicicleta	6,8	2,22
Transporte público (TP)	1	0,61
Transporte individual motorizado (TI)	1	0,61

Fonte: Clockston e Rojas-Rueda (2021).

Já a duração é obtida a partir dos dados de entrada dos cenários (Quadro 5).

Quadro 5 – Duração das atividades

Atividade ou modo de viagem	Duração (h)
Sono	8
Transporte a pé	Tempo médio diário por pessoa para o transporte a pé

Transporte por Bicicleta	Tempo médio diário por pessoa para o transporte por bicicleta
Transporte público (TP)	Tempo médio diário por pessoa para TP
Transporte individual motorizado (TI)	Tempo médio diário por pessoa para TI
Transporte (total)	Soma dos tempos médios diários por pessoa para TI, TP, bicicleta e a pé
Outras atividades	24 – (sono + transporte)

Fonte: Elaboração própria a partir de Clockston e Rojas-Rueda (2021) e Johnson e Abbas (2021).

Com isso, o ar inalado é calculado para o exemplo conforme a Tabela 1:

Tabela 1 – Cálculo do ar inalado para o cenário contrafactual do exemplo

Atividade ou modo de viagem	Taxa de ventilação (m ³ /h)	Duração (h)	Ar inalado (µg)
Sono	0,27	8	2,16
Transporte a pé	1,14	0,25	0,28
Transporte por Bicicleta	2,22	0,15	0,33
Transporte público (TP)	0,61	0,17	0,1
Transporte individual motorizado (TI)	0,61	0,33	0,2
Outras atividades	0,61	15,1	9,21
Total			12,29

Fonte: Elaboração própria.

Já o **poluente inalado** é calculado pela multiplicação do ar inalado pela concentração média anual do poluente PM2.5 e pela taxa de exposição ao poluente na atividade ou modo de transporte (Quadro 6), conforme a Equação 6:

$$PIx = AIx \times C \times TEx \quad (6)$$

Em que:

- PIx = poluente inalado na atividade ou modo de transporte “x” (μg);
- AIx = ar inalado na atividade ou modo de transporte “x” (m^3);
- C : concentração de PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$);
- TEx : taxa de exposição ao poluente na atividade ou modo de transporte “x” (Quadro 6).

Quadro 6 – Taxa de exposição ao PM2.5

Atividade ou modo	Taxa de exposição
Sono	1
Outras atividades	1
Transporte a pé	1,6
Transporte por Bicicleta	2
Transporte público (TP)	1,9
Transporte individual motorizado (TI)	2,5

Fonte: De Nazelle, Bode e Orjuela (2017); World Health Organization (2021a); Johnson e Abbas (2021).

Retomando a cidade-exemplo, consideremos que as medições de PM 2.5 indiquem uma **concentração média anual de 10 microgramas por metro cúbico para toda a cidade**. O poluente inalado é calculado conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Cálculo do poluente inalado para o cenário contrafactual do exemplo

Atividade ou modo de viagem	Ar inalado (m ³)	Concentração (µg/m ³)	Taxa de exposição	Poluente inalado (µg)
Sono	2,16	10	1	21,6
Transporte a pé	0,28	10	1,6	5,41
Transporte por Bicicleta	0,33	10	2	6,66
Transporte público (TP)	0,1	10	1,9	2,54
Transporte individual motorizado (TI)	0,2	10	2,5	3,86
Outras atividades	9,21	10	1	92,11
Total				131,34

Fonte: Elaboração própria.

A partir das quantidades diárias de ar inalado e de poluente inalado em cada cenário é possível estimar a **concentração média anual de PM2.5 representativa do transporte** no cenário, como apresentado nas Equações 7 e 8:

$$\frac{PI_j}{AI_j} = \frac{\sum PI_{xj}}{\sum AI_{xj}} \quad (7)$$

$$C'j = \frac{PI_j}{AI_j} \quad (8)$$

Em que:

- PI_j = poluente inalado no cenário “j” (µg)
- AI_j = ar inalado no cenário “j” (m³)
- PI_{xj} = poluente inalado na atividade ou modo de transporte “x” no cenário “j” (µg)
- AI_{xj} = ar inalado na atividade ou modo de transporte “x” no cenário “j” (m³)

- $C'j$: concentração média anual de PM2.5 representativa do transporte para o cenário “j” ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

No exemplo, o ar inalado foi igual a 12,19 m^3 para o cenário base e 12,29 para o cenário contrafactual, enquanto o poluente inalado foi igual a 131,82 μg no cenário base e 131,34 μg para o cenário contrafactual. Ao dividir o poluente inalado pelo ar inalado, são obtidas as concentrações médias anuais de PM2.5 representativas do transporte iguais a **10,82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o cenário base e 10,62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o cenário contrafactual.**

A partir dessas concentrações médias anuais por cenário é possível estimar a “**diferença de exposição**” em relação ao cenário base, vide Equações 9 e 10:

$$\Delta C'j = C'j - C'b \quad (9)$$

$$\Delta E = \Delta C'j \quad (10)$$

Em que:

- $\Delta C'j$: variação na concentração média anual de PM2.5 representativa do transporte no cenário “j” ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- $C'j$: concentração média anual de PM2.5 representativa do transporte no cenário “j” ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- $C'b$: concentração média anual de PM2.5 representativa do transporte no cenário base ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- ΔE : diferença de exposição ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Retomando o exemplo:

$$\Delta E = 10,68 - 10,82 = -0,14$$

Isto significa que a mudança no padrão de mobilidade urbana da cidade-exemplo equivale a uma diferença de exposição de -0,14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Com base nessa “diferença de exposição” é que são realizados os cálculos de risco relativo, fração atribuível e impactos à saúde, semelhantes aos apresentados no exemplo da Abordagem 1.

3.3.2.2.2 Atividade física

Para calcular a quantidade da exposição "atividade física" o primeiro passo é saber o **gasto energético semanal médio por pessoa em cada cenário**. Para isso, são considerados dois tipos de atividade física: a realizada no tempo livre – na academia, no trabalho ou praticando esportes, por exemplo – ou **durante o transporte**, ao caminhar ou andar de bicicleta.

Dados de atividade física podem ser obtidos basicamente de dois modos: o primeiro é através de **questionários**, pesquisas de saúde ou censos que perguntam diretamente aos indivíduos a quantidade de tempo semanal gasta para realizar diversos tipos de atividade. O segundo é através de **medições diretas** da quantidade de tempo gasto em atividade com sensores “vestíveis” (pulseiras e relógios “inteligentes”), pedômetros, cronômetros, GPS, aplicativos de atividade física (*Strava, Google Fit...*).

A partir do tempo de atividade física é possível estimar o gasto energético por meio de fatores de conversão denominados **Equivalentes Metabólicos da Tarefa** (MET, *Metabolic Equivalent Task*) (Quadro 7), cuja multiplicação gera **uma unidade de medida comum para diversos tipos de atividade física, o MET-minuto ou a MET-hora**, que é o tempo de atividade considerando o gasto energético em repouso. Por exemplo, adota-se que para cada minuto de caminhada são realizados aproximadamente 4 MET-minutos, ou seja, **um minuto de caminhada equivale metabolicamente a 4 minutos em repouso**.

Quadro 7 – MET adotados para a atividade física

Modo de viagem	Gasto energético (MET)
Transporte a pé	4
Transporte por Bicicleta	6,8

Fonte: Clockston e Rojas-Rueda (2021).

Para estimar quanto uma pessoa realiza de atividade física no transporte, é necessário saber quanto tempo ela passa viajando em cada modo e qual o Equivalente Metabólico da Tarefa Correspondente ao modo, para aplicar na Equação 11:

$$GE(x) = D(x) \times MET(x) \quad (11)$$

Em que:

- $GE(x)$: gasto energético semanal para a atividade x (MET-min ou MET-h)
- $D(x)$: duração da atividade x em minutos ou horas semanais (min/sem ou h/sem)
- $MET(x)$: equivalente metabólico da tarefa para a atividade x (MET)

Retomemos a mudança do padrão de mobilidade para a cidade exemplo. Foi estimado que, na situação atual, uma pessoa caminha 15 minutos por dia e anda de bicicleta por 5 minutos ao dia. No cenário desejado, a pessoa continua caminhando 15 minutos diários e passa a andar de bicicleta por 9 minutos diários.

Consideremos que esse padrão é aplicável somente em cinco dias da semana, de segunda a sexta-feira. Nesse caso, o tempo semanal realizando o transporte a pé é igual a 75 minutos em ambos os cenários, e o tempo semanal realizando o transporte por bicicleta é igual a 25 minutos no cenário base e 45 minutos no cenário contrafactual. A partir disso, o gasto energético por pessoa no modo é igual a:

$$GE(a\ pé, ambos) = 75 \times 4 = 300\ MET\ min/semana$$

$$GE(bicicleta, base) = 25 \times 6,8 = 170\ MET\ min/semana$$

$$GE(bicicleta, cenário) = 45 \times 6,8 = 306\ MET\ min/semana$$

Ao somar os gastos energéticos semanais para o tempo livre e para o transporte ativo (transporte a pé ou por bicicleta), é obtido o nível de atividade física semanal para cada cenário, que será utilizado para calcular os impactos à saúde atribuíveis. Imaginemos que existe um questionário de

saúde anual e que o gasto energético médio para a população insuficientemente ativa é igual a 30 MET-min semanais. O gasto energético em cada cenário é igual a:

$$GE(base) = 30 + 300 + 170 = 500 \text{ MET min/semana}$$

$$GE(cenário) = 30 + 300 + 306 = 636 \text{ MET min/semana}$$

A partir desses valores, calcula-se o risco relativo para cada cenário. Para calcular o **risco relativo para a mortalidade por causas naturais**, utiliza-se como referência a função exposição-resposta apresentada por Woodcock *et al.* (2011): **risco relativo igual a 0,81 (“RR função”) para 660 MET-min semanais de atividade física “não vigorosa” (“E função”)**, como o transporte. Contudo, seu uso exige atenção, pois o tipo de função não é linear.

Pelo contrário, apresenta decaimento curvilíneo de raiz quarta (ou expoente 0,25) (Figura 21). **Com isso, incorpora-se o entendimento de que os ganhos à saúde (redução do Risco Relativo) são desigualmente maiores para indivíduos que começam a realizar alguma atividade física no deslocamento (ou seja, partem de um nível baixo ou inexistente) em relação aos indivíduos que já realizam muita atividade e, portanto, não têm muito ganho à saúde ao aumentar ainda mais suas MET-horas por semana (WOODCOCK *et al.*, 2011).**

Figura 21 – Função exposição-resposta para atividade física

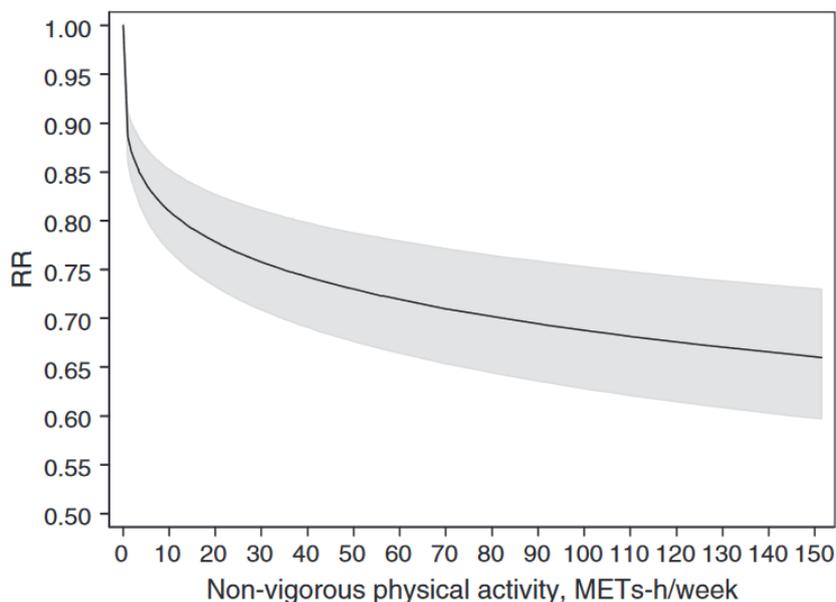


Figure 2 Association between MET-hours/week of non-vigorous physical activity and RR for all-cause mortality. In total, 29 estimates from 22 studies, 52 294 deaths, and 7 569 742 person years of follow-up, were taken. Data were fitted with a random-effect model including a power transformation of 0.25 for MET-hours/week. Shaded areas represent 95% CIs

Fonte: WOODCOCK *et al.* (2011).

Por isso, o cálculo do risco relativo utiliza a fórmula expressa na Equação 12:

$$RR_j = RR_f \left(\frac{E_j}{E_f} \right)^{0,25} \quad (12)$$

Em que:

- RRf: risco relativo apresentado no cenário analisado “j”
- RRf: risco relativo apresentado na função exposição-resposta
- E_j: quantidade de exposição no cenário analisado “j”
- E_f: quantidade de exposição apresentada na função exposição-resposta

Além disso, **o risco relativo é calculado considerando o nível de exposição de cada cenário individualmente**, e não a diferença entre o nível de exposição, pois qualquer nível de atividade física maior que zero gera algum ganho à saúde, ainda que mínimo.

$$RR \text{ base} = 0,81 \left(\frac{500}{660}\right)^{0,25} = 0,82$$

$$RR \text{ cenário} = 0,81 \left(\frac{636}{660}\right)^{0,25} = 0,81$$

A partir do risco relativo, os cálculos seguem como apresentado para a Abordagem 1. **A variação entre cenários é obtida pela diferença dos resultados, não pela diferença entre os níveis de exposição.**

3.3.2.2.3 Sinistros de trânsito

Esta exposição exige uma abordagem diferente das anteriores por não envolver as mortes por causas naturais derivadas da (não) realização de atividade física ou da inalação da poluição do ar, e sim aquelas causadas diretamente pelos sinistros de trânsito. Os dados relativos aos sinistros de trânsito geralmente são registrados por órgãos públicos voltados para o transporte ou saúde pública. Um sinistro de trânsito pode ser classificado de acordo com sua **fatalidade**⁹ (fatais ou não-fatais), **condição dos envolvidos** (condutor, pedestre, ciclista, passageiro), **tipo** de sinistro (atropelamento, colisão, abalroamento, choque), entre outras possibilidades.

Para estimar os impactos dos diferentes cenários nos sinistros de trânsito, é necessário entender como cada modal contribui para a probabilidade da ocorrência de uma colisão no trânsito. São utilizados **dois indicadores para cada modal**: a quantidade de colisões em um determinado período de tempo (um ou mais anos) e a distância percorrida no período.

Uma metodologia adotada em algumas publicações envolve o uso da métrica de **lesões ou óbitos por bilhão de quilômetros percorridos no modal ao ano**, por exemplo, assumindo a existência de uma relação

⁹ Nesta dissertação, consideramos somente os sinistros de trânsito fatais.

diretamente proporcional entre o aumento da distância total percorrida no modal e o número de lesões ou óbitos (CLOCKSTON; ROJAS-RUEDA, 2021; ROJAS-RUEDA, 2021; ROJAS-RUEDA *et al.*, 2011, 2012, 2016; SÁ *et al.*, 2017; WOODCOCK *et al.*, 2009, 2014; WOODCOCK; GIVONI; MORGAN, 2013; ZAPATA-DIOMEDI *et al.*, 2017).

Outra abordagem, utilizada neste trabalho, **assume como pressuposto a existência de uma "vítima" (*victim*) e um "colidente" (*striking vehicle*) em um sinistro de trânsito**, que são respectivamente o modal mais vulnerável e o menos vulnerável. A partir deste entendimento, as colisões são tabuladas em uma matriz (Figura 22) que considera esse par de modais e os cálculos adotam as distâncias percorridas por cada um deles (MAIZLISH *et al.*, 2013; MAIZLISH; TOMARI; LONDON, 2019; WHITFIELD *et al.*, 2017).

Figura 22 – Matriz de sinistros de trânsito

		Number of Injuries/Fatalities						
		Striking Vehicle, SV						
Victim, V		b	p	m	c	d	h	
Bicycle		b	 r_{bb}	 r_{bp}	 r_{bm}	 r_{bc}	 r_{bd}	 r_{bh}
Pedestrian		p	r_{pb}	r_{pp}	.	.	.	.
Motorcycle		m	r_{mb}	r_{mp}	r_{mm}	.	.	.
Car		c	r_{cb}	etc	.	.	.	.
Bus		d	r_{db}	.	.	.	.	.
Truck		h	r_{hb}	.	.	.	.	.

Fonte: Maizlish, Tomari e London (2019).

Aqui são utilizados dois tipos de distâncias totais: a percorrida pelo veículo (como o VKT – *Vehicle Kilometers Traveled*, que é a distância total percorrida pelos veículos no ano) ou a percorrida pelas pessoas (PKT – *Personal Kilometers Traveled*, “quilômetros pessoais viajados”), que é obtida ao multiplicar a primeira pela taxa de ocupação do modal (MAIZLISH; TOMARI; LONDON, 2019) (Equação 13).

$$PKTv = Dv \times TOv \quad (13)$$

Em que:

- PKTv: *personal kilometers traveled* para o modo vítima “v” (km/ano)
- Dv: distância anual percorrida no modo vítima “v” (km/ano)
- TOv: taxa de ocupação no modo vítima “v”

Para viagens a pé ou de bicicleta, a taxa de ocupação do modo é igual a 1, logo o PKT é igual ao VKT. Os modos motorizados (automóvel, ônibus), por outro lado, apresentam taxa de ocupação diferente de 1, o que implica em valores diferentes para o PKT e o VKT.

Imaginemos que o padrão desejado pela cidade-exemplo prevê a alteração da distância anual percorrida (o VKT) pelos **automóveis de 36 bilhões de km para 12 bilhões de km** e o aumento desse indicador para a **bicicleta de 1 bilhão de km para 2 bilhões de km**.

Pretende-se saber qual o **impacto dessa redução nas colisões fatais** considerando automóveis e bicicletas. Neste caso, monta-se uma matriz de colisões fatais com três pares vítima-colidente (de quatro pares potenciais): bicicleta-bicicleta (“b,b”), bicicleta-automóvel (“b,a”), automóvel-automóvel (“a,a”) (Tabela 3).

Tabela 3 – Matriz de óbitos para o exemplo

Vítima/responsável	Bicicleta	Automóvel
Bicicleta	5	25
Automóvel	-	100

Fonte: Elaboração própria.

A partir dessas informações é calculada a taxa de óbitos por sinistros de trânsito¹⁰ pela distância percorrida pelo par vítima-colidente no cenário base, conforme a Equação 14:

$$TOSv, c = \frac{OSv, c}{(PKTv \times VKTc)^{0,5}} \quad (14)$$

Em que:

¹⁰ Pode-se aplicar este cálculo também para as lesões não-fatais decorrentes de sinistros de trânsito.

- $TOS_{v,c}$: taxa de óbitos por sinistros de trânsito para o par vítima-colidente “v,c” (sinistros/km)
- $OS_{v,c}$: óbitos por sinistros de trânsito para o par vítima-colidente “v,c”
- PKT_v : *personal kilometers traveled* para o modo vítima “v” (km/ano)
- VKT_c : *vehicle kilometers traveled* para o modo colidente “c” (km/ano)

Para o exemplo, a taxa de ocupação do automóvel na cidade é 1,5 pessoas por veículo. Com isso, o PKT do automóvel no cenário base é igual a 54 bilhões de km (36 bi x 1,5) e o mesmo indicador para o cenário contrafactual é 18 bilhões de km (12 bi x 1,5), enquanto os valores para a bicicleta são os mesmos (1 e 2 bilhões de km x 1).

Com isso, a taxa de óbitos por sinistros de trânsito é calculada para cada par:

$$TSF_{b,b} = \frac{5}{(1.000.000.000 \times 1.000.000.000)^{0,5}} = 5 \times 10^{-9}$$

$$TSF_{b,a} = \frac{25}{(1.000.000.000 \times 36.000.000.000)^{0,5}} = 4,17 \times 10^{-9}$$

$$TSF_{a,a} = \frac{100}{(54.000.000.000 \times 36.000.000.000)^{0,5}} = 2,27 \times 10^{-9}$$

Ao multiplicar essa taxa por par pelas distâncias anuais percorridas pelos modos do par no cenário, foi estimada a quantidade de óbitos por sinistros de trânsito por par que ocorreriam no cenário, vide Equação 15:

$$OS_{v,c_j} = TSF_{v,c} \times (PKT_{vj} \times VKT_{cj})^{0,5} \quad (15)$$

- OS_{v,c_j} : óbitos por sinistros de trânsito para o par vítima-colidente “v,c” no cenário “j”
- $TSF_{v,c}$: taxa de óbitos por sinistros de trânsito para o par vítima-colidente “v,c” (sinistros/km)

- PKTv_j: *personal kilometers traveled* para o modo vítima “v” no cenário “j” (km/ano)
- VKTc_j: *vehicle kilometers traveled* para o modo colidente “c” no cenário “j” (km/ano)

Para o exemplo, os óbitos por sinistros de trânsito por par no cenário são:

$$SFib,b = (5 \times 10^{-9}) \times (2.000.000.000 \times 2.000.000.000)^{0,5} = 10$$

$$SFib,a = (4,17 \times 10^{-9}) \times (2.000.000.000 \times 12.000.000.000)^{0,5} \\ = 2043$$

$$SFia,a = (2,27 \times 10^{-9}) \times (18.000.000.000 \times 12.000.000.000)^{0,5} \\ = 3336$$

Em seguida, é calculada a quantidade total de óbitos para cada cenário a partir da soma dos resultados obtidos para cada par (Equação 16):

$$OS_j = \sum OS_{v,c_j} \quad (16)$$

- OS_j: óbitos por sinistros de trânsito para o cenário “j”
- OS_{v,c_j}: óbitos por sinistros de trânsito para o par vítima-colidente “v,c” no cenário “j”

Para o exemplo, as quantidades totais de óbitos por sinistros de trânsito nos cenários base e contrafactual são, respectivamente:

$$OS_b = 5 + 25 + 100 = 130$$

$$OS_i = 10 + 20,43 + 33,36 = 63,79$$

A partir do total de óbitos por sinistros de trânsito para cada cenário, é estimada a **fração atribuível populacional** para os óbitos em sinistros de trânsito de cada cenário¹¹ (Equação 17):

$$FAP_j = \frac{OS_j - OS_b}{OS_b} \quad (17)$$

- FAP_j: fração atribuível populacional para o cenário “j”
- OS_j: óbitos por sinistros de trânsito para o cenário “j”
- OS_b: óbitos por sinistros de trânsito para o cenário base “b”

A fração atribuível populacional para o exemplo é igual a:

$$FAP = \frac{63,79 - 130}{130} = -0,509$$

Calcula-se a variação no número de óbitos por sinistros de trânsito¹² ao multiplicar a fração atribuível populacional pelo total de óbitos por sinistros de trânsito (Equação 18):

$$\Delta OS = OS \times FAP \quad (18)$$

- ΔOS : variação nos óbitos por sinistros de trânsito
- OS: óbitos por sinistros de trânsito
- FAP: fração atribuível populacional

Vamos considerar que ocorreram 130 óbitos por sinistros de trânsito no ano analisado. A variação nos óbitos por sinistros de trânsito para o exemplo é igual a:

$$\Delta ST = 130 \times (-0,509) = -66$$

¹¹ Em Maizlish, Tomari e London (2019), a fórmula possui as variáveis do numerador em posição inversa porque o modelo “ITHIM Califórnia” adota o sinal negativo para descrever o aumento da mortalidade/morbididade.

¹² Aplica-se também aos “anos de vida perdidos” por sinistros de trânsito.

3.3.3 Unidade de análise

As aplicações de modelos baseados nos dados das exposições apresentam foco na análise espacial intraurbana, utilizando como unidade de análise o setor censitário ou uma malha espacial (BARBOZA *et al.*, 2022; IUNGMAN *et al.*, 2021; KHOMENKO *et al.*, 2020; MUELLER *et al.*, 2017b, 2017a, 2020; MUELLER, Natalie *et al.*, 2018).

Por outro lado, o uso de modelos que utilizam indicadores de mobilidade urbana envolve unidades de análise espaciais em escalas mais agregadas, como municípios, condados, regiões ou países. Esta situação está associada à incorporação da variação temporal nas análises, pois modelos do segundo tipo são utilizados para avaliar alterações ao longo do tempo devido à implantação de algum plano, projeto ou política (CLOCKSTON; ROJAS-RUEDA, 2021; GARCIA *et al.*, 2021; MAIZLISH *et al.*, 2013; MUELLER, N. *et al.*, 2018; OTERO; NIEUWENHUIJSEN; ROJAS-RUEDA, 2018; SÁ *et al.*, 2017; WHITFIELD *et al.*, 2017; WOODCOCK *et al.*, 2009, 2014; WOODCOCK; GIVONI; MORGAN, 2013; ZAPATA-DIOMEDI *et al.*, 2017).

3.3.4 Dados utilizados

Os modelos AIS utilizam diversos dados de entrada, aqui agrupados em oito tipos relacionados ao seu tema: padrão de mobilidade urbana, população, sinistros de trânsito, poluição do ar, atividade física, ruído, temperatura e áreas verdes (Quadro 8). Existem tipos de dados comuns aos modelos com abordagem “direta” (UTOPHIA) ou “indireta” (HEAT, ITHIM, TAPAS), como a população, a poluição do ar ou a atividade física, enquanto os dados de ruído, temperatura e áreas verdes são utilizados somente por modelos com abordagem “direta” e os dados relativos ao padrão de mobilidade urbana e aos sinistros de trânsito são aplicados somente nos modelos com abordagem “indireta”.

Quadro 8 – Dados de entrada utilizados nos modelos AIS

Tipo de dado	Dado de entrada	Abordagem do modelo AIS
População	Quantidade da população analisada (contagem, estimativa)	“Direta”, “Indireta”
Padrão de mobilidade urbana	<ul style="list-style-type: none"> • Quantidade média de viagens por modos ativos na população de estudo (duração, distância, número de viagens por pessoa, frequência, divisão modal a partir do total de viagens, número de passos caminhados); Volume de modos motorizados; • Quantidade diária de viagens; • Média de viagens diárias por pessoa; • Dias viajados por ano; • Duração média de viagem; • Distância anual total percorrida por modo 	“Indireta”
Poluição do ar	<ul style="list-style-type: none"> • Concentração média anual (PM2.5, NO₂ e outros poluentes); • Inventário de emissões totais (PM2.5, NO₂ e outros poluentes) 	“Direta”, “Indireta”
Atividade física	<ul style="list-style-type: none"> • Prevalência de níveis de atividade física (insuficientemente ativo, ativo, muito ativo) na população; • Quantidade de exercício semanal; • Intensidade de exercício (por modo de transporte) 	“Direta”, “Indireta”
Sinistros de trânsito	<ul style="list-style-type: none"> • Óbitos anuais por sinistros de trânsito; • Lesões anuais por sinistros de trânsito; • Taxa de mortalidade por sinistros de trânsito (óbitos/distância); • Taxa de lesões por sinistros de trânsito (óbitos/distância) 	“Indireta”

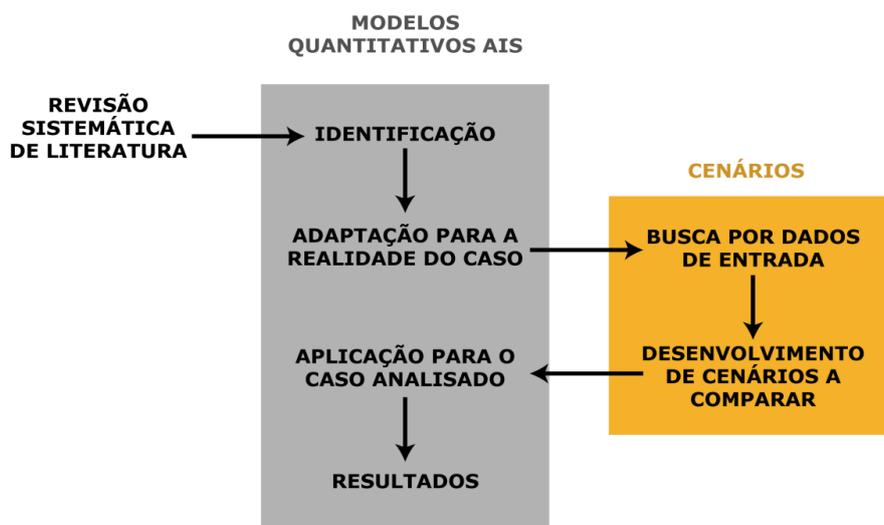
Ruído	<ul style="list-style-type: none"> • Níveis de ruído 7-23h (LAeq16h); • Níveis de ruído 23-7h (Lnight); • População altamente perturbada no período diurno (%HA); • População com o sono perturbado (%HSD) 	“Direta”
Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • Média das temperaturas máximas; • Série temporal de medições de temperatura; • Percentis de temperatura (temperatura de mínima mortalidade) 	“Direta”
Áreas verdes	<ul style="list-style-type: none"> • NDVI (Índice de vegetação com diferença normalizada); • Proporção de área verde na superfície territorial; • População com acesso a áreas verdes $\geq 0,5$ Ha dentro de uma distância linear de 300m 	“Direta”

Fonte: Adaptado de Rosa e Vargas (2022).

4 METODOLOGIA

Definidos o problema, a hipótese e a abordagem geral, a pesquisa segue o seguinte método (Figura 23) para atingir os objetivos:

Figura 23 – Síntese da metodologia adotada no trabalho



Fonte: Elaboração própria.

Este trabalho foi desenvolvido em seis etapas, com início na identificação dos modelos quantitativos de Avaliação de Impacto à Saúde a partir de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL), seguindo para a adaptação desses modelos para a realidade do caso, o que implicou na busca por dados de entrada disponíveis e no desenvolvimento dos cenários a serem analisados antes da aplicação dos modelos e da obtenção de resultados quantitativos. Foram utilizados os programas Microsoft Excel e RStudio 2022.02.3.

Para atingir o objetivo principal da pesquisa, consideramos o Estudo de Caso como estratégia de pesquisa mais adequada. Segundo Yin (2018), essa abordagem possibilita a investigação de um fenômeno contemporâneo complexo (o “caso”) dentro do seu contexto real, com limites indefinidos entre ambos.

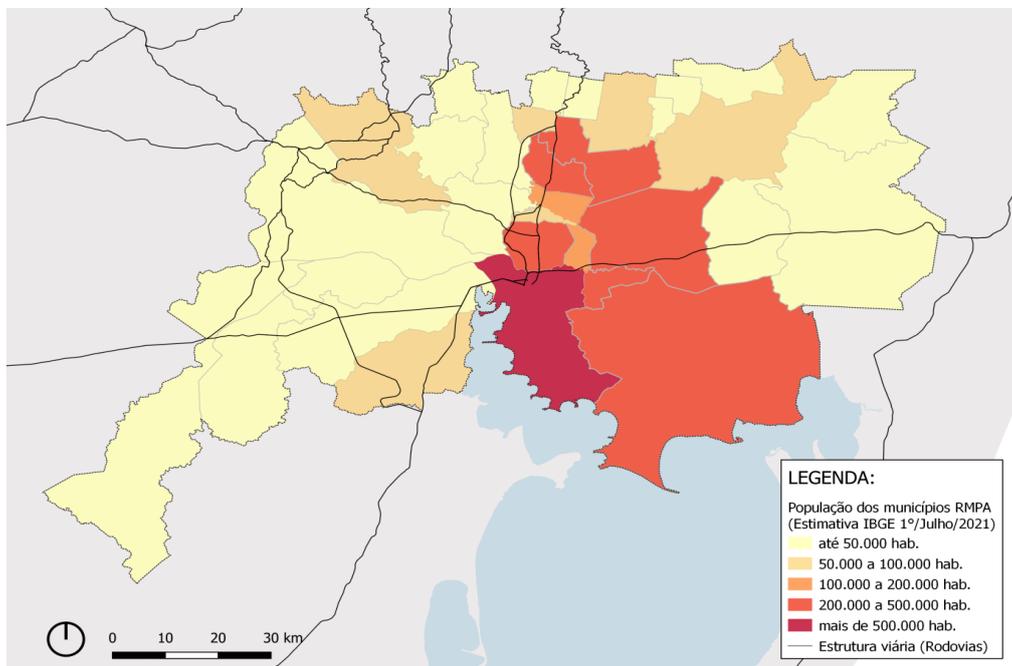
Quanto à delimitação, estabeleceu-se como objeto empírico o município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil nos anos de 2019 e 2032. O ano de 2019 foi tido como base por ser imediatamente anterior à pandemia de COVID-19, sendo o seu padrão de mobilidade urbana representativo de uma situação de normalidade. Por outro lado, a escolha de cenário futuro está associada à proposta de Plano de Mobilidade Urbana (MobiliPOA) enviada para a Câmara dos Vereadores de Porto Alegre em Fevereiro de 2022, que tem o ano de 2032 como horizonte de “longo prazo” (SUPTITZ, 2022).

4.1 UNIDADE DE ANÁLISE

A unidade de análise adotada aqui é o **município de Porto Alegre**, capital do estado do Rio Grande do Sul, localizado na região Sul do Brasil. Possui uma população estimada de aproximadamente 1,5 milhão de habitantes distribuídos em uma área de 495,4 km², sendo a décima segunda capital mais populosa do país. É o polo da Região Metropolitana de Porto Alegre - RMPA (Figura 24), a quinta maior região metropolitana brasileira, com 4,4 milhões de habitantes distribuídos em uma área total de 10342,9 km² ao longo de 34 municípios, pois detinha aproximadamente 17,5% do PIB estadual em 2017, 38,7% dos estabelecimentos comerciais e 46,7% dos empregados no território

metropolitano (CAMPOS; RORATO; BERNARDI, 2021; IBGE, 2020, 2021; RIO GRANDE DO SUL, 2020).

Figura 24 – RMPA: distribuição populacional e estrutura viária principal



Fonte: ROSA *et al.* (2022).

4.1.1 Evolução da estrutura urbana

Souza e Müller (1997) apresentam cinco fases da evolução urbana de Porto Alegre. A **primeira**, entre 1680 e 1772, envolve os antecedentes que impulsionaram a **ocupação do “núcleo”**, o território da futura Porto Alegre: a fundação da Colônia do Sacramento como posto avançado português no Rio da Prata, a crescente ocupação portuguesa no Rio Grande do Sul a partir do século XVIII, a troca da Colônia do Sacramento pelas Missões por meio do tratado de Madri, o estabelecimento da função portuária e, finalmente, a chegada dos açorianos ao “Porto dos Casais” (SOUZA; MÜLLER, 1997).

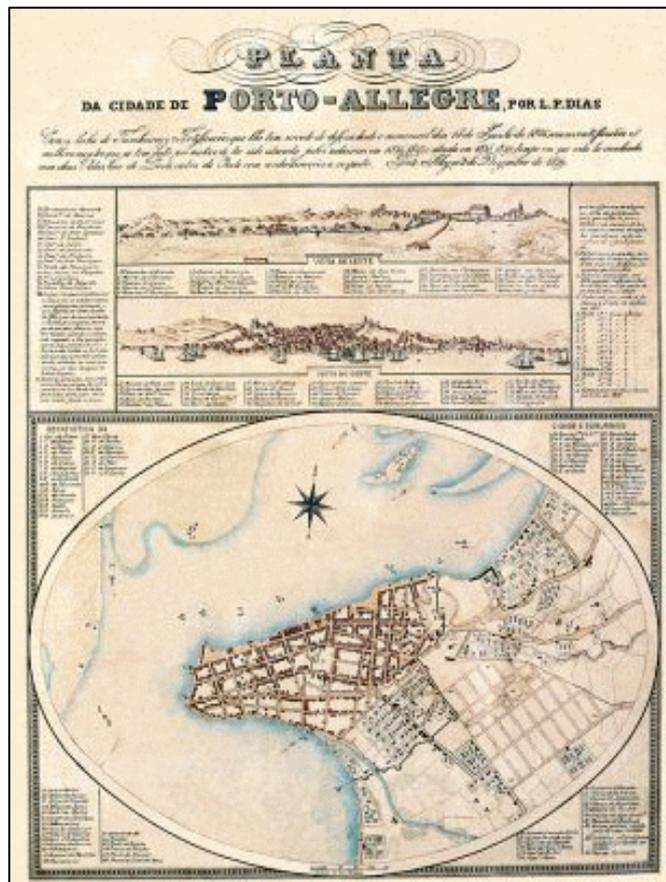
A **segunda**, de 1773 a 1820, está associada ao crescimento populacional de Porto Alegre, que se torna a capital da província. A Península (Figura 30), região delimitada por uma muralha e que corresponde ao atual Centro Histórico, recebe vários equipamentos públicos, como o Palácio do

Governo e a Casa da Alfândega. Todo o desenvolvimento foi possível devido à produção de **trigo** pelos açorianos (SOUZA; MÜLLER, 1997).

A **terceira**, entre 1820 e 1900, tem forte relação com a **imigração alemã e italiana** no Rio Grande do Sul. Entre 1824 e 1825, os alemães chegam e localizam-se inicialmente no vale do rio dos Sinos, a norte de Porto Alegre (por volta da atual São Leopoldo), utilizando o porto de Porto Alegre para exportar seus produtos agrícolas. Em 1875, estabelecem-se os italianos na atual Serra Gaúcha, que mantém comércio com Porto Alegre e possibilitam a formação de um mercado suficientemente amplo para a transformação da produção artesanal em industrial (SOUZA; MÜLLER, 1997).

Até o final da Guerra dos Farrapos, em 1845, a cidade apresentava muralhas que restringiam sua ocupação à Península (Figura 25). A partir da queda das muralhas, iniciou uma expansão urbana com a presença de equipamentos mais sofisticados, um sinal de rápido desenvolvimento urbano (SOUZA; MÜLLER, 1997).

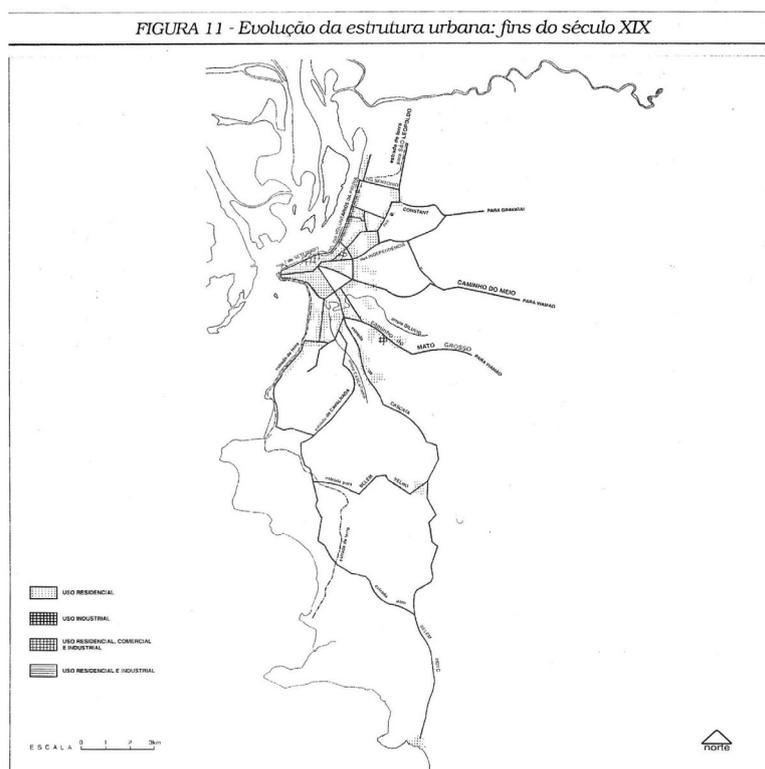
Figura 25 – Mapa de Porto Alegre 1839 – L. P. Dias.



Fonte: Fialho (2007).

Cascata (rua Oscar Pereira), em direção a Belém Velho, e a avenida Teresópolis, que vai a Belém Novo. O último eixo é a rua 13 de Maio (avenida Getúlio Vargas), que gera o traçado do atual bairro Menino Deus (SOUZA; MÜLLER, 1997).

Figura 27 – Evolução da estrutura urbana: fins do século XIX.



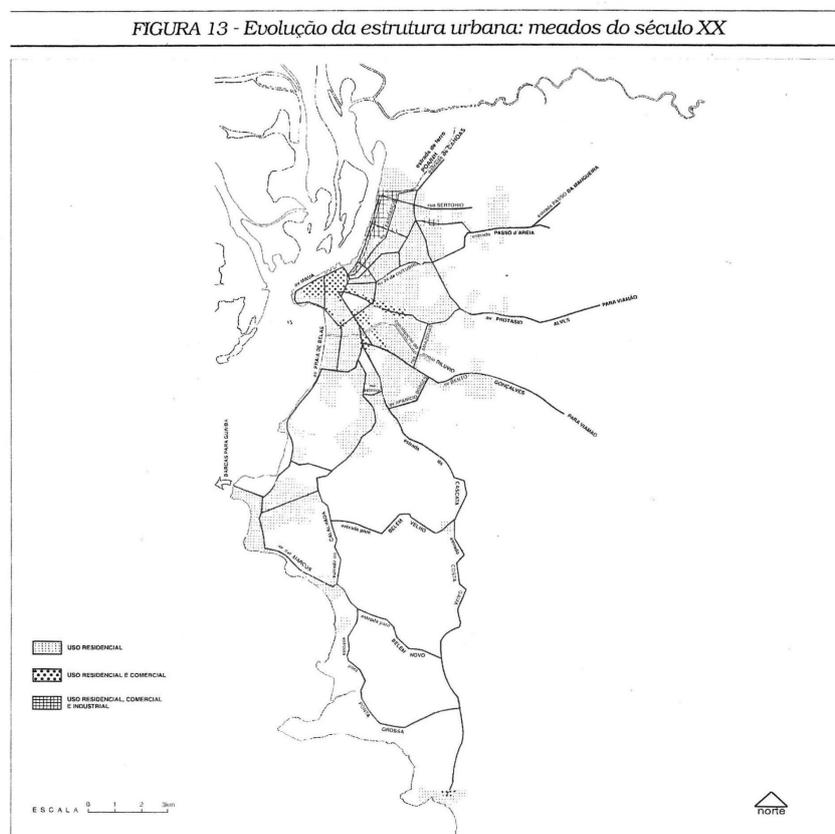
Fonte: Souza e Müller (1997).

A quarta fase (1890 a 1945) está baseada na crescente **industrialização** da região devido ao estabelecimento de um mercado consumidor relativamente amplo e pela dificuldade de importar manufaturados durante as duas guerras mundiais. Associa-se a isto o aumento considerável da população porto-alegrense e a disponibilidade de recursos financeiros para a realização de várias obras de remodelação da cidade. Destacam-se a construção do Cais do Porto (de 1914 a 1922) e a abertura da Avenida Farrapos (1940). A última é um reflexo da “nova política de transportes” vigente que viria a priorizar o transporte terrestre rodoviário em detrimento dos modais ferroviários e hidrovieiros (SOUZA; MÜLLER, 1997).

Neste período, ocorrem os grandes planos para o “melhoramento” da cidade, como o “Plano Geral de Melhoramentos” de 1914, do arquiteto Moreira Maciel, e o “Plano de Urbanização” (ou “Plano Gladosch”, referente ao arquiteto Arnaldo Gladosch) de 1940. São projetadas alterações no sistema viário, como as avenidas Júlio de Castilhos, Otávio Rocha e Borges de Medeiros, a implantação do sistema de saneamento para melhorar as condições higiênicas da cidade, além da instalação de equipamentos como hospitais e parques (SOUZA; MÜLLER, 1997).

A estrutura urbana (Figura 28) no período passa a apresentar vias radiais nas direções Canoas/Centro, Gravataí/Centro, Viamão/Centro, Belém Velho/Centro e Belém Novo/Centro. Fazem a união entre elas as perimetrais (parciais): avenidas Sertório, São Pedro, Dom Pedro II, Carlos Gomes e Barão do Amazonas, e as ruas Coronel Bordini, Aparício Borges, José de Alencar, Ramiro Barcelos, Venâncio Aires, Conceição, Sarmento Leite e a Rua da República (SOUZA; MÜLLER, 1997).

Figura 28 – Evolução da estrutura urbana: meados do século XIX.



Fonte: Souza e Müller (1997).

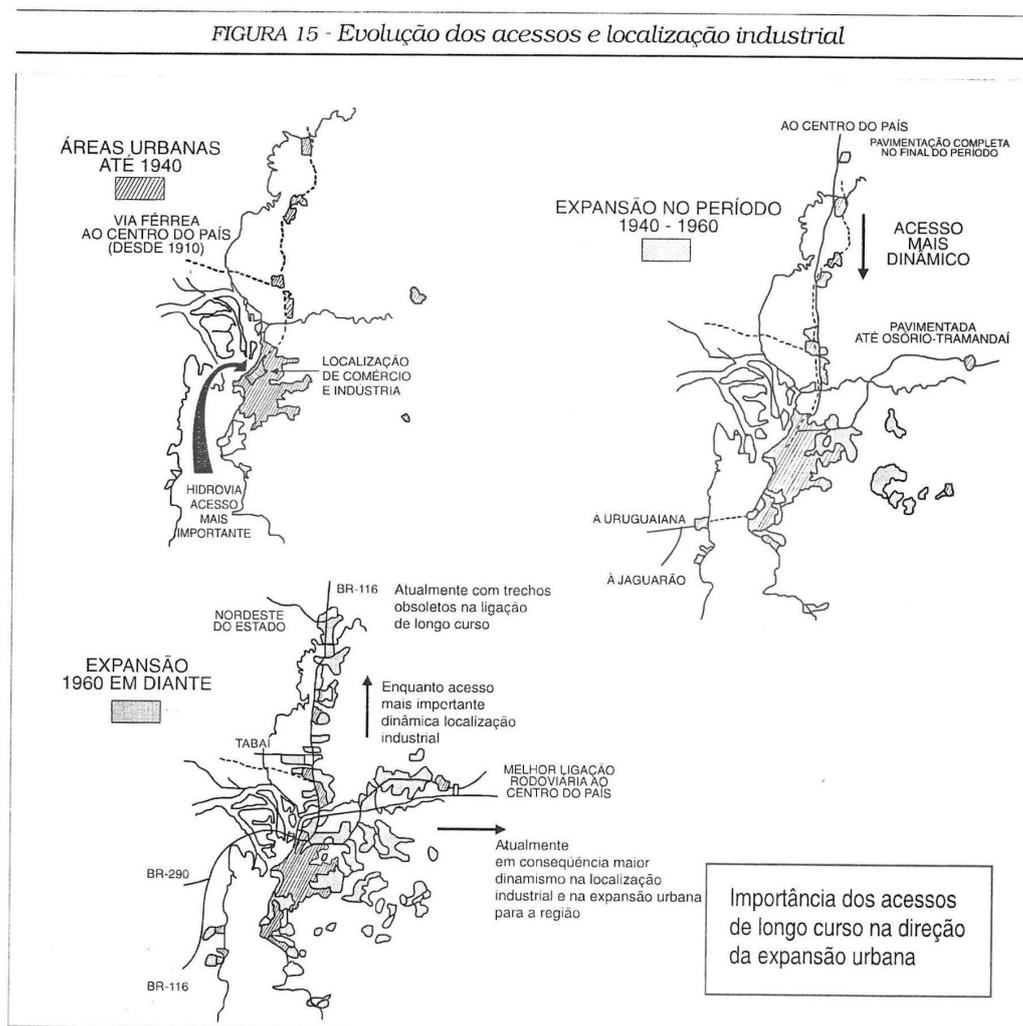
O último período é o da **metropolização** de Porto Alegre (desde 1945) está associado ao crescimento populacional devido ao êxodo rural e à instalação de parte desses migrantes em cidades próximas a Porto Alegre. A partir da década de 1960, Porto Alegre e seus vizinhos começam a formar organicamente um conjunto que possui demandas e problemas integrados. Compreende-se então a necessidade de pensar as questões de forma coordenada, para além da jurisdição municipal, o que promove um processo de metropolização que culmina com o estabelecimento em 1973 da Região Metropolitana de Porto Alegre, que possui o setor terciário como predominante na economia, com destaque para a metrópole, Porto Alegre (SOUZA; MÜLLER, 1997).

A construção da BR-116 promoveu uma movimentação locacional de algumas indústrias (antes localizadas próximo ao porto e à ferrovia) para fora dos limites urbanos de Porto Alegre, em direção ao norte. Com isso, uma quantidade considerável de moradias populares ficou instalada ao redor de Canoas, Esteio e Sapucaia do Sul. Após, com a construção do acesso para o litoral (BR-101), essa movimentação foi para leste, estabelecendo a ocupação em Cachoeirinha, Gravataí, Alvorada e Viamão (Figura 29). Ou seja, a expansão urbana passou a ser determinada pelos acessos de longo curso mais dinâmicos (SOUZA; MÜLLER, 1997).

Esse processo de metropolização e aumento da complexidade das questões urbanas provocou um esforço em adequar a infraestrutura às demandas por moradia e equipamentos. Ocorrem obras de expansão da rede de esgoto para além da área central, além de alterações no sistema viário (SOUZA; MÜLLER, 1997).

Em 1959, é instituído o Plano Diretor para a cidade de Porto Alegre, desenvolvido pelo urbanista Edvaldo Paiva e o arquiteto Demétrio Ribeiro. Apresenta forte influência do urbanismo modernista, representado pelas ideias de Le Corbusier e pela Carta de Atenas, com a definição de zoneamento do uso do solo sendo baseada nas quatro funções urbanas: habitar, circular, trabalhar e recrear. Foram estabelecidos também recuos e alturas máximas das edificações (SOUZA; MÜLLER, 1997).

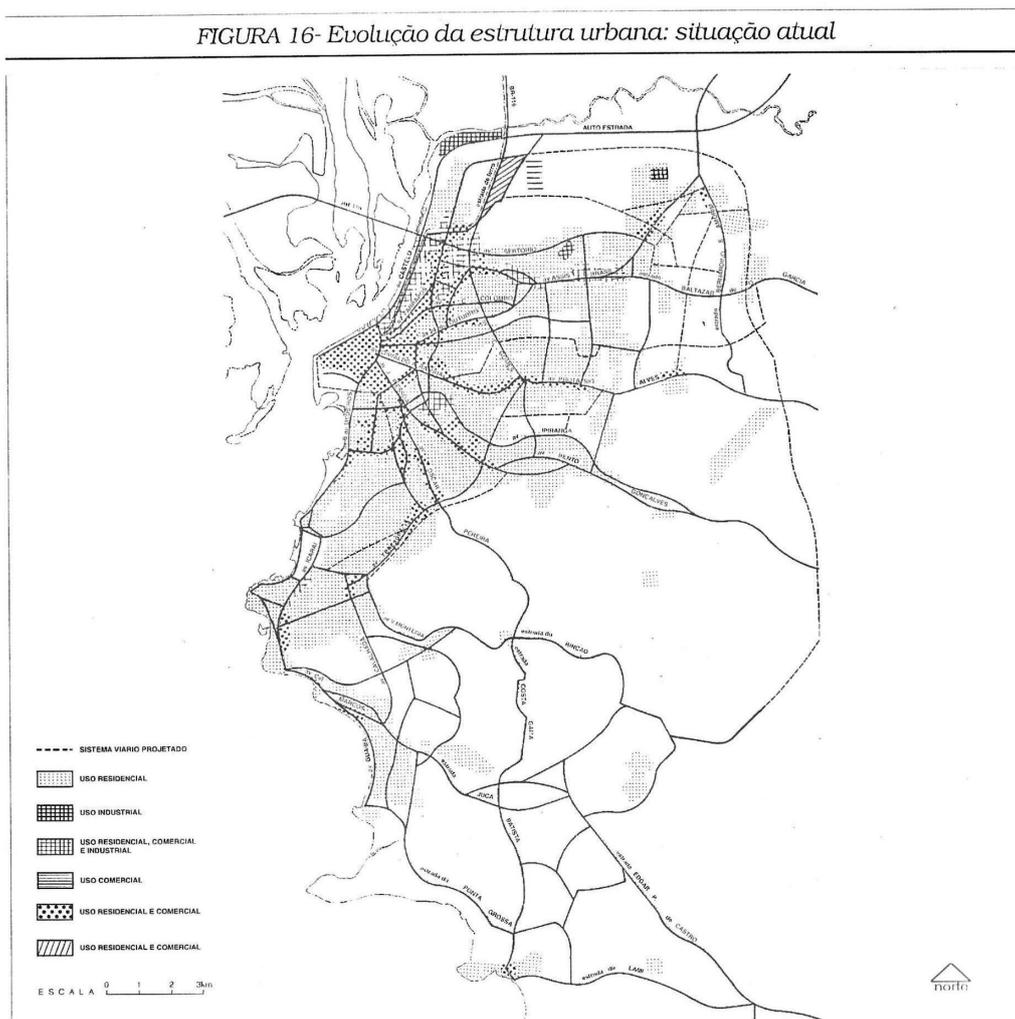
Figura 29 – Evolução dos acessos e localização industrial.



Fonte: Souza e Müller (1997).

O sistema viário de Porto Alegre é composto por vias radiais “em forma de leque” e por “trechos perimetrais” que interligam as radiais, a fim de abranger toda a área urbana (Figura 30). Isso gera uma malha urbana semelhante a um “emaranhado de vias” ao considerar quantidade e hierarquia. Na escala metropolitana, define a estrutura viária da região, sendo o Centro Histórico o principal ponto de convergência (SOUZA; MÜLLER, 1997).

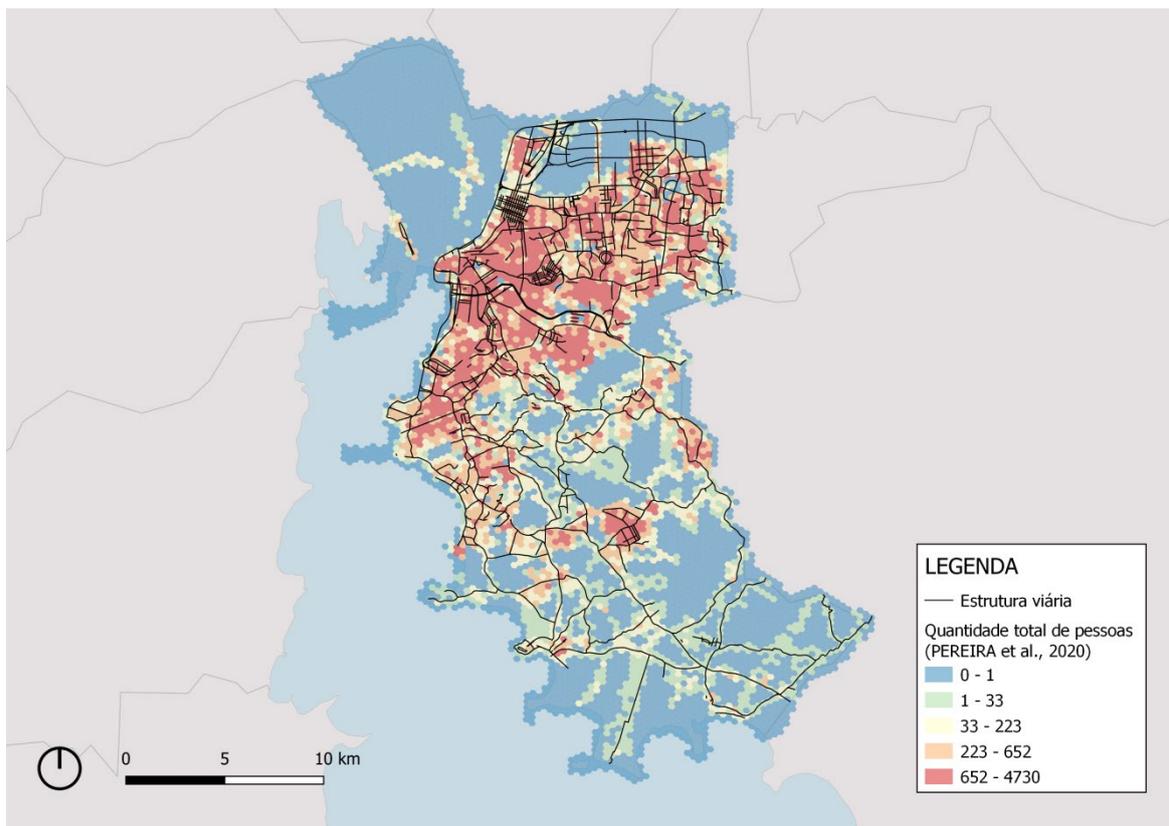
Figura 30 – Evolução da estrutura urbana: situação atual.



Fonte: Souza e Müller (1997).

A partir desse processo histórico, estabelece-se a atual ocupação urbana de Porto Alegre, em que a população está localizada nas áreas próximas às principais vias (Figura 31).

Figura 31 – POA: distribuição populacional e estrutura viária principal em 2019.



Fonte: Elaboração própria a partir de Pereira *et al.* (2020).

4.1.2 A mobilidade urbana vigente

No período após a institucionalização da Região Metropolitana de Porto Alegre em 1973, vários projetos e planos para o transporte (Quadro 9) foram desenvolvidos, sendo alguns deles implantados, como o trem metropolitano e o transporte por catamarã.

Quadro 9 – Evolução do transporte e seu planejamento em POA e na RMPA.

Perfil de planejamento (ARAÚJO, 2017)	Período	Evento, plano ou projeto
Planejamento tecnocrático, centralizado	1974-76	Plano Diretor de Transportes Urbanos da RMPA (PLAMET/PA)
	1979-81	Estudo de Corredores Metropolitanos da RMPA (COMET/PA)
		Estudo do Transporte Coletivo da RMPA Alegre (TRANSCOL)
		Estudo de Trem Suburbano da RMPA (Linha 1 do Trensurb)
Municipalismo e esvaziamento da questão metropolitana	1985	Trensurb: Implantação da Linha 1 (POA-Sapucaia do Sul)
	1997-2000	Trensurb: Extensão da Linha 1 até São Leopoldo
	1997-2001	Trensurb: Estudo de Viabilidade e Projeto Básico da Linha 2
Retomada do debate sobre planejamento e regiões metropolitanas	2001-11	Estudos, planos e projetos para viabilizar o Metrô de Porto Alegre
	2009	Plano Diretor Cicloviário Integrado (PDCI) de Porto Alegre
	11/2009	Plano Integrado de Transporte e Mobilidade Urbana (PITMUrb)
	02/2011	Metrô de POA anunciado como parte do PAC Mobilidade Urbana

2011	Plano Diretor de Acessibilidade de Porto Alegre
31/10/2011	Implantação da linha Porto Alegre-Guaíba do catamarã
2012-14	Trensurb: Extensão da Linha 1 até Novo Hamburgo
2014	Estatuto do Pedestre
2016	Cancelamento do repasse de verba para o Metrô
2018-atual	Plano de Mobilidade Urbana de Porto Alegre (MobiliPOA)

Fonte: Rosa *et al.* (2022).

Ao analisar o padrão de mobilidade urbana, nota-se que está vinculado à dinâmica de movimentação pendular metropolitana, pois Porto Alegre foi o destino de aproximadamente 55,1% das viagens da RMPA motivadas pelo trabalho enquanto que apenas 3,54% tem sentido oposto (CAMPOS; RORATO; BERNARDI, 2021). Além disso, mais de 36% dos deslocamentos diários a trabalho ou estudo na RMPA em 2010 foram realizados entre Porto Alegre e os municípios de Alvorada, Canoas e Viamão (IBGE, 2016).

Segundo uma publicação do IPEA, o tempo médio de deslocamento casa-trabalho na RMPA em 2009 foi de 27,7 minutos, sendo que este valor ficou acima de 30 minutos para a população mais pobre. A série temporal entre 1992 demonstrou valores de tempo médio entre 25 e 30 minutos (PEREIRA; SCHWANEN, 2013).

Quanto ao município, o relatório da pesquisa origem-destino mais recente (EDOM 2003) aponta que em 2003 eram realizadas mais de 2,9 milhões de viagens por dia, sendo 21,4% delas a pé, 0,5% de bicicleta, 36% em transporte individual motorizado, 39,6% em transporte público coletivo e 2,4% em outros modais (Quadro 10). O tempo médio de viagem era de 34,9 minutos (EPTC, 2004b, 2004a).

Quadro 10 – EDOM 2003: Total de viagens diárias por modal

Modal	Viagens diárias	Divisão modal
A pé	626064	21,4%
Bicicleta	15336	0,5%
Transporte individual motorizado (TI)	1051898	36,0%
Automóvel (condutor)	709361	24,3%
Automóvel (passageiro)	301648	10,3%
Motocicleta	40889	1,4%
Transporte público coletivo (TP)	1155895	39,6%
Trem	20694	0,7%
Lotação	52080	1,8%
Ônibus	1083121	37,1%
Outros modais	71546	2,4%
Outros	3130	0,1%
Caminhão	2571	0,1%
Táxi	14290	0,5%
Transporte escolar	34556	1,2%
Transporte fretado	16999	0,6%
Total	2920739	100,0%

Fonte: EPTC (2004b).

Além disso, apresentou em 2021 uma frota de 893.489 veículos, sendo 603.927 automóveis e 101.366 motocicletas (SENATRAN, 2022), e 116.218.271 passageiros de ônibus transportados no ano, um aumento de 3% em relação a 2020 e uma redução de aproximadamente 50% em relação a 2019 (EPTC, 2022).

4.2 CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS

4.2.1 Padrão de mobilidade urbana

Para a dissertação, esta etapa foi dificultada pelo fato da cidade analisada (Porto Alegre) não possuir visão de futuro clara, expressa por metas quantitativas (ROSA *et al.*, 2022), ou um entendimento sistemático sobre o padrão atual da mobilidade urbana, uma vez que sua pesquisa origem-destino mais recente é de 2003¹³. Deste modo, foi necessária a construção do

¹³ Está prevista a realização de nova pesquisa origem-destino em 2023 (PORTO ALEGRE, 2023; SUPTITZ, 2023).

entendimento sobre a situação vigente¹⁴ e proposição de visões para o futuro com base em informações existentes em planos de mobilidade, documentos oficiais, relatórios técnicos e notícias.

Foi utilizado o banco de dados da pesquisa “Mobilidade Ativa, Saúde e Bem-Estar: Análise Multiescalar da Caminhabilidade em Cidades Brasileiras”¹⁵ como uma referência quantitativa do padrão de mobilidade para as cidades brasileiras. A partir de uma amostra de 386 cidades brasileiras de portes e hierarquias urbanas variadas, foram extraídas informações sobre 160 planos de mobilidade urbana. Destes, 102 especificam a divisão modal vigente (Tabela 4), 35 possuem alguma meta de divisão modal (Tabela 5) e 25 possuem metas simultâneas de divisão modal para TI, TP, a pé e bicicleta.

Tabela 4 – Divisão modal: estatísticas descritivas

Variável	N	N*	Média	DesvPad	CoefVar	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
dm_coletivo	99	287	0,246	0,167	67,73	0,000	0,110	0,240	0,330	0,830
dm_individual	96	290	0,453	0,175	38,65	0,040	0,333	0,455	0,558	0,940
dm_ape	70	316	0,269	0,087	32,47	0,080	0,220	0,265	0,320	0,560
dm_bike	71	315	0,061	0,056	91,40	0,000	0,010	0,040	0,110	0,230
dm_ativo	96	290	0,318	0,122	38,46	0,010	0,240	0,312	0,400	0,790

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5 – Metas de divisão modal: estatísticas descritivas

Variável	N	N*	Média	DesvPad	CoefVar	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
meta_dm_coletivo	29	73	0,247	0,117	47,24	0,051	0,135	0,248	0,350	0,455
meta_dm_individual	30	72	0,340	0,104	30,45	0,195	0,216	0,375	0,430	0,470
meta_dm_ape	26	76	0,305	0,061	19,98	0,200	0,252	0,300	0,334	0,450
meta_dm_bike	28	74	0,111	0,062	56,04	0,011	0,049	0,130	0,164	0,200
meta_dm_ativo	28	74	0,414	0,082	19,80	0,250	0,350	0,415	0,477	0,594

Fonte: Elaboração própria.

Como referência qualitativa, foram utilizados os resultados de dois documentos do Plano de Mobilidade de Porto Alegre – MobiliPOA: o Diagnóstico, que trata da situação vigente da mobilidade urbana (PORTO

¹⁴ Que deve ser analisado com cautela.

¹⁵ Cujo banco de dados auxiliei a construir.

ALEGRE, 2018a) e o Prognóstico, que indica possibilidades para o futuro (PORTO ALEGRE, 2018b).

O primeiro cenário estabelecido foi o cenário “A: Base”, que representa o padrão de mobilidade vigente em 2019. Foi adotado o pressuposto de que o padrão de mobilidade urbana mudou desde a última pesquisa origem-destino, realizada em 2003 (EPTC, 2004a), com base no Diagnóstico do MobiliPOA:

[...] o transporte urbano vem passando por profundas alterações: o Transporte Público Seletivo por **Lotação registrou uma queda de 10%** do passageiro transportado entre 2003 e 2017; o Serviço de Transporte Público Coletivo por **Ônibus registrou uma queda de 27%** no número de passageiros que pagam tarifa (passageiro equivalente) no mesmo período [...] Além desses fatores, há o **aumento do número de deslocamentos por transporte individual**, impulsionados pelo aumento da frota de automóveis e pela oferta de serviço de transporte por aplicativo [...] (PORTO ALEGRE, 2018a, p. 57–58, grifo nosso)

O Prognóstico do MobiliPOA apresenta uma perspectiva para a década de 2030 de priorização crescente do transporte individual motorizado no cotidiano descrita como uma “mobilidade deteriorada”:

Em um cenário prospectivo em que **nada fosse feito para qualificar a situação existente**, [...] a infraestrutura dedicada à mobilidade ficaria mais deteriorada nos próximos anos, principalmente a infraestrutura dos modos não motorizados e coletivos, resultando na opção de cada vez mais pessoas por realizarem seus deslocamentos pelos modos motorizados individuais, o que levaria ao aumento dos congestionamentos, da poluição e da tarifa do transporte público. [...] **O número de passageiros transportados pelos modos coletivos seria cada vez menor.** [...] Isso alimentaria o ciclo vicioso do transporte, com novas reduções de passageiros transportados pelos modos coletivos [...] e o aumento do número dos deslocamentos por modos de transporte motorizados individuais, inclusive de fora de Porto Alegre. [...] **O transporte individual, realizado através de veículos motorizados, continuaria crescendo**, sendo o uso do veículo particular mais intenso que o do veículo compartilhado. (PORTO ALEGRE, 2018b, p. 12–14, grifo nosso)

A partir desse entendimento, foram construídos os cenários “B: Deteriorado” e “C: Manutenção”. O primeiro representa a adoção em 2032 de um padrão de mobilidade urbana “carrocêntrico”, ou seja, com altíssima participação do transporte individual motorizado na divisão modal. Como não

foi observado tal padrão para as cidades brasileiras¹⁶, foi utilizada a divisão modal de Los Angeles/EUA, cidade notoriamente conhecida pelo seu “carrocentrismo” (DELOITTE, 2020). Já o segundo representa o padrão de mobilidade resultante da manutenção das tendências de crescimento da frota de veículos motorizados e da redução no número de passageiros de ônibus para o ano de 2032.

O Prognóstico do MobiliPOA também apresenta outra visão para o futuro da mobilidade urbana¹⁷, voltada à priorização dos transportes ativos e público com o nome de “mobilidade idealizada”:

Este cenário futuro da mobilidade considera a **disponibilidade de recursos financeiros e de esforços dos gestores municipais para a mobilidade sustentável**, [...] a realização dos investimentos necessários para se alcançar a mobilidade idealizada e na **plena efetivação dos princípios da Política Nacional de Mobilidade Urbana**. Um **novo marco regulatório sobre a calçada entraria em vigor**, ampliando os aportes financeiros públicos e privados na qualificação desse espaço fundamental para a mobilidade e estabelecendo formas de intervenção urbana que observem a necessidade de continuidade longitudinal dos padrões de pavimento, **assumindo-o como parte integrante da mobilidade**. [...] **A rede cicloviária prevista no Plano Diretor Cicloviário seria implantada na sua totalidade**, garantindo continuidade e segurança no deslocamento dos ciclistas e de equipamentos de mobilidade pessoal. [...] **O transporte coletivo seria qualificado e organizado como o sistema estruturador da mobilidade no município**. [...] A emissão de gases poluentes seria reduzida drasticamente. A ampla adoção dos modos ativos e coletivos pela população faria com que a qualidade do ar melhorasse substancialmente, reduzindo os gastos públicos e sociais com tratamento de doenças respiratórias e de doenças relacionadas à poluição. [...] Com uma efetiva ação de conscientização da sociedade, **o transporte individual motorizado deixaria de ter o papel prioritário nos deslocamentos e nos investimentos municipais**. Haveria maior multimodalidade, ou seja, cada pessoa utilizaria diferentes modos de transporte nos seus deslocamentos diários, de acordo com as suas necessidades e interesses. (PORTO ALEGRE, 2018b, p. 17–18, grifo nosso)

Com base nisso, o cenário “D: Retorno a 2003” trata do retorno ao padrão de transporte identificado nas matrizes origem-destino da pesquisa EDOM 2003 (EPTC, 2004b), já o cenário “E: Idealizado” “2032: Idealizado (Visões para o futuro)” tem relação com o planejado para a mobilidade futura

¹⁶ Considerando divisões modais que contemplem os modos a pé, bicicleta, transporte público (TP) e transporte individual motorizado (TI).

¹⁷ Parece contraditório afirmar no início da seção que Porto Alegre não possui visão de futuro clara e dizer aqui que o Prognóstico mostra uma visão de futuro, mas não é. Embora existam visões de futuro nos diversos planos e projetos de mobilidade urbana, o poder público municipal nunca demonstrou adotar uma visão de futuro para a cidade.

de Porto Alegre. A diferença entre eles é que o cenário D prioriza o transporte público enquanto o E prioriza igualmente os modos ativos (a pé, bicicleta) e o transporte público. Foram estabelecidos cinco cenários a serem analisados (Quadro 11):

Quadro 11 – Cenários analisados na dissertação.

Cenário	Nome fantasia	Descrição
A	Base	“Atualização” do padrão de mobilidade urbana expresso na EDOM 2003 para o ano de 2019 a partir da variação na população, na frota de automóveis e motocicletas e no total de passageiros anuais de ônibus.
B	Deteriorado	Padrão de mobilidade urbana em 2032 semelhante ao adotado em Los Angeles, cidade notoriamente conhecida pelo seu “carrocentrismo” (DELOITTE, 2020).
C	Manutenção	<i>Business-as-usual</i> , padrão de mobilidade urbana baseado na extrapolação das tendências de crescimento da frota de veículos motorizados e da redução no número de passageiros de ônibus para o ano de 2032.
D	Retorno a 2003	Retorno em 2032 ao padrão de transporte identificado nas matrizes origem-destino da pesquisa origem-destino de 2003 (EDOM 2003).
E	Idealizado	Visão de futuro para 2032 voltada à priorização dos transportes ativos e público e incorporação de metas.

Fonte: Elaboração própria.

4.2.2 Eletrificação da frota

A crescente incorporação dos veículos elétricos na frota é uma questão bastante abordada nas discussões sobre o futuro da mobilidade urbana

(NIEUWENHUIJSEN, 2020). Diversos países ao redor do mundo possuem metas de eletrificação para as próximas décadas a fim de reduzir as emissões de carbono (ALVES; BRANDT, 2021; MACHADO, 2022).

No entanto, o Brasil pouco explora esta questão por priorizar alternativas como os biocombustíveis (ALVES; BRANDT, 2021; MACHADO, 2022), o que implica na sua adoção gradual em setores específicos da economia e na inexistência de metas de eletrificação (ALVES; BRANDT, 2021; MACHADO, 2023).

Com base nisso, propusemos cinco níveis de eletrificação de frota (Quadro 20) para avaliar o impacto à saúde da inserção de veículos elétricos no cotidiano. Em dezembro de 2022, Porto Alegre possuía 346 carros elétricos (fonte externa ou interna), o que equivale a 0,04% da frota total, e não possui ônibus elétricos (PORTO ALEGRE, 2019b; SENATRAN, 2022). A partir desta situação, foi estabelecido o nível de eletrificação “N0”, que representa a situação vigente.

Os três níveis de eletrificação intermediários (“N1”, “N2” e “N3”) baseados no cenário “ambicioso” para 2030 proposto no estudo “Emissions reduction benefits of a faster, global transition to zero-emission vehicles” do *International Council on Clean Transportation* (SEN; MILLER, 2022). Já o cenário N4 é a situação hipotética de eletrificação total da frota.

Quadro 12 – Níveis de eletrificação da frota analisados na dissertação.

Nível de eletrificação de frota	Participação no transporte individual motorizado – TI (%)	Participação no transporte público – TP (%)	Descrição
N0	0,04	0	Situação vigente em Porto Alegre
N1	30	60	Eletrificação em 2030 esperada para países como o Brasil (SEN; MILLER, 2022)

N2	60	75	Eletrificação em 2030 esperada para Índia, Japão, México, Coreia do Sul e alguns estados dos EUA (com metas modestas) (SEN; MILLER, 2022)
N3	75	90	Eletrificação em 2030 esperada para a União Europeia, Canadá, China, Islândia, Noruega, Reino Unido e alguns estados dos EUA (com metas ousadas) (SEN; MILLER, 2022)
N4	100	100	Eletrificação total da frota

Fonte: Elaboração própria.

4.3 ABORDAGEM ESCOLHIDA

Para esta dissertação, **o modelo utilizado é uma adaptação dos modelos centrados em indicadores de transporte**, especialmente a divisão modal e o tempo de viagem, como o ITHIM, o TAPAS e o HEAT.

As **exposições** consideradas foram a **poluição do ar por PM2.5**, a **atividade física** e os **sinistros de trânsito**, enquanto a **mortalidade por causas naturais** e a **mortalidade por sinistros de trânsito** são os **desfechos**, representados por **óbitos**, potenciais **“anos de vida perdidos”** (YLL) e por **custos monetários associados ao “Valor Estatístico da Vida”**.

Os impactos à saúde de cada exposição são calculados separadamente em “módulos” (seções 4.3.1, 4.3.2 e 4.3.3) que compõem o chamado “modelo AIS”¹⁸. Para produzir alguns dos dados de entrada desses módulos, existem

¹⁸ “Modelo de Avaliação de Impacto à Saúde”.

também os “modelos preliminares”¹⁹ (seções 4.4.1, 4.4.2, 4.4.3.1 e 4.4.3.2) (Figura 32).

O módulo “Poluição do ar – PM2.5” utilizado é uma adaptação do mesmo módulo presente no modelo *Integrated Transport and Health Impacts Model* - ITHIM (JOHNSON; ABBAS, 2021; WOODCOCK *et al.*, 2009). Todos os parâmetros internos são os mesmos presentes no modelo de referência, inclusive com o uso de concentrações médias anuais de PM2.5 diferentes para cada cenário, resultantes de um modelo preliminar (seção 3.3.4.3.1).

O módulo “Atividade física” utiliza a mesma estrutura apresentada no modelo *Transport Air Pollution and Physical ActivitieS* – TAPAS (CLOCKSTON; ROJAS-RUEDA, 2021; OTERO; NIEUWENHUIJSEN; ROJAS-RUEDA, 2018; ROJAS-RUEDA *et al.*, 2011), com algumas adaptações de outros modelos. O uso do gasto energético em atividades físicas no lazer e no trabalho para representar o gasto energético não relacionado à mobilidade urbana veio do modelo ITHIM²⁰. Já a metodologia de cálculo do gasto energético para os idosos adaptou parâmetros a partir do foi uma adaptação do *Urban TranspOrt Health Impact Assessment* – UTOPIA (MUELLER *et al.*, 2017b, 2017a).

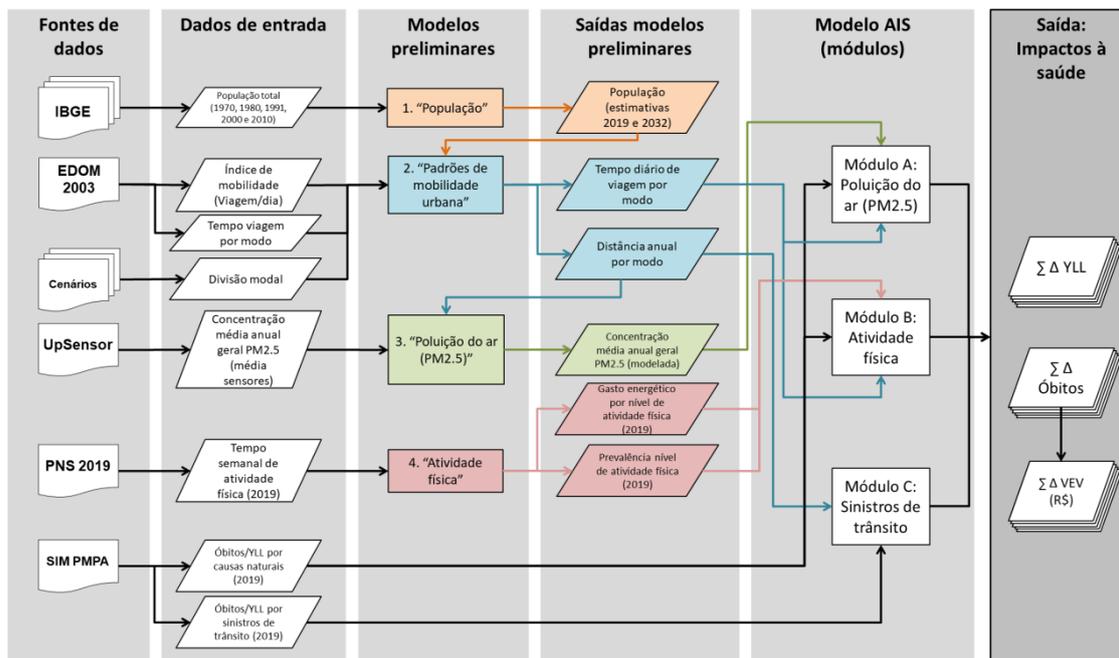
Por fim, o módulo “Sinistros de trânsito” é uma aplicação integral do modelo ITHIM, o que permitiu incorporar na modelagem o entendimento de que o aumento na presença de alguns modos (a pé, bicicleta, TP) em detrimento de outros (TI) pode reduzir a quantidade de sinistros de trânsito.

¹⁹ Assim denominados porque são utilizados antes do modelo AIS e tem a função de suprir carências de dados disponíveis.

²⁰ O modelo TAPAS também usa o gasto energético não relacionado à mobilidade urbana, porém não explicita as atividades que são consideradas.

Figura 32 – Síntese da metodologia aplicada na dissertação

METODOLOGIA



Fonte: Elaboração própria.

Foi analisada a **população de 20 anos ou mais**. Os impactos à saúde são apresentados de forma agregada e desagregada. Para calcular o impacto à saúde "**agregado**", foram utilizadas **duas populações** ("20 a 64 anos" e "65 anos ou mais") devido ao funcionamento do módulo de atividade física, cuja soma dos resultados foi considerada como o impacto à saúde "agregado" para a população de 20 anos ou mais.

Para avaliar o impacto "**desagregado**", foram consideradas **três faixas etárias** ("20 a 49 anos", "50 a 64 anos" e "65 anos ou mais") e **dois sexos (masculino e feminino)**, resultando em **seis perfis populacionais** diferentes. Estas variáveis foram escolhidas porque são as únicas em que todos os tipos de dados de entrada utilizados estão desagregados simultaneamente (APÊNDICE A).

4.3.1 Poluição do ar (PM2.5)

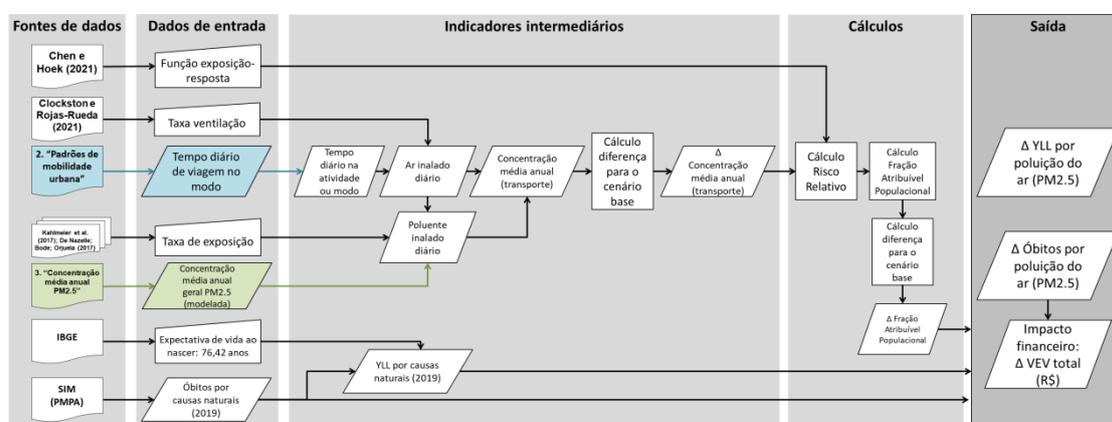
O módulo relativo à poluição do ar por PM2.5 modela as alterações na inalação diária de PM2.5 causadas pelas mudanças no padrão de mobilidade

urbana da população e no nível de eletrificação da frota de automóveis, motos e ônibus. Essas alterações são expressas como uma variação na concentração média anual de PM_{2.5}, utilizada para calcular os impactos à saúde (Figura 33).

Para isso, são utilizados como dados de entrada a **concentração média anual de PM_{2.5} geral para o cenário** (modelo preliminar “Poluição do ar”) e o **tempo diário por pessoa nos modos “a pé”, “bicicleta”, “TP” e “TI” e para acessar o TP a pé (a pé-TP)** (modelo preliminar “Padrões de mobilidade urbana”).

Figura 33 – Módulo A: Poluição do ar (PM_{2.5})

MÓDULO A: POLUIÇÃO DO AR (PM_{2.5})



Fonte: Elaboração própria.

São estabelecidas como atividades diárias os modos de transporte analisados (a pé, bicicleta, TI, TP e “a pé-TP”), o tempo de sono e as outras atividades, cuja duração diária está expressa no Quadro 13.

Quadro 13 – Duração das atividades

Atividade ou modo de viagem	Duração (h)
Sono	8
Transporte a pé	Tempo médio diário por pessoa para o transporte a pé

Transporte por Bicicleta	Tempo médio diário por pessoa para o transporte por bicicleta
Transporte público (TP)	Tempo médio diário por pessoa para TP
Transporte individual motorizado (TI)	Tempo médio diário por pessoa para TI
Transporte a pé – acesso ao transporte público (a pé-TP)	Tempo médio diário de caminhada para acessar o TP
Transporte total	Soma dos tempos médios diários por pessoa para TI, TP, bicicleta e a pé
Outras atividades	24 – (sono + transporte)

Fonte: Adaptado de Clockston e Rojas-Rueda (2021), Zapata-Diemedi *et al.* (2017) e Johnson e Abbas (2021).

O primeiro passo é estimar a quantidade de ar inalado por pessoa (APÊNDICE B), conforme a Equação 19:

$$Alg = TVg \times Tx_{aj} \quad (19)$$

- Alg = ar inalado na atividade ou modo de transporte “g” (m³)
- TVg = taxa de ventilação na atividade ou modo de transporte “g” (m³/h) – constante
- Txaj = tempo diário na atividade ou modo de transporte “x” do perfil populacional “a” para o cenário “j” (h)

Quadro 14 – Constantes para o cálculo do ar inalado

Constante	Valor	Fonte
Taxa de ventilação (m ³ /h) – sono	0,27	Clockston e Rojas-Rueda (2021)
Taxa de ventilação (m ³ /h) – outras atividades	0,61	

Taxa de ventilação (m ³ /h) – transporte a pé	1,14	
Taxa de ventilação (m ³ /h) – transporte por bicicleta	2,22	
Taxa de ventilação (m ³ /h) – transporte público (TP)	0,61	
Taxa de ventilação (m ³ /h) – transporte a pé para acessar o TP	1,14	
Taxa de ventilação (m ³ /h) – transporte individual motorizado (TI)	0,61	

Fonte: Elaboração própria.

Após, é calculada a quantidade de poluente (PM2.5) inalado por pessoa (APÊNDICE B) por meio da Equação 20:

$$PIg = A Ig \times C'j \times TEg \quad (20)$$

- PIg = poluente inalado na atividade ou modo de transporte “g” (μg)
- $A Ig$ = ar inalado na atividade ou modo de transporte “g” (m^3)
- $C'j$: concentração média anual de PM2.5 para o cenário “j” ($\mu g/m^3$)
- TEg = taxa de exposição ao poluente na atividade ou modo de transporte “g” (Quadro 15)

Quadro 15 – Constantes no cálculo do poluente inalado

Constante	Valor	Fonte
Taxa de exposição – sono	1	De Nazelle, Bode e Orjuela (2017); Johnson e Abbas (2021) e World Health Organization (2021a)
Taxa de exposição – outras atividades	1	
Taxa de exposição – transporte a pé	1,6	
Taxa de exposição – transporte por bicicleta	2	
Taxa de exposição – transporte público (TP)	1,9	
Taxa de exposição – transporte individual motorizado (TI)	2,5	

Fonte: Elaboração própria.

Em seguida é modelada a concentração média anual do poluente PM2.5 representativa do cenário de transporte (APÊNDICE B) a partir das quantidades de poluente e de ar inalados no cotidiano, conforme as Equações 21 e 22:

$$\frac{PI_j}{AI_j} = \frac{\sum PI_{gj}}{\sum AI_{gj}} \quad (21)$$

$$C''j = \frac{PI_j}{AI_j} \quad (22)$$

- PI_j = poluente inalado no cenário “j” (μg)
- AI_j = ar inalado no cenário “j” (m^3)
- PI_{gj} = poluente inalado na atividade ou modo de transporte “g” no cenário “j” (μg)
- AI_{gj} = ar inalado na atividade ou modo de transporte “g” no cenário “j” (m^3)
- $C''j$: concentração média anual de PM2.5 representativa do transporte para o cenário “j” ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Após, é estimada a variação na concentração de PM2.5 representativa do transporte em relação ao cenário base (APÊNDICE B) a partir da Equação 23:

$$\Delta C''j = C''j - C''b \quad (23)$$

- $\Delta C''j$: variação da concentração média anual de PM2.5 representativa do transporte do cenário “j” em relação ao cenário base ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- $C''j$: concentração média anual de PM2.5 representativa do transporte para o cenário “j” ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- $C''b$: concentração média anual de PM2.5 representativa do transporte para o cenário base ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

A partir dessa variação de concentração (a “diferença de exposição”) e da função exposição-resposta (Quadro 13) é calculado o **risco relativo** (APÊNDICE B) pelas Equações 24 e 25:

$$\frac{\Delta E_j}{\Delta E_f} = \frac{\Delta C''_j}{10} \quad (24)$$

$$RR_j = RR_f^{\left(\frac{\Delta E_j}{\Delta E_f}\right)} \quad (25)$$

Em que:

- ΔE_j : “diferença de exposição” no cenário analisado
- ΔE_f : “diferença de exposição” na função exposição-resposta
- $\Delta C''_j$: variação da concentração média anual de PM2.5 representativa do transporte do cenário “j” em relação ao cenário base ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- RR_j : risco relativo estimado para o cenário “j”
- RR_f : risco relativo apresentado na função exposição-resposta

Quadro 16 – Função exposição-resposta utilizada para PM2.5

Risco relativo (IC 95%)	Diferença de exposição considerada	Fonte
1,08 (1,06; 1,09)	Por aumento em 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Chen e Hoek (2020)

Fonte: Elaboração própria.

Em seguida, é calculada a **fração atribuível populacional** (APÊNDICE B). Neste caso, foi assumido que toda a população está exposta ao poluente (prevalência da exposição igual a 1), conforme a Equação 26:

$$FAP_j = \frac{(RR_j - 1)}{RR_j} \quad (26)$$

Em que:

- FAP_j : fração atribuível populacional do cenário “j”;
- RR_j : o risco relativo estimado para o cenário a partir da função exposição-resposta

Em seguida, foi calculada a **variação da fração atribuível populacional em relação ao cenário base** (ΔFAP). Para a poluição do ar, a fração

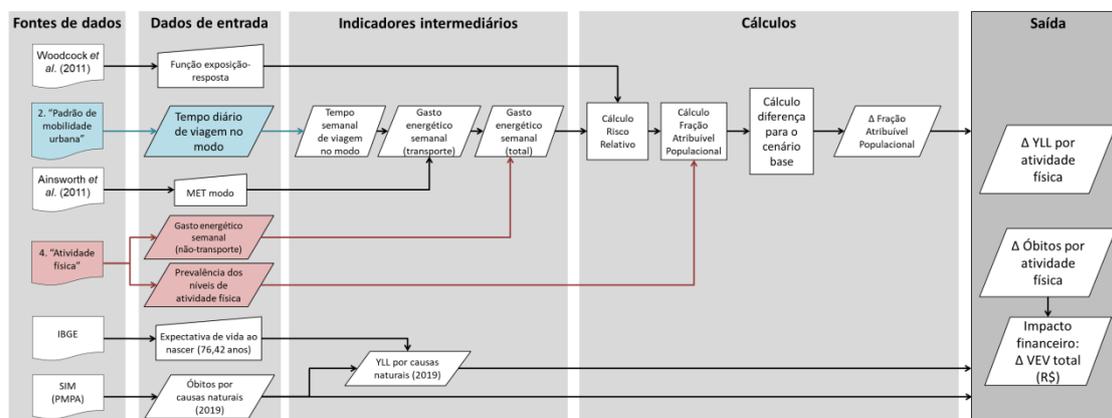
atribuível do cenário base é igual a zero, portanto, a variação é igual à fração atribuível populacional de cada cenário.

4.3.2 Atividade física

O módulo relativo à atividade física modela o gasto energético semanal em cada cenário a partir de alterações no padrão de mobilidade urbana, expresso em MET-horas semanais. Para isso, são utilizados como dados de entrada o gasto energético semanal sem relação com o transporte, a prevalência dos níveis de atividade física na população (modelo preliminar “Atividade física”) e o **tempo diário por pessoa nos modos “a pé”, “bicicleta”, “TP” e “TI” e para acessar o TP a pé (a pé-TP)** (modelo preliminar “Padrões de mobilidade urbana”) (Figura 34).

Figura 34 – Módulo B: Atividade física

MÓDULO B: ATIVIDADE FÍSICA



Fonte: Elaboração própria.

A Organização Mundial de Saúde recomenda a realização de 150 minutos (2,5 horas) semanais de atividade física moderada ou 75 minutos (1,25 horas) semanais de atividade física intensa (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2020). **Pessoas que cumprem essa recomendação são consideradas “ativas” e as que não cumprem são as “insuficientemente ativos”** ou sedentárias. No entanto, dentro das atividades físicas ditas “moderadas” ou “intensas”, há diferenças no gasto energético de cada

atividade. Por isso, adota-se um indicador chamado “Equivalente Metabólico da Tarefa” (*Metabolic Equivalent Task*, MET), que indica o gasto energético da atividade em questão em relação ao gasto energético em repouso (equivalente a 1 MET) (AINSWORTH *et al.*, 2011) e permite a comparação de atividades diferentes para determinar o nível de atividade física de uma pessoa²¹.

Deste modo, é possível transformar a recomendação da OMS de 2,5 horas semanais de atividade moderada ou 1,25 horas de atividade intensa em um único valor de referência. Considerando que o MET adotado para atividades moderadas é igual a 4 e o para atividade intensas é igual a 8, ao multiplicar o MET pelo tempo semanal recomendado é obtido o valor de **10 MET-horas semanais** (600 MET-minutos semanais) (MUELLER *et al.*, 2017b, 2017a). Este é o gasto energético semanal mínimo a realizar para ser considerado uma pessoa “ativa”.

Para pessoas idosas (65 anos ou mais), este valor é menor em função da diminuição natural do vigor físico com a idade. Neste caso, o MET adotado para atividades moderadas é igual a 3 e o para atividades intensas é igual a 6 (75% do MET “normal”), o que torna o gasto energético mínimo para um idoso ser considerado ativo igual a 7,5 MET-horas semanais (450 MET-minutos semanais)²² (MUELLER *et al.*, 2017b, 2017a).

A literatura aponta que a variação na quantidade de atividade física semanal impacta de forma desigual a saúde das pessoas conforme a quantidade de atividade física semanal já realizada. Ou seja, a realização de mais atividade física semanal possui maior impacto relativo em pessoas sedentárias do que nas ativas ou muito ativas (WOODCOCK *et al.*, 2011). Por isso, foram estabelecidos três níveis de atividade física semanal (Quadro 17) nesta dissertação a partir do apresentado em Bauman *et al.* (2009):

²¹ A determinação do MET para uma atividade é uma simplificação e possui limitações, uma vez que o gasto energético para uma mesma atividade varia entre indivíduos.

²² Isto foi observado no módulo relativo à atividade física do modelo UTOPIA.

Quadro 17 – Níveis de atividade física semanal adotados

Nível de atividade física	Critério (menos de 65 anos)	Critério (65 anos ou mais)
Insuficientemente ativo	Gasto metabólico semanal inferior a 10 MET-horas (600 MET-minutos)	Gasto metabólico semanal inferior a 7,5 MET-horas (450 MET-minutos)
Ativo	Gasto metabólico semanal maior ou igual a 10 MET-horas (600 MET-minutos) e menor que 50 MET-horas (3.000 MET-minutos)	Gasto metabólico semanal maior ou igual a 7,5 MET-horas (450 MET-minutos) e menor que 37,5 MET-horas (2.250 MET-minutos)
Muito ativo	Gasto metabólico semanal igual ou superior a 50 MET-horas (3.000 MET-minutos)	Gasto metabólico semanal igual ou superior a 37,5 MET-horas (2.250 MET-minutos)

Fonte: Adaptado de Bauman *et al.* (2009) e Mueller *et al.* (2017b, 2017a).

Algumas particularidades da exposição “atividade física” diferenciam este módulo dos demais. A primeira característica a ser notada é que a realização de qualquer quantidade de atividade física semanal está associada a melhores condições de saúde. Por isso, estudos epidemiológicos como Woodcock *et al.* (2011) – utilizado como referência para obter a função exposição-resposta utilizada neste módulo – costumam analisar os impactos de determinada quantidade de atividade física semanal em comparação ao cenário em que nenhuma atividade física é realizada. Ou seja, o impacto de cada cenário é estimado a partir do nível total de atividade física ao invés da variação de quantidade de atividade física entre cenários.

O segundo aspecto a observar é a relação entre atividade física e mortalidade por causas naturais, que possui uma distribuição desigual dos seus impactos à saúde de acordo com o nível de atividade física, uma vez que o aumento da quantidade de atividade física semanal impacta mais as pessoas sedentárias do que as que já realizam o nível recomendado²³. Woodcock *et al.*

²³ Um exemplo prático disso é quando uma pessoa começa a fazer musculação, por exemplo, pois o impacto maior no corpo ocorre enquanto principiante.

(2011) descreve essa relação com uma função curvilínea de expoente 0,25 (Tabela 6).

Tabela 6 – Função exposição-resposta para atividade física

MET-horas semanais	Risco Relativo (IC 95%)
0	1
2,5	0,86 (0,83; 0,89)
4,5	0,84 (0,81; 0,88)
6,25	0,83 (0,79; 0,87)
11,25	0,81 (0,76; 0,85)
12,5	0,8 (0,76; 0,84)
17,5	0,78 (0,74; 0,83)
22,5	0,77 (0,73; 0,82)
25	0,77 (0,72; 0,82)
31,5	0,76 (0,71; 0,81)
35	0,75 (0,7; 0,8)
45	0,74 (0,68; 0,79)
63	0,72 (0,66; 0,78)

Fonte: Adaptado de Woodcock *et al.* (2011).

Para cada perfil populacional, cenário e nível de atividade, foi calculado o gasto energético semanal total a partir da soma do **gasto energético semanal não relacionado à mobilidade urbana (lazer e trabalho)** e do **gasto energético semanal relacionado à mobilidade urbana** (deslocamentos a pé, por **bicicleta** e para entrar ou sair do **transporte público – TP**).

O gasto energético não relacionado à mobilidade urbana é um dado de entrada extraído da Pesquisa Nacional de Saúde para o ano de 2019 (APÊNDICE C), sendo constante para todos os cenários analisados.

Para estimar o gasto energético semanal relativo ao uso dos modos ativos e do transporte público, foi calculado o **tempo semanal em atividade física para cada modo de transporte** (APÊNDICE C). Para os modos ativos (a pé, bicicleta), multiplicou-se por 6 o tempo médio diário por pessoa²⁴. Já para o transporte público, foi multiplicada a quantidade média de viagens por

²⁴ Considerou-se que Sábado e Domingo juntos equivalem a um dia útil (pesquisas origem-destino tendem a analisar o padrão de mobilidade urbana nos dias úteis).

pessoa no transporte público²⁵ por 0,17 hora e por 6 dias, o que representa uma caminhada de 10 minutos por viagem para acesso ao transporte público.

Após, foi calculado o gasto energético semanal em MET-horas para cada tipo de atividade ao multiplicar o tempo no modo de transporte por seu respectivo Equivalente Metabólico da Tarefa (Quadro 18), conforme a Equação 27:

$$GE_{at} = MET_{at} \times ts_{at} \quad (27)$$

- GE_{at} : gasto energético semanal na atividade “at” (MET-horas);
- MET_{at} : equivalente metabólico da tarefa para a atividade “at” (MET) (Quadro 18);
- ts_{at} : tempo semanal na atividade “at” (horas)

Quadro 18 – MET adotado para o modo de transporte

Modo de transporte	Gasto energético (MET) – menos de 65 anos	Gasto energético (MET) – 65 anos ou mais
Transporte a pé, caminhada para acessar o transporte público (TP)	4	3
Transporte por Bicicleta	6,8	5,1

Fonte: Adaptado de Clockston e Rojas-Rueda (2021) e Mueller *et al.* (2017b, 2017a).

Com isso, os cálculos para os perfis com idade menor que 65 anos são iguais ao apresentado nas Equações 28, 29 e 30:

$$GES_{pe_j} = MET_{pe} \times ts_{pe_j} = 4 \times (Tpe_{ai} \times 6) \quad (28)$$

$$GES_{bici_j} = MET_{bici} \times ts_{bici_j} = 6,8 \times (Tbici_{ai} \times 6) \quad (29)$$

$$\begin{aligned} GE_{tp_j} &= MET_{pe} \times ts_{tp-pe} \\ &= 4 \times [(IMc_a \times DMtp_i \times 0,17) \times 6] \quad (30) \end{aligned}$$

²⁵ Resultante da multiplicação do “índice de mobilidade” pela “participação do transporte público na divisão modal”.

Para os perfis com 65 anos ou mais, o gasto energético nos modos “a pé”, “bicicleta” e TP é calculado pelas Equações 31, 32 e 33:

$$GESpe_j = MET_{pe} \times ts_{pe_j} = 3 \times (Tpe_{ai} \times 6) \quad (31)$$

$$GESbici_j = MET_{bici} \times ts_{bici_j} = 5,1 \times (Tbici_{ai} \times 6) \quad (32)$$

$$\begin{aligned} GEtp_j &= MET_{pe} \times ts_{tp-pe} \\ &= 3 \times [(IMc_a \times DMtp_i \times 0,17) \times 6] \quad (33) \end{aligned}$$

Após, são somados os gastos energéticos semanais obter o **gasto energético semanal total** para o cenário (APÊNDICE C), conforme a Equação 34:

$$GES_j = GESlt_j + GESpe_j + GESbici_j + GESTp_j \quad (34)$$

- GES_j: gasto energético semanal total para o cenário “j” (MET-horas)
- GESlt_j: gasto energético semanal no lazer e no trabalho para o cenário “j” (MET-horas) – constante
- GESpe_j: gasto energético semanal no modo “a pé” para o cenário “j” (MET-horas)
- GESbici_j: gasto energético semanal no modo “bicicleta” para o cenário “j” (MET-horas)
- GESTp_j: gasto energético semanal no modo “transporte público” para o cenário “j” (MET-horas)

A partir do gasto energético semanal total, é possível estimar o risco relativo para o cenário (APÊNDICE C) por meio da Equação 35:

$$RR_j = RR_f \left(\frac{GES_j}{GES_f} \right)^{0,25} \quad (35)$$

Em que:

- RR_j: risco relativo apresentado no cenário “j”

- RRf: risco relativo apresentado na função exposição-resposta
- GESj: gasto energético semanal para o cenário “j” (MET-horas);
- GESf: gasto energético semanal apresentado na função exposição-resposta (MET-horas);

Após estimar o risco relativo, é calculada a fração atribuível populacional (APÊNDICE C) para cada nível de atividade física (Equação 36):

$$FAP_{lj} = \frac{f_l \times (RR_j - 1)}{f_l \times (RR_j - 1) + 1} \quad (36)$$

Em que:

- FAP_{lj}: fração atribuível populacional do nível de atividade física “l” para o cenário “j”;
- f_l : prevalência do nível de atividade física “l” (APÊNDICE C);
- RR_j: risco relativo estimado para o cenário “j”.

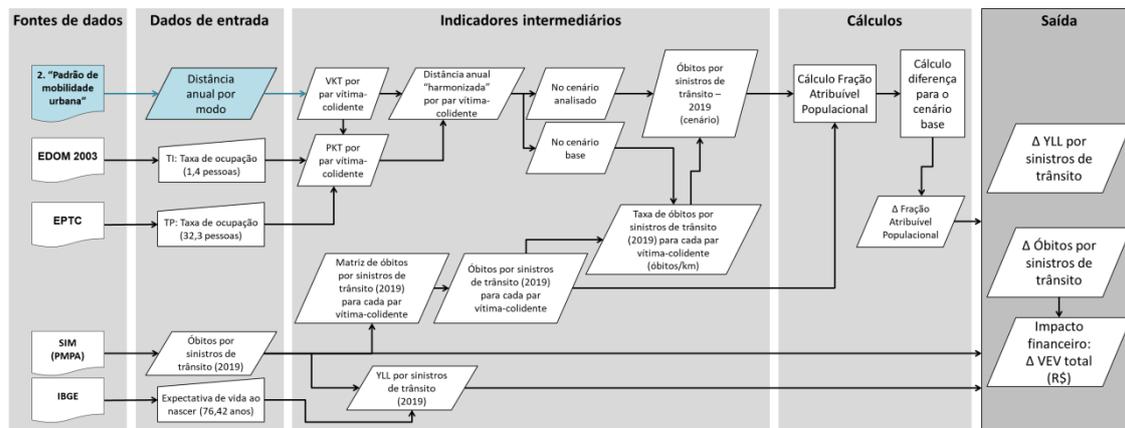
Após calcular a fração atribuível para cada nível de atividade física, é possível obter a Fração Atribuível Populacional (FAP) total no cenário pela soma dos valores obtidos para cada nível de atividade física. Em seguida, é calculada a variação da fração atribuível populacional em relação ao cenário base – Δ FAP (APÊNDICE C), que é diferente da fração atribuível neste caso porque o valor da FAP para o cenário base é diferente de zero.

A variação na Fração Atribuível Populacional é utilizada para calcular a variação nos óbitos e anos de vida perdidos. Para isso, o Δ FAP é multiplicado pelo total de óbitos por causas naturais na população ou perfil populacional, conforme apresentado nos seções 3.3.2.1.1 e 3.3.2.1.2.

4.3.3 Sinistros de trânsito

A modelagem dos sinistros de trânsito tem como base a busca de uma taxa de óbitos anual por unidade de distância anual (ex.: óbitos por bilhão de km) e a sua multiplicação pela distância percorrida ao ano por modal para cada cenário. Neste módulo, o dado de entrada utilizado é a **distância anual total percorrida nos modos “a pé”, “bicicleta”, “TP” e “TI”** (modelo preliminar “Padrões de mobilidade urbana”) (Figura 35).

Figura 35 – Módulo C: Sinistros de trânsito

MÓDULO C: SINISTROS DE TRÂNSITO

Fonte: Elaboração própria.

Uma abordagem possível é dividir os óbitos anuais ocorridos no modal analisado pela sua distância anual percorrida e multiplicar pela distância anual percorrida pelo modo no cenário, como no modelo TAPAS (CLOCKSTON; ROJAS-RUEDA, 2021; MUELLER, N. *et al.*, 2018; OTERO; NIEUWENHUIJSEN; ROJAS-RUEDA, 2018; ROJAS-RUEDA, 2021; ROJAS-RUEDA *et al.*, 2011, 2012, 2016). Entretanto, ela ignora a possibilidade de que o aumento no número de ciclistas ou pedestres – e das respectivas distâncias totais viajadas anualmente por bicicleta e a pé – pode representar na verdade uma redução no número de sinistros, conforme o conceito de “segurança em números” (*safety in numbers*) (FYHRI *et al.*, 2017; JACOBSEN, 2003).

Em função dessa questão, foi utilizada a abordagem presente no modelo ITHIM, que considera os modos envolvidos em pares “vítima-colidente”, sendo a “vítima” (*victim*) o modo utilizado pela pessoa falecida e “colidente” (*striking*) o outro modo envolvido (JOHNSON; ABBAS, 2021; MAIZLISH *et al.*, 2013; MAIZLISH; TOMARI; LONDON, 2019; WOODCOCK *et al.*, 2009).

O primeiro passo é tabular os dados sobre os sinistros de trânsito em uma matriz que cruza os modos “vítima” e “colidente”. Para a dissertação, foram considerados os óbitos por sinistros de trânsito no ano de 2019 em Porto Alegre registrados no Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM) (PORTO ALEGRE, 2021). São vinte pares potenciais, contudo são

considerados menos pares porque em alguns deles não ocorreram óbitos (Tabela 7).

Tabela 7 – Óbitos por sinistros de trânsito em 2019 (20 anos ou mais)

Vítima\Colidente	A pé	Bicicleta	TI	TP	Não especificado
A pé	0	1	24	4	4
Bicicleta	0	0	1	1	0
TI	0	1	17	8	17
TP	0	0	0	1	2

Fonte: Adaptado de Porto Alegre (2021).

Em seguida, são calculados o VKT e o PKT de cada modo são calculados por meio das Equações 37 e 38, respectivamente:

$$VKT_c = D_c \quad (37)$$

$$PKT_v = D_v \times TO_v \quad (38)$$

- VKT_{cb} : *vehicle kilometers traveled* para o modo colidente “c” no cenário base “b” (km/ano)
- D_c : distância anual percorrida no modo colidente “c” (km/ano)
- PKT_{vb} : *personal kilometers traveled* para o modo vítima “v” no cenário base “b” (km/ano)
- D_v : distância anual percorrida no modo vítima “v” (km/ano)
- TO_v : taxa de ocupação no modo vítima “v” (Quadro 19)

Para os **modos ativos (a pé, bicicleta)**, atribuímos uma taxa de ocupação de **1 pessoa/veículo**. Para o transporte individual motorizado (TI), com base nos dados da EDOM 2003 (EPTC, 2004b), dividimos o total de viagens por automóvel pelo número de viagens de condutores de automóvel, o que deu o valor de **1,4 pessoa/veículo**. Para o **transporte público (TP)**, foram calculadas individualmente as taxas de ocupação para ônibus e lotação/micro-ônibus²⁶ com base em dados de 2015 (EPTC, 2016b, 2016a) utilizando dados de total de passageiros diários, total de viagens diárias e frota²⁷. Para

²⁶ Não foram encontrados dados de óbitos por trem nem informações sobre o sistema que pudessem ser utilizadas no cálculo.

²⁷ Taxa de ocupação = (Total de passageiros por dia/Frota) / Total de viagens por dia

determinar a taxa de ocupação do transporte público, foi realizada uma média com ponderação pela frota, cujo resultado foi **32,3 pessoas/veículo** (Quadro 19).

Quadro 19 – Taxa de ocupação estimada para cada modal

Modal	Taxa de ocupação (pessoa)	Observação
A pé	1	Atribuído.
Bicicleta	1	Atribuído.
Transporte público (TP)	32,3	Estimado a partir de EPTC (2016b, 2016a)
Transporte individual motorizado (TI)	1,4	EPTC (2004b)

Fonte: Elaboração própria.

A taxa de óbitos por sinistros de trânsito (2019) para um par vítima-colidente é calculada conforme a Equação 39:

$$TOS_{v,c} = \frac{OS_{v,c}}{(PKT_{vb} \times VKT_{cb})^{0,5}} \quad (39)$$

- $TOS_{v,c}$: taxa de óbitos por sinistros de trânsito (2019) para o par vítima-colidente “v,c” (sinistros/km)
- $OS_{v,c}$: óbitos por sinistros de trânsito (2019) para o par vítima-colidente “v,c”
- PKT_{vb} : *personal kilometers traveled* para o modo vítima “v” no cenário base “b” (km)
- VKT_{cb} : *vehicle kilometers traveled* para o modo colidente “c” no cenário base “b” (km)

Para situações em que há informações sobre o modal “vítima” e o “colidente” não é atribuído, adota-se a equação 40:

$$TOS_{v,na} = \frac{OS_{v,na}}{PKT_v} \quad (40)$$

- TSF_{v,na}: taxa de óbitos por sinistros de trânsito (2019) para o par vítima-não atribuído “v,na” (sinistros/km)
- SF_{v,c}: óbitos por sinistros de trânsito (2019) para o par vítima-não atribuído “v,na”
- PKT_v: *personal kilometers traveled* para o modo vítima “v” (km)
- D_v: distância anual percorrida no modo vítima “v” (km)
- TO_v: taxa de ocupação no modo vítima “v”

Para calcular os sinistros de trânsito (2019) do par vítima-colidente para cada cenário, é utilizada a equação 41:

$$OS_{v,c_j} = TOS_{v,c} \times (PKT_{vj} \times VKT_{cj})^{0,5} \quad (41)$$

- OS_{v,c}: óbitos por sinistros de trânsito (2019) para o par vítima-colidente “v,c” no cenário “j”
- TOS_{v,c}: taxa de óbitos por sinistros de trânsito (2019) para o par vítima-colidente “v,c” (sinistros/km)
- PKT_{vj}: *personal kilometers traveled* para o modo vítima “v” no cenário “j” (km)
- VKT_{cj}: *vehicle kilometers traveled* para o modo colidente “c” no cenário “j” (km)

Para a situação em que há somente informações sobre a vítima, calcula-se a partir da Equação 42:

$$OS_{v,na_j} = TOS_{v,na} \times PKT_{vj} \quad (42)$$

- OS_{v,na}: óbitos por sinistros de trânsito (2019) para o par vítima-não atribuído “v,na” no cenário “j”
- TOS_{v,na}: taxa de óbitos por sinistros de trânsito (2019) para o par vítima-não atribuído “v,na” (sinistros/km)
- PKT_{vj}: *personal kilometers traveled* para o modo vítima “v” no cenário “j” (km)

Em seguida, é calculada a quantidade total de óbitos (2019) para cada cenário a partir da soma dos resultados obtidos para cada par, conforme a Equação 43:

$$OS_j = \sum OS_{v,c_j} + \sum OS_{v,na_j} \quad (43)$$

- OS_j: óbitos por sinistros de trânsito (2019) fatais para o cenário “j”
- OS_{v,cj}: óbitos por sinistros de trânsito (2019) para o par vítima-colidente “v,c” no cenário “j”
- OS_{v,naj}: óbitos por sinistros de trânsito (2019) para o par vítima-não atribuído “v,na” no cenário “j”

A partir do total de óbitos por sinistros de trânsito (2019) para cada cenário, é estimada a fração atribuível populacional para os óbitos em sinistros de trânsito de cada cenário pela Equação 44²⁸:

$$FAP_j = \frac{OS_j - OS_b}{OS_b} \quad (44)$$

- FAP_i: fração atribuível populacional para o cenário “j”
- OS_i: óbitos por sinistros de trânsito (2019) para o cenário “j”
- OS_b: óbitos por sinistros de trânsito (2019) para o cenário base “b”

Assim como no módulo “Poluição do ar (PM2.5)”, a Fração Atribuível Populacional do cenário base é zero. Logo, a variação na Fração Atribuível Populacional em relação ao cenário base (ΔFAP) é igual à Fração Atribuível Populacional do cenário.

Calcula-se a variação no total de óbitos ao multiplicar a fração atribuível populacional pelo total de óbitos relacionados aos sinistros de trânsito (Equação 45):

$$\Delta OS_j = OS_{2019} \times \Delta FAP_j \quad (45)$$

- ΔOS_j : variação nos óbitos por sinistros de trânsito para o cenário “j”
- OS₂₀₁₉: óbitos por sinistros de trânsito (2019)
- ΔFAP_j : variação na fração atribuível populacional para o cenário “j” em relação ao cenário base

²⁸ Em Maizlish, Tomari e London (2019), a fórmula possui as variáveis do numerador em posição inversa porque o modelo “ITHIM Califórnia” adota o sinal negativo para descrever o aumento no número de óbitos ou casos.

A mesma lógica se aplica à variação no total de “anos de vida perdidos” em sinistros de trânsito (Equação 46):

$$\Delta YLLst_j = YLLst_{2019} \times \Delta FAP_j \quad (46)$$

- $\Delta YLLst_j$: variação nos “anos de vida perdidos” em sinistros de trânsito para o cenário “j”
- $YLLst_{2019}$: “anos de vida perdidos” em óbitos por sinistros de trânsito (2019)
- ΔFAP_j : variação na fração atribuível populacional para o cenário “j” em relação ao cenário base

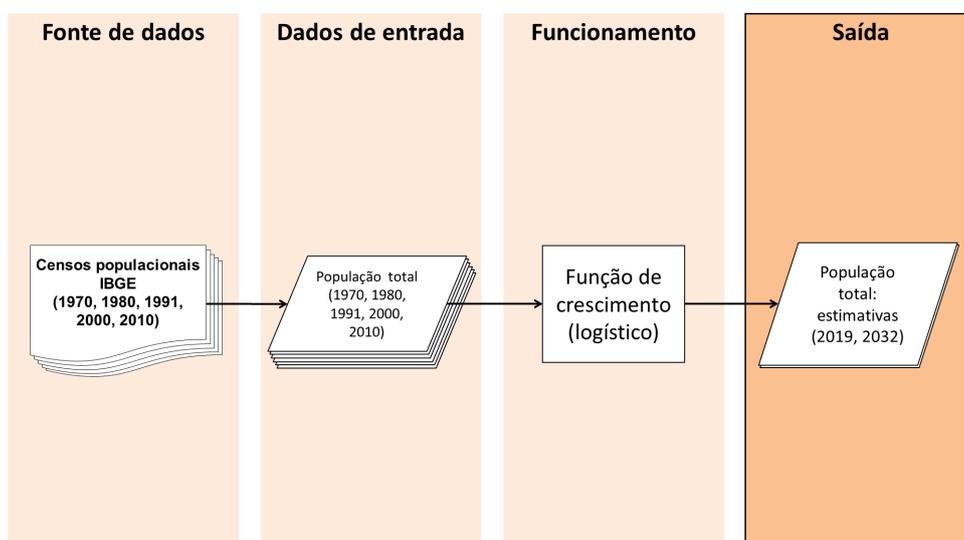
4.4 AQUISIÇÃO E PREPARAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA

4.4.1 População

O modelo preliminar 1 “População” (Figura 36) gera uma estimativa da **população total** para o ano em questão (2019 ou 2032), utilizada para modelar os padrões de mobilidade urbana, por meio de uma função de crescimento logístico aplicada aos dados dos Censos Demográficos do IBGE de 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010 (IBGE, sem data) (Tabela 8, Tabela 9).

Figura 36 – Modelo preliminar 1: “População”

1. POPULAÇÃO



Fonte: Elaboração própria.

Tabela 8 – População de Porto Alegre entre 1970 e 2010

Ano	Total
1970	885.545
1980	1.125.478
1991	1.263.403
2000	1.360.590
2010	1.409.351

Fonte: IBGE (sem data).

Tabela 9 – Estimativa da população de Porto Alegre em 2019 e 2032

Ano	Total
2019	1.429.861
2032	1.445.799

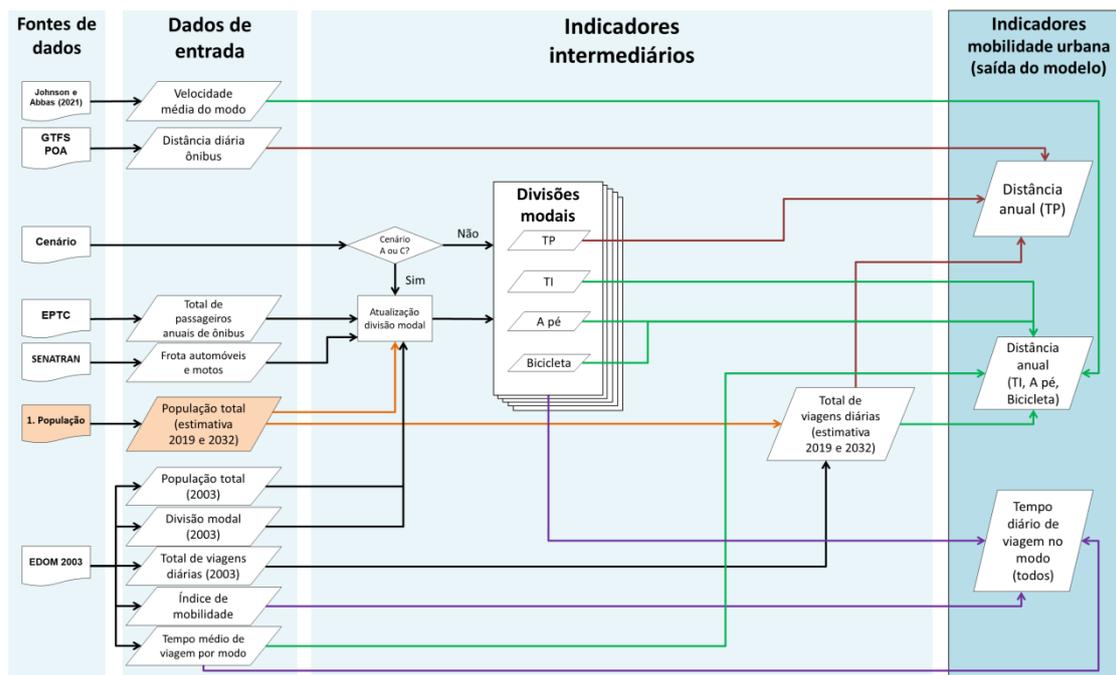
Fonte: Elaboração própria.

4.4.2 Padrões de mobilidade urbana

Entende-se aqui como “padrão de mobilidade urbana” um conjunto de indicadores que permitem compreender como as pessoas se deslocam nas cidades. O modelo preliminar 2 “Padrões de Mobilidade Urbana” (Figura 37) calcula quatro dados de entrada: a **quantidade total de viagens diárias** na população, a **divisão modal**, o **tempo médio de viagem por pessoa no modo de transporte** e a **distância total anual percorrida no modo de transporte**. Tem como referência o *Health Economic Assessment Tool – HEAT* (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2021b, 2021a), cujas operações internas de conversão possibilitam a sua compatibilidade com diversos tipos de dados.

Figura 37 – Modelo preliminar 2: “Padrões de mobilidade urbana”

2. PADRÕES DE MOBILIDADE URBANA



Fonte: Elaboração própria.

4.4.2.1 Quantidade total de viagens diárias

Para calcular a **quantidade total de viagens diárias** (Tabela 10), foi assumido que o índice de mobilidade (quantidade média de viagens por pessoa) se manteve constante desde 2003²⁹, o que torna o dado a ser calculado diretamente proporcional à variação da população, conforme a Equação 47:

$$V_y = V_{2003} \times \frac{P_y}{P_{2003}} \quad (47)$$

- V_y : quantidade total de viagens no ano “y”
- V_{2003} : quantidade total de viagens na EDOM 2003
- P_y : população no ano “y”
- P_{2003} : população na EDOM 2003

²⁹ Foi testada a modelagem das viagens a partir de alguns preditores identificados em análise dos dados da EDOM 2003 para zonas de tráfego, como o total de trabalhadores, de “viajantes” (população 14 a 65 anos), domicílios, etc. Todavia, a inconsistência de disponibilidade dos dados (domicílios), sua redundância (viajantes) ou a incerteza sobre o critério relativo ao tipo de dado (trabalhadores) foram impeditivas para a sua adoção.

Quadro 20 – Dados de entrada utilizados.

Dado de entrada	Valor	Fonte
População total em 2003	1.333.246	EPTC (2004a)
População total em 2019	1.429.861	Modelo preliminar 1 “População”
População total em 2032	1.445.799	Modelo preliminar 1 “População”
Quantidade total de viagens diárias em 2003	2.920.739	EPTC (2004b)

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 10 – Quantidade total de viagens diárias

Ano	População (todas as idades)	Total de viagens diárias
2003	1.333.246	2.920.739
2019	1.429.861	3.132.393
2032	1.445.799	3.167.309

Fonte: Elaboração própria.

4.4.2.2 Divisão modal

Enquanto o total de viagens está relacionado ao escopo temporal, a **divisão modal** está relacionada aos cenários em si. Para fazer a “atualização” da divisão modal existente para o ano em questão – 2019 para o cenário “A: Base” e 2032 para o cenário “C: Manutenção”³⁰ – são utilizados indicadores cuja variação serve como *proxy* para estimar a divisão modal “atualizada” para o cenário.

Para o transporte público (TP), foi utilizado como *proxy* o indicador “Índice de Passageiros por Habitante” (passageiros/ano por habitante), com base na quantidade total de passageiros anuais de ônibus (Equações 48 e 49). A sua participação na divisão modal foi estimada a partir da Equação 50:

$$IPH_y = \frac{PAO_y}{P_y} \quad (48)$$

³⁰ Para os demais cenários, este procedimento não foi necessário porque as divisões modais já estavam estabelecidas.

$$IPH_{2003} = \frac{PAO_{2003}}{P_{2003}} \quad (49)$$

$$DMtp_y = DMtp_{2003} \times \frac{IPH_y}{IPH_{2003}} \quad (50)$$

- DMtp_y: divisão modal do transporte público no ano “y”, em %;
- DMtp₂₀₀₃: divisão modal do transporte público na EDOM 2003, em %;
- IPH_y: Índice de Passageiros por Habitante (ônibus) no ano “y”, em passageiros/habitante;
- IPH₂₀₀₃: Índice de Passageiros por Habitante (ônibus) em 2003, em passageiros/habitante;
- PAO_y: total de passageiros anuais de ônibus no ano “y”;
- PAO₂₀₀₃: total de passageiros anuais de ônibus em 2003;
- P_y: população no ano “y”;
- P₂₀₀₃: população na EDOM 2003

Quadro 21 – Dados de entrada utilizados.

Dado de entrada	Valor	Fonte
TP: divisão modal em 2003	39,6%	EPTC (2004b)
População total em 2003	1.333.246	EPTC (2004a)
População total em 2019	1.429.861	Modelo preliminar 1 “População”
População total em 2032	1.445.799	Modelo preliminar 1 “População”
Quantidade total de passageiros de ônibus anuais em 2003	343.874.025	EPTC (2022)
Quantidade total de passageiros de ônibus anuais em 2019	233.645.234	EPTC (2022)
Quantidade total de passageiros de ônibus anuais em 2032	181.192.267	Estimada a partir de EPTC (2022)

Fonte: Elaboração própria.

Para estimar o total de passageiros anuais em 2032, foi utilizada uma regressão linear a partir da série temporal do total de passageiros anuais de ônibus de 1998 a 2019 (EPTC, 2022), expressa pela Equação 51:

$$PAO = (-6.037.573,46 \times Ano) + 12.449.541.535,62 \quad (51)$$

Com isso, foram obtidos os valores para a divisão modal do transporte público – TP (Tabela 11):

Tabela 11 – Divisão modal: TP

Ano	Índice de Passageiros por Habitante – IPH (passageiros/hab.)	TP: divisão modal (%)
2003	257,92	39,6
2019	163,40	25,1
2032	125,32	19,2

Fonte: Elaboração própria.

Já para o transporte individual motorizado (TI), foi adotado como *proxy* o indicador “Índice de Motorização por Habitante” (veículos por habitante), que considera a frota de automóveis e motocicletas (Equações 52 e 53). A sua participação na divisão modal foi estimada a partir da Equação 54:

$$IMH_y = \frac{Fti_y}{P_y} \quad (52)$$

$$IMH_{2003} = \frac{Fti_{2003}}{P_{2003}} \quad (53)$$

$$DMti_y = DMti_{2003} \times \frac{IMH_y}{IMH_{2003}} \quad (54)$$

- DMtpy: divisão modal do transporte individual motorizado no ano “y”, em %;
- DMtp₂₀₀₃: divisão modal do transporte individual motorizado na EDOM 2003, em %;
- IMHy: Índice de Motorização por Habitante (carros e motos) no ano “y”, em veículos/habitante;
- IMH₂₀₀₃: Índice de Motorização por Habitante (carros e motos) em 2003, em veículos/habitante;
- Ftiy: frota total do TI (automóveis e motocicletas) no ano “y”;
- Fti₂₀₀₃: frota total do TI (automóveis e motocicletas) em 2003;
- Py: população no ano “y”;
- P₂₀₀₃: população na EDOM 2003

Quadro 22 – Dados de entrada utilizados.

Dado de entrada	Valor	Fonte
TI: divisão modal em 2003	36%	EPTC (2004b)
População total em 2003	1.333.246	EPTC (2004a)
População total em 2019	1.429.861	Modelo preliminar 1 “População”
População total em 2032	1.445.799	Modelo preliminar 1 “População”
Frota de automóveis e motocicletas em 2003	439.780	SENATRAM (2022)
Frota de automóveis e motocicletas em 2019	708.329	SENATRAM (2022)
Frota de automóveis e motocicletas em 2032	777.964	Estimada a partir de SENATRAM (2022)

Fonte: Elaboração própria.

Para estimar a frota de automóveis e motocicletas em 2032, foi utilizado um modelo de crescimento logístico a partir da série temporal da frota de automóveis e motocicletas de 2001 a 2021 (SENATRAM, 2022). Com isso, foram obtidos os valores para a divisão modal do TI (Tabela 12):

Tabela 12 – Divisão modal: TI

Ano	Índice de Motorização	
	por Habitante – IMH (veículos/hab.)	TI: divisão modal (%)
2003	0,33	36
2019	0,50	54,1
2032	0,54	58,7

Fonte: Elaboração própria.

Por fim, o *proxy* para cada um dos modos ativos (a pé, bicicleta) foi a própria participação conjunta dos modos ativos da divisão modal, o que implicou assumir que a proporção entre as divisões modais dos modos a pé e bicicleta se manteve. A sua participação na divisão modal foi estimada a partir da Equação 55:

$$DMx_y = DMx_{2003} \times \frac{DMat_y}{DMat_{2003}} \quad (55)$$

- DMx_y : divisão modal do modo “x” (a pé ou bicicleta) no ano “y”, em %;

- DMx_{2003} : divisão modal do modo “x” (a pé ou bicicleta) na EDOM 2003, em %;
- $DMxy$: divisão modal do transporte ativo no ano “y”, em %;
- DMx_{2003} : divisão modal do transporte ativo na EDOM 2003, em %;

Quadro 23 – Dados de entrada utilizados.

Dado de entrada	Valor	Fonte
A pé: divisão modal em 2003	21,4%	EPTC (2004b)
Bicicleta: divisão modal em 2003	0,5%	EPTC (2004b)
Ativo: divisão modal em 2003	22%	EPTC (2004b)

Fonte: Elaboração própria.

Com isso, foram obtidos os valores para a divisão modal dos modos “a pé” e “bicicleta” (Tabela 13):

Tabela 13 – Divisão modal: modos ativos (a pé, bicicleta)

Ano	Ativo: divisão modal (%)	A pé: divisão modal (%)	Bicicleta: divisão modal (%)
2003	22	21,4	0,5
2019	20,8	20,3	0,5
2032	22	21,5	0,5

Fonte: Elaboração própria.

Outro meio de obter a divisão modal do cenário foi pelo uso de valores de referência presentes em diversos documentos. Para o cenário “B: Deteriorado” foram utilizados os valores do relatório “Deloitte City Mobility Index 2020” (DELOITTE, 2020), enquanto a divisão modal no cenário “D: Retorno a 2003” foi extraída das matrizes origem-destino da pesquisa EDOM 2003 (EPTC, 2004b).

Já o cenário “E: Idealizado” tomou partido de informações em publicações oficiais de Porto Alegre e outras cidades brasileiras que tivessem relação com a visão apresentada pelo MobiliPOA (PORTO ALEGRE, 2018b). Para o **TP**, foi utilizado o valor apresentado na EDOM 2003, **39,6%** (EPTC, 2004b). Para o **TI**, devido à falta de uma meta para a realidade porto-alegrense, foi assumida a visão do PlanMob/SP (SÃO PAULO, 2015), com o

transporte individual responsável por **30% das viagens motorizadas**, enquanto o transporte público responderá por 70%. Para a **bicicleta**, adotou-se o valor previsto de participação após a implantação plena do Plano Cicloviário, **10%** (EPTC, 2012). Para o modal “a pé”, foi considerado o valor restante para completar 100% como a sua participação, devido à impossibilidade de encontrar valores de referência.

4.4.2.3 Tempo diário por pessoa no modo de transporte

O próximo dado de entrada relativo ao padrão de mobilidade urbana é o **tempo diário por pessoa no modo de transporte**, utilizado no modelo AIS para estimar os impactos à saúde pela poluição do ar por PM2.5 e pela atividade física. Para o seu cálculo, é necessário saber inicialmente o índice de mobilidade (média de viagens diárias por pessoa), obtido pela divisão entre a quantidade total de viagens e a população.

Para o trabalho, já existe a informação sobre o índice de mobilidade para cada perfil populacional considerado³¹. Contudo, a quantidade total de viagens obtida nas entrevistas domiciliares difere do valor para a matriz origem-destino³². Neste caso, houve uma correção dos índices de mobilidade de cada perfil populacional a partir dessa variação³³ (Equação 56):

$$IMc = IM_0 \times \left(\frac{Vm}{Ve} \right) \quad (56)$$

- IMc: índice de mobilidade geral corrigido
- IM₀: índice de mobilidade geral inicial
- Vm: quantidade total de viagens na matriz origem-destino
- Ve: quantidade total de viagens na entrevista domiciliar

³¹ Foi assumido que os índices de mobilidade dos perfis populacionais com faixa etária “20 a 49 anos” são iguais aos dos perfis populacionais da EDOM 2003 com faixa etária “18 a 49 anos”.

³² A quantidade total de viagens na matriz origem-destino é maior que a nas entrevistas domiciliares.

³³ Esta correção foi realizada porque a matriz origem-destino foi utilizada como base para a divisão modal devido à desagregação dos modos ativos.

Quadro 24 – Dados de entrada utilizados.

Dado de entrada	Valor	Fonte
Índice de mobilidade: População 20 a 64 anos (entrevista domiciliar)	1,83	EPTC (2004a)
Índice de mobilidade: População 65 anos ou mais (entrevista domiciliar)	1,13	EPTC (2004a)
Índice de mobilidade: 20 a 49 Masculino (entrevista domiciliar)	2	EPTC (2004a)
Índice de mobilidade: 20 a 49 Feminino (entrevista domiciliar)	1,8	EPTC (2004a)
Índice de mobilidade: 50 a 64 Masculino (entrevista domiciliar)	1,81	EPTC (2004a)
Índice de mobilidade: 50 a 64 Feminino (entrevista domiciliar)	1,42	EPTC (2004a)
Índice de mobilidade: 65 anos ou mais Masculino (entrevista domiciliar)	1,31	EPTC (2004a)
Índice de mobilidade: 65 anos ou mais Feminino (entrevista domiciliar)	1,03	EPTC (2004a)
Quantidade total de viagens diárias (entrevista domiciliar)	2.203.168	EPTC (2004a)
Quantidade total de viagens diárias (matriz origem-destino)	2.920.739	EPTC (2004b)

Fonte: Elaboração própria.

Com isso, foram obtidos os índices de mobilidade corrigidos para cada população (Tabela 14) e perfil populacional (Tabela 15):

Tabela 14 – Índice de mobilidade por população

Faixa etária (anos)	Sexo	Índice de mobilidade (viagens/pessoa) – entrevista domiciliar	Índice de mobilidade “corrigido” (viagens/pessoa) – matriz origem-destino
20 a 49	Ambos	1,83	2,43
65 ou mais	Ambos	1,13	1,5

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 15 – Índice de mobilidade por perfil populacional

Faixa etária (anos)	Sexo	Índice de mobilidade (viagens/pessoa) – entrevista domiciliar	Índice de mobilidade “corrigido” (viagens/pessoa) – matriz origem-destino
20 a 49	M	2,03	2,65
20 a 49	F	1,79	2,39
50 a 64	M	1,81	2,40
50 a 64	F	1,42	1,88
65 ou mais	M	1,31	1,74
65 ou mais	F	1,03	1,36

Fonte: Elaboração própria.

Em seguida, calculamos o **tempo diário por pessoa em cada modo** (Equação 57, Tabela 19 e Tabela 20). Para isso, são multiplicados o índice de mobilidade corrigido para o grupo populacional em questão pela participação na divisão modal do modo analisado e pelo tempo médio de viagem do modo, que é uma constante³⁴.

$$Tx_{ai} = IMc_a \times DMx_i \times tx \quad (57)$$

- Tx_{ai}: tempo médio diário de viagem *per capita* do modo “x” para o grupo populacional “a” no cenário “i”;
- IM_{ca}: índice de mobilidade geral corrigido para o grupo populacional “a”;
- DM_{xi}: participação do modo “x” na divisão modal para o cenário “i” (Tabela 16);
- tx: tempo médio de viagem no modo “x”

Quadro 25 – Dados de entrada utilizados

Dado de entrada	Valor	Fonte
Índice de mobilidade corrigido: População 20 a 64 anos	2,43	Calculado no modelo

³⁴ Em outras palavras, estima-se a quantidade de viagens no modo por pessoa, que é multiplicada pelo tempo médio de viagem para o modo. Foi necessário adotar esta abordagem pois os melhores dados disponíveis eram os índices de mobilidade. Entretanto, o seu uso possui limitações porque pressupõe uma distribuição homogênea das viagens na população e trata a variável viagem como um número decimal (embora, na realidade, a contagem de viagens seja unitária).

Índice de mobilidade: População 65 anos ou mais	1,5	Calculado no modelo
Índice de mobilidade corrigido: "20-49 M"	2,65	Calculado no modelo
Índice de mobilidade corrigido: "20-49 F"	2,39	Calculado no modelo
Índice de mobilidade corrigido: "50-64 M"	2,40	Calculado no modelo
Índice de mobilidade corrigido: "50-64 F" (viagem/pessoa)	1,88	Calculado no modelo
Índice de mobilidade corrigido: "65+ M" (viagem/pessoa)	1,73	Calculado no modelo
Índice de mobilidade corrigido: "65+ F" (viagem/pessoa)	1,36	Calculado no modelo
Tempo médio de viagem nos modos "a pé" e "bicicleta" (h)	0,273	EPTC (2004a)
Tempo médio de viagem no TI (h)	0,493	EPTC (2004a)
Tempo médio de viagem no TP (h)	0,817	EPTC (2004a)

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 16 – Dado de entrada: divisão modal por cenário

Cenário	A pé: divisão modal (%)	Bicicleta: divisão modal (%)	TI: divisão modal (%)	TP: divisão modal (%)
A	20,3	0,5	54,1	25,1
B	3	1	89	5
C	21,5	0,5	58,7	19,2
D	21,4	0,5	36	39,6
E	33,5	10	17	39,6

Fonte: Elaboração própria.

4.4.2.4 Distância total anual percorrida no modo de transporte

Finalmente, o último dado de entrada referente ao padrão de mobilidade urbana é a **distância total anual percorrida no modo de transporte** (Tabela 21). Para as situações em que não há dados disponíveis, pode-se estimar a partir da Equação 58:

$$Dxi = Vi \times DMxi \times tx \times vx \times 365 \quad (58)$$

- Dxi: distância anual total percorrida no modo “x” para o cenário “i” em km;
- Vi: total de viagens diárias no cenário “i”;
- DMxi: participação do modo “x” na divisão modal;
- tx: tempo médio de viagem no modo “x” (constante);
- vx: velocidade média no modo “x” (constante);

Para o transporte público (TP), existe o dado de distância diária que pode ser obtido a partir do arquivo GTFS das linhas de ônibus de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2019a) e do pacote do R *GTFS2EMIS* (BAZZO *et al.*, 2022). Para estimar a distância anual para cada cenário, utiliza-se a equação 59:

$$Dtp_i = V_i \times DMtp_i \times \left(\frac{dtp_b}{V_b \times DMtp_b} \right) \times 365 \quad (59)$$

- Dtp_i: distância anual total percorrida no Transporte Público (TP) para o cenário “i” em km;
- Vi: total de viagens diárias para o cenário “i”;
- DMtp_i: participação do Transporte Público (TP) na divisão modal para o cenário “i”;
- Dtp_b: distância diária total percorrida no Transporte Público (TP) para o cenário “base” em km (dado obtido a partir do GTFS);
- V_b: total de viagens diárias para o cenário “base”;
- DMtp_b: participação do Transporte Público (TP) na divisão modal para o cenário “base”;

Quadro 26 – Dados de entrada utilizados

Dado de entrada	Valor	Fonte
Total de viagens diárias para o cenário base “A”	3.132.393	Calculado no modelo
Total de viagens diárias para os cenários “B”, “C”, “D” e “E”	3.167.309	Calculado no modelo
Tempo médio de viagem nos modos “a pé” e “bicicleta” (h)	0,273	EPTC (2004a)

Tempo médio de viagem no TI (h)	0,493	EPTC (2004a)
Tempo médio de viagem no TP (h)	0,817	EPTC (2004a)
Velocidade média (km/h) - a pé	5	Johnson e Abbas (2021)
Velocidade média (km/h) – bicicleta	15	Johnson e Abbas (2021)
Velocidade média (km/h) – TI	25	Johnson e Abbas (2021)
Velocidade média (km/h) – TP	15	Johnson e Abbas (2021)
Distância diária percorrida pelos ônibus (km) – TP	1.181.751,33	Porto Alegre (2019a)

Fonte: Elaboração própria.

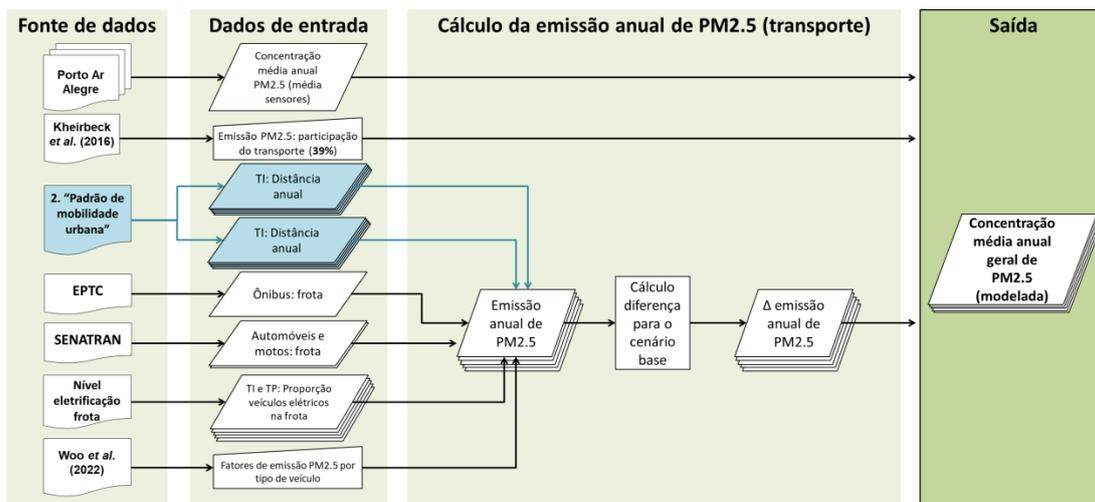
4.4.3 Exposições

4.4.3.1 Poluição do ar

O modelo preliminar 3 “Poluição do ar (PM2.5)” (Figura 40) estima a **concentração média anual geral de PM2.5 do cenário** a partir de distância percorrida anual para TI e TP (modelo preliminar 2 “Padrões de mobilidade urbana”) e da participação dos veículos elétricos nas frotas de TI e TP (nível de eletrificação de frota), com base no apresentado no modelo ITHIM (JOHNSON; ABBAS, 2021).

Figura 38 – Modelo preliminar 3: Poluição do ar (PM2.5)

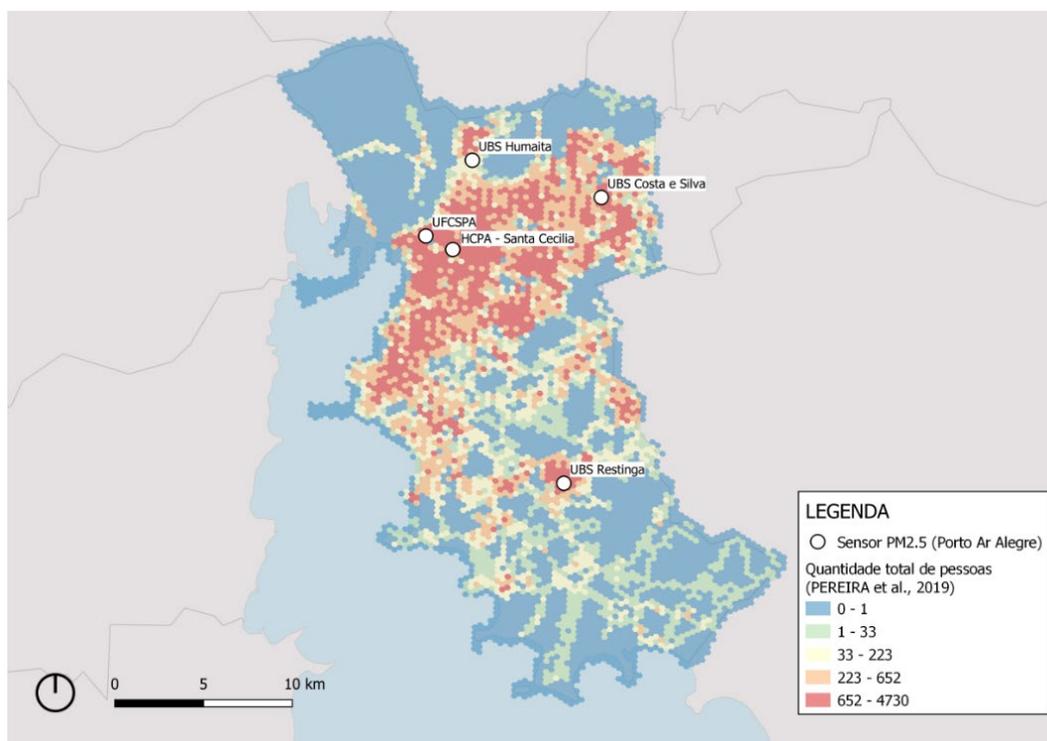
3. POLUIÇÃO DO AR (PM2.5)



Fonte: Elaboração própria.

O primeiro dado a obter foi a **concentração média anual de PM2.5 para Porto Alegre**. Para isso, foram utilizadas as medições dos sensores do Programa Porto Ar Alegre (Figura 39).

Figura 39 – Localização dos sensores



Fonte: Elaboração própria a partir de UpSensor (2020a, 2020e, 2020b, 2020c, 2020d) e Pereira *et al.* (2020).

Em função da inexistência de medições para 2019, foram utilizadas as de 2020, que ocorreram entre Junho e Dezembro, assumindo que a média do período é a concentração média anual para 2020. Este procedimento foi necessário porque a partir de 2021 foram encontrados problemas nos valores medidos, por motivos como falha ou desligamento de alguns sensores, o que compromete a qualidade da média anual. Após calcular a concentração média anual para cada sensor, foi calculada a concentração média anual geral por meio de uma média aritmética dos valores por sensor, conforme a Tabela 17.

Tabela 17 – Concentração média anual de PM2.5 por sensor em 2020

Sensor	Concentração média anual de PM2.5 (2020)
UBS Humaitá	14,68
UFCSPA	12,04
UBS Restinga	9,00
UBS Costa e Silva	9,96
HCPA Santa Cecília	12,09
MÉDIA	11,55

Fonte: Elaboração própria a partir de UpSensor (2020a, 2020e, 2020b, 2020c, 2020d).

Ou seja, a **concentração média anual de PM2.5 geral** (*background*) para Porto Alegre em 2019 adotada foi **11,55 µg/m³** (microgramas por metro cúbico). A partir desse valor são estimadas concentrações médias anuais para cada cenário³⁵ e nível de eletrificação, com base na variação das emissões de PM2.5 no transporte.

O passo seguinte é estimar a emissão total anual de PM2.5 pelo transporte por meio das Equações 60 a 62:

$$PM2.5ti_j = \sum Dti_j \times Fti_{pj} \times FEti_p \quad (60)$$

$$PM2.5tp_j = \sum Dtp_j \times Ftp_{cj} \times FEtp_c \quad (61)$$

$$PM2.5_j = PM2.5ti_j + PM2.5tp_j \quad (62)$$

- PM2.5_j: emissão de PM2.5 no transporte para o cenário “j” (miligramas)

³⁵ Os cenários denominados nas seguintes equações como “j” são uma combinação de dois tipos de cenários: variações na divisão modal (A, B, C, D, E), apresentadas nas equações anteriores como “i” e níveis de eletrificação da frota de TI e TP, denominados N0, N1, N2, N3 e N4.

- $PM2.5_{tj}$: emissão de PM2.5 no transporte individual motorizado para o cenário “j” (miligramas)
- $PM2.5_{tpj}$: emissão de PM2.5 no transporte público para o cenário “j” (miligramas)
- D_{tj} : distância anual total percorrida no Transporte Individual motorizado (TI) para o cenário “j” em km;
- F_{tj} : frota total do TI (automóveis e motocicletas) com propulsão “p” o para o cenário “j”;
- FE_{tj} : fator de emissão do TI (automóveis e motocicletas) com propulsão “p” ($mg \times veículo^{-1} \times km^{-1}$)
- D_{tpj} : distância anual total percorrida no Transporte Público (TP) para o cenário “j” em km;
- F_{tpj} : frota total do TP (ônibus) com propulsão “p” o para o cenário “j”;
- FE_{tpj} : fator de emissão do TP (ônibus) com propulsão “p” ($mg \times veículo^{-1} \times km^{-1}$)

Sendo os fatores de emissão (em $mg \times veículo^{-1} \times km^{-1}$) iguais a 28,9 para veículos a diesel, 28,7 para os a gasolina, e 13,9 para os elétricos (WOO *et al.*, 2022) e considerando que todos os veículos do TP estão inclusos na categoria “diesel” enquanto os do TI incluem-se na “gasolina”³⁶, a emissão anual total de PM2.5 para o transporte (Tabela 19) na dissertação é calculada pela Equação 63:

$$PM2.5_j = [(D_{tj} \times F_{tj} \times PGF_{tj} \times 28,7) + (D_{tj} \times F_{tj} \times PE_{tj} \times 13,9)] + [(D_{tpj} \times F_{tpj} \times PDF_{tp_{dj}} \times 28,9) + (D_{tpj} \times F_{tpj} \times PE_{tpj} \times 13,9)] \quad (63)$$

- $PM2.5_j$: emissão de PM2.5 no transporte para o cenário “j” (miligramas)
- D_{tj} : distância anual total percorrida no Transporte Individual motorizado (TI) para o cenário “j” em km (Tabela 18);

³⁶ Não foi encontrada uma referência para estimar emissão de PM2.5 para veículos movidos a outros combustíveis, como o etanol, o que exigiu o uso desse pressuposto.

- Ft_{ij}: frota total do TI (automóveis e motocicletas) para o cenário “j”;
- PGF_{tij}: participação dos veículos a “gasolina” na frota do TI para o cenário “j” em %;
- PEF_{tij}: participação dos veículos elétricos na frota para do TI o cenário “j” em %;
- Dtp_j: distância anual total percorrida no Transporte Público (TP) para o cenário “j” em km (Tabela 18);
- Ftp_j: frota total do TP (ônibus) para o cenário “j” (constante);
- PGF_{ftpj}: participação dos veículos a diesel na frota do TP para o cenário “j” em %;
- PEF_{ftpj}: participação dos veículos elétricos na frota do TP para o cenário “j” em %

Tabela 18 – Dado de entrada: distância anual total percorrida (TI e TP)

Cenário (divisão modal)	TI: distância anual (km)	TP: distância anual (km)
A	7.628.635.133	431.339.235
B	12.689.770.720	86.881.925
C	8.369.545.407	333.626.594
D	5.132.940.965	688.104.850
E	2.423.888.789	688.104.850

Fonte: Elaboração própria.

A partir das emissões anuais totais de PM_{2.5} no transporte para cada cenário (combinação de divisão modal e nível de eletrificação da frota) é possível estimar a **concentração média anual de PM_{2.5} para o cenário** (Tabela 45) pela Equação 64 (JOHNSON; ABBAS, 2021):

$$C'j = \left(C \times PTE \times \frac{PM2.5_j}{PM2.5_b} \right) + [C \times (1 - PTE)] \quad (64)$$

- C'_j: concentração média anual geral de PM_{2.5} modelada para o cenário “j” (µg/m³) (Quadro 28)
- C: concentração média anual geral de PM_{2.5} medida (µg/m³)
- PTE: participação do transporte nas emissões de PM_{2.5} (%) (Quadro 28)

- PM2.5j: emissão de PM2.5 no transporte para o cenário “j” (mg)
- PM2.5b: emissão de PM2.5 no transporte para o cenário “base” (mg)

(Quadro 28)

Quadro 27 – Dados de entrada utilizados

Dado de entrada	Valor	Fonte
Concentração média anual de PM2.5 medida ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	11,55	UpSensor (2020a, 2020e, 2020b, 2020c, 2020d)
Participação do transporte na concentração de PM2.5 (%)	39	Kheirbek <i>et al.</i> (2016)
Emissão de PM2.5 para o cenário “base” A-N0 ($\times 10^9$ mg)	155.099.800	Calculado no modelo.

Fonte: Elaboração própria.

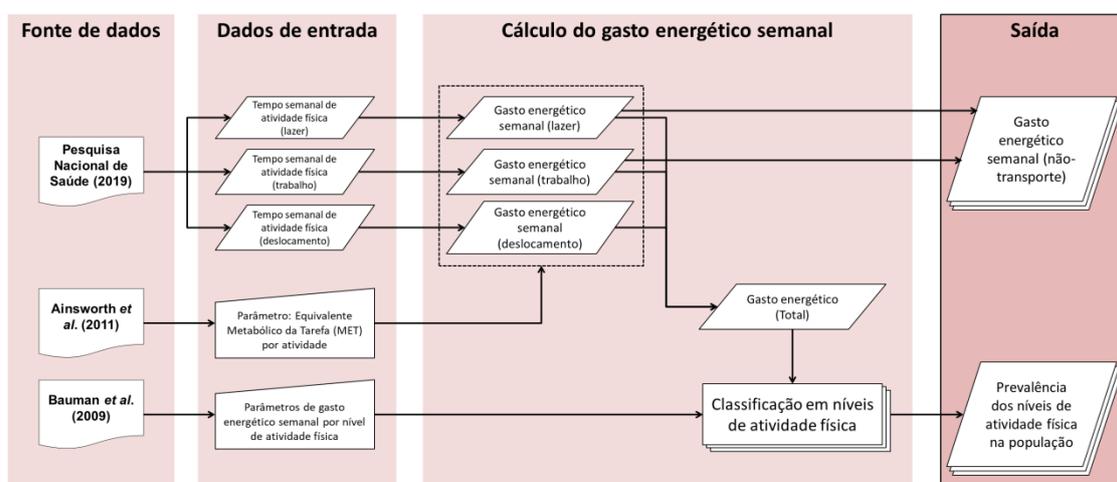
4.4.3.2 Atividade física

Com base na classificação da população em três níveis de atividade física semanal apresentados em Bauman *et al.* (2009) (insuficientemente ativo, ativo e muito ativo), o modelo preliminar 4 “Atividade física” (Figura 40) manipula os microdados da Pesquisa Nacional de Saúde para 2019 a fim de obter dois indicadores que servem como entrada para o modelo AIS: a **prevalência de cada nível de atividade física semanal** (em %) e o **gasto metabólico semanal em atividades físicas laborais ou relativas ao lazer**³⁷ (em MET-horas) para a população analisada (ou para cada perfil populacional).

³⁷ Utilizado como *proxy* para a quantidade de atividade física sem relação com a mobilidade urbana.

Figura 40 – Modelo preliminar 4: Atividade física

4. ATIVIDADE FÍSICA



Fonte: Elaboração própria.

O primeiro passo foi baixar os microdados da PNS 2019 como uma tabela (*data frame*) utilizando o pacote do R “PNSIBGE” (ASSUNÇÃO; HIDALGO; BRAGA, 2023), especificando o ano da pesquisa (2019) e o tipo de questionário utilizado (o de morador)³⁸. Em seguida, com base no *script* da Fiocruz para análise de dados da PNS (FIOCRUZ, 2021), foram realizados três processos:

- 1) filtragem inicial para manter apenas as respostas dos selecionados para questionário individual;
- 2) cálculo do peso amostral de cada respondente;
- 3) filtragem das respostas com peso amostral nulo.

Em seguida, foram desenvolvidos os cálculos a fim de classificar os respondentes nos três níveis de atividade física citados anteriormente (insuficientemente ativo, ativo e muito ativo). Foi calculado o tempo semanal de atividade física em horas para três domínios: no lazer, no deslocamento e no trabalho³⁹ (Equação 65).

$$ts_{at} = d_{at} \times \left(h_{at} + \frac{min_{at}}{60} \right) \quad (65)$$

³⁸ No pacote PNSIBGE, há a opção de baixar os dados direto como um objeto *survey*, que incorpora o desenho da amostra pesquisada. No entanto, como houve a necessidade de manipular os dados para gerar novos indicadores, foi considerado melhor importar como tabela para realizar a manipulação e depois gerar o objeto *survey* para obter os resultados.

³⁹ A atividade doméstica não é considerada na determinação de níveis de atividade física.

- ts_{at} : tempo semanal na atividade “at” (horas);
- d_{at} : dias por semana na atividade “at”;
- h_{at} : horas na atividade “at”;
- min_{at} : minutos na atividade “at”.

Após, foi calculado o gasto energético semanal em MET-horas para cada tipo de atividade (Equação 66):

$$GE_{at} = MET_{at} \times ts_{at} \quad (66)$$

- GE_{at} : gasto energético semanal na atividade “at” (MET-horas);
- MET_{at} : equivalente metabólico da tarefa para a atividade “at” (MET);
- ts_{at} : tempo semanal na atividade “at” (horas)

Para a **atividade física no deslocamento e a relacionada ao trabalho**, foram considerados **4 METs para a população com menos de 65 anos e 3 MET para a população com 65 anos ou mais**. Por outro lado, as **atividades físicas no lazer** tiveram seu MET determinado a partir do Quadro 28:

Quadro 28 – METs adotados para atividade física no lazer

Atividade	Códigos P036 (PNS)	MET “normal” (AINSWORTH <i>et al.</i> , 2011)	MET (65 anos ou mais)
“Ginástica/localizada/pilates/alongamento/ioga”	“8”	3	2,2
“Caminhada (não vale para o trabalho); “Caminhada em esteira”; “Voleibol”; “Outro”	“1”; “2”; “14”; “17”	4	3
“Hidroginástica”	“7”	5,5	4,1
“Musculação”; “Natação”	“5”; “9”	6	4,5
“Bicicleta/bicicleta ergométrica”	“11”	6,8	5,1
“Futebol”	“12”	7	5,2
“Ginástica aeróbica/spinning/step/jump”; “Tênis”	“6”; “15”	7,3	5,5
“Dança (com o objetivo de praticar atividade	“16”	7,8	5,8

física”			
“Corrida/cooper”; “Corrida em esteira”; “Basquetebol”	“3”; “4”; “13”	8	6
“Artes marciais e luta”	“10”	10,3	7,7
“Ignorado”; Não aplicável	“99”; sem código	0	0

Fonte: Adaptado de Ainsworth *et al.* (2011) e Mueller *et al.* (2017b, 2017a).

Com isso, é possível obter outros dois indicadores: o **gasto energético semanal total** (GE_{tot}) e o **gasto energético semanal para lazer e trabalho** (GE_{lt}). O primeiro é a soma dos gastos energéticos semanais nos três domínios citados e é utilizado como referência para a classificação do nível de atividade física semanal de cada respondente⁴⁰. Já o segundo é a soma dos gastos energéticos semanais para atividades de lazer e laborais, servindo como dado de entrada para o módulo de atividade física do modelo AIS por representar a atividade física não relacionada à mobilidade urbana.

Para a classificação por nível de atividade física semanal, foram criadas três colunas referentes aos níveis de atividade física analisados (“ativo”, “insuf_ativo”, “muito_ativo”). O pertencimento de cada respondente ao nível em questão é demonstrado pelo preenchimento da respectiva coluna com o valor “1”, sendo o valor “0” utilizado para apresentar o oposto. Definidos os níveis de atividade física, são construídos subconjuntos (*subsets*) no R referentes aos perfis populacionais utilizados no modelo de Avaliação de Impacto à Saúde⁴¹.

A última etapa é o cálculo para cada perfil populacional dos três indicadores que alimentam o modelo AIS: a prevalência dos níveis de atividade física, o gasto energético semanal médio para lazer e trabalho e a população pertencente a cada nível de atividade física. Os dois primeiros foram desenvolvidos por meio da função *svymean* do pacote do R *survey* (LUMLEY,

⁴⁰ A PNS e o Vigilat utilizam a soma dos tempos semanais para os três domínios, duplicando o valor do tempo para as atividades intensas. A classificação do respondente em “ativo” ou “insuficientemente ativo” leva em conta o cumprimento da recomendação de 2,5 horas (150 minutos) semanais de atividade física. A vantagem de utilizar o gasto energético como referência é a incorporação das diferenças de intensidade de cada atividade física na análise.

⁴¹ No R, esses subconjuntos são transformados em objetos *survey* (que mantém informações sobre o desenho da amostra analisada) para o uso das funções do pacote *survey*.

2023), que gera uma média da coluna especificada⁴² ponderada pelo peso amostral de cada resposta.

4.4.3.3 Sinistros de trânsito

O primeiro passo é tabular os dados sobre os sinistros de trânsito em uma matriz que cruza os modos “vítima” e “colidente”. Para a dissertação, foram considerados os óbitos por sinistros de trânsito em 2019 em Porto Alegre registrados no Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM) (PORTO ALEGRE, 2021). A escolha por este dado ao invés dos sinistros de trânsito fatais em 2019 teve como objetivo utilizar a tendência dos sinistros de trânsito até a data a fim de reduzir a influência do acaso na modelagem. Deste modo, foi possível considerar pares que não tiveram óbitos em 2019.

Para determinar o pertencimento de cada óbito a um par vítima-colidente, foi utilizada a coluna “CID DESCRITIVO”, que apresenta os óbitos com o código CID (Classificação Internacional de Doenças) e a descrição do óbito (APÊNDICE D).

Após a reclassificação dos óbitos, foram construídas matrizes de óbitos por sinistros de trânsito combinando modos em pares “vítima” e “colidente”, uma para cada perfil populacional (Tabela 25 até Tabela 32).

4.4.4 Desfechos – mortalidade (causas naturais e sinistros de trânsito)

Os desfechos analisados nesta dissertação são a **mortalidade por causas naturais** – são excluídos os óbitos resultantes das ditas causas “externas”, como acidentes e violências – e a **mortalidade por sinistros de trânsito**, um tipo específico de mortalidade por causas externas.

4.4.4.1 Óbitos

Os óbitos foram obtidos através do Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM) da Prefeitura Municipal de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2021). Para a **mortalidade por causas naturais**, foram utilizados os todos os registros que não apresentavam o campo “CAPÍTULO” preenchido com o

⁴² Para o primeiro indicador são as colunas “ativo”, “insuf_ativo”, “muito_ativo” e para o segundo é a coluna “METHsem_lazertrab”.

código “20) CAUSAS EXTERNAS DE MORTALIDADE” e para **sinistros de trânsito** foram utilizados os registros cujo campo “DCNT” estava preenchido com os códigos “CE ACIDENTES DE TRÂNSITO (V00-V99)” ou “ACIDENTES DE TRANSPORTE (V01-V99)”.

4.4.4.2 YLL – “Anos de vida perdidos”

Para estimar o total de “anos de vida perdidos” para o caso, foram considerados apenas os óbitos ocorridos entre a população de 20 a 76 anos – a **expectativa de vida ao nascer adotada é de 76,42 anos** (PORTO ALEGRE, 2015). Com base nesses óbitos prematuros, foram calculados os potenciais anos de vida perdidos pela mortalidade por causas naturais ou por sinistros de trânsito.

4.4.4.3 “Valor Estatístico da Vida”

O “Valor Estatístico da Vida” utilizado é o de 2018, publicado no relatório anual “SIMOB/ANTP”, igual a **R\$ 2.272.829,77** (ANTP, 2020).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DADOS DE ENTRADA

Para a dissertação, foram utilizados dados de entrada de diversos tipos, cuja extração e manipulação para o uso no modelo AIS foi explicada na seção 4.4 “Aquisição e preparação dos dados de entrada”.

5.1.1 Padrão de mobilidade urbana

Para o padrão de mobilidade urbana, os dados de entrada são o **tempo médio diário por pessoa em cada modo** (Tabela 19 e Tabela 20) e a **distância total anual percorrida** por cenário (Tabela 21), calculados pelo modelo preliminar “Padrões de mobilidade urbana” (seção 4.4.2).

Tabela 19 – Tempo médio diário por pessoa em cada modo (por população e cenário)

Faixa etária (anos)	Cenário	A pé: tempo diário por pessoa (h)	Bicicleta: tempo diário por pessoa (h)	TI: tempo diário por pessoa (h)	TP: tempo diário por pessoa (h)
20 a 64	A	0,135	0,003	0,647	0,497
20 a 64	B	0,020	0,007	1,065	0,099
20 a 64	C	0,143	0,003	0,703	0,380
20 a 64	D	0,142	0,003	0,431	0,785
20 a 64	E	0,222	0,066	0,203	0,785
65 ou mais	A	0,083	0,002	0,400	0,307
65 ou mais	B	0,012	0,004	0,658	0,061
65 ou mais	C	0,088	0,002	0,434	0,235
65 ou mais	D	0,088	0,002	0,266	0,484
65 ou mais	E	0,137	0,041	0,126	0,484

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 20 – Tempo médio diário por pessoa em cada modo (por perfil populacional e cenário)

Perfil populacional		Cenário	A pé: tempo diário por pessoa (h)	Bicicleta: tempo diário por pessoa (h)	TI: tempo diário por pessoa (h)	TP: tempo diário por pessoa (h)
Faixa etária (anos)	Sexo					
20 a 49	M	A	0,147	0,004	0,708	0,543
20 a 49	F	A	0,132	0,003	0,637	0,489
50 a 64	M	A	0,133	0,003	0,640	0,492
50 a 64	F	A	0,104	0,003	0,502	0,386
65 ou mais	M	A	0,096	0,002	0,464	0,356
65 ou mais	F	A	0,076	0,002	0,364	0,280
20 a 49	M	B	0,022	0,007	1,164	0,108
20 a 49	F	B	0,020	0,007	1,048	0,097
50 a 64	M	B	0,020	0,007	1,054	0,098
50 a 64	F	B	0,015	0,005	0,827	0,077
65 ou mais	M	B	0,014	0,005	0,763	0,071
65 ou mais	F	B	0,011	0,004	0,600	0,056
20 a 49	M	C	0,156	0,004	0,768	0,416
20 a 49	F	C	0,140	0,003	0,691	0,374

50 a 64	M	C	0,141	0,003	0,695	0,376
50 a 64	F	C	0,111	0,003	0,545	0,295
65 ou mais	M	C	0,102	0,002	0,503	0,272
65 ou mais	F	C	0,080	0,002	0,395	0,214
20 a 49	M	D	0,155	0,004	0,471	0,857
20 a 49	F	D	0,140	0,003	0,424	0,772
50 a 64	M	D	0,140	0,003	0,426	0,776
50 a 64	F	D	0,110	0,003	0,334	0,609
65 ou mais	M	D	0,102	0,002	0,308	0,562
65 ou mais	F	D	0,080	0,002	0,243	0,442
20 a 49	M	E	0,243	0,072	0,222	0,857
20 a 49	F	E	0,219	0,065	0,200	0,772
50 a 64	M	E	0,220	0,066	0,201	0,776
50 a 64	F	E	0,172	0,051	0,158	0,609
65 ou mais	M	E	0,159	0,047	0,146	0,562
65 ou mais	F	E	0,125	0,037	0,115	0,442

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 21 – Distâncias anuais percorridas por modo

Cenário	A pé: distância anual (km)	Bicicleta: distância anual (km)	TI: distância anual (km)	TP: distância anual (km)
A	317.196.034	23.438.131	7.628.635.133	431.339.235
B	47.398.779	47.398.779	12.689.770.720	86.881.925
C	339.691.251	23.699.390	8.369.545.407	333.626.594
D	338.111.292	23.699.390	5.132.940.965	688.104.850
E	529.286.368	473.987.792	2.423.888.789	688.104.850

Fonte: Elaboração própria.

5.1.2 Exposições

Para a **poluição do ar**, o dado utilizado foi a concentração média anual geral de PM_{2.5} por cenário (Tabela 22), em microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tabela 22 – PM2.5: Concentração média anual geral por cenário

Cenário		PM2.5: Concentração média anual geral ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Padrão de mobilidade urbana	Nível de eletrificação da frota	
A	N0	11,55
B	N0	15,27
C	N0	12,47
D	N0	10,37
E	N0	8,62
A	N1	10,85
B	N1	14
C	N1	11,63
D	N1	9,86
E	N1	8,37
A	N2	10,16
B	N2	12,73
C	N2	10,79
D	N2	9,35
E	N2	8,13
A	N3	9,81
B	N3	12,09
C	N3	10,37
D	N3	9,09
E	N3	8,01
A	N4	9,23
B	N4	11,03
C	N4	9,67
D	N4	8,66
E	N4	7,81

Fonte: Elaboração própria.

Para a atividade física, os dados de entrada utilizados são a prevalência do nível de atividade física e o gasto energético semanal total médio em MET-horas (Tabela 23 e Tabela 24).

Tabela 23 – Atividade física: prevalência e gasto energético total por população

Faixa etária (anos)	Cenário	Prevalência (%)			Gasto energético semanal total (MET-h)		
		Insuf. Ativos	Ativos	Muito ativos	Insuf. ativos	Ativos	Muito ativos
20 a 64	A	38,6	37,9	23,5	7,50	28,59	112,43
20 a 64	B	38,6	37,9	23,5	2,93	24,02	107,87
20 a 64	C	38,6	37,9	23,5	7,12	28,21	112,05
20 a 64	D	38,6	37,9	23,5	9,08	30,17	114,02
20 a 64	E	38,6	37,9	23,5	13,58	34,67	118,51
65 ou mais	A	73	22,2	4,7	3,52	18,63	51,03
65 ou mais	B	73	22,2	4,7	1,41	16,52	48,92
65 ou mais	C	73	22,2	4,7	3,35	18,46	50,86
65 ou mais	D	73	22,2	4,7	4,26	19,37	51,77
65 ou mais	E	73	22,2	4,7	6,34	21,45	53,85

Fonte: Elaboração própria a partir de Assunção, Hidalgo e Braga (2023) e Fiocruz (2021).

Tabela 24 – Atividade física: prevalência e gasto energético total por perfil populacional

Faixa etária (anos)	Sexo	Cenário	Prevalência (%)			Gasto energético semanal total (MET-h)		
			Insuf. Ativos	Ativos	Muito ativos	Insuf. ativos	Ativos	Muito ativos
20 a 49	M	A	23	44,9	32,1	8,23	28,70	121,33
20 a 49	M	B	23	44,9	32,1	3,23	23,71	116,34
20 a 49	M	C	23	44,9	32,1	7,81	28,29	120,91
20 a 49	M	D	23	44,9	32,1	9,96	30,43	123,06
20 a 49	M	E	23	44,9	32,1	14,87	35,35	127,97
20 a 49	F	A	38,5	42,0	19,2	7,04	28,80	105,09
20 a 49	F	B	38,5	42,0	19,2	2,54	24,31	100,59
20 a 49	F	C	38,5	42,0	19,2	6,66	28,43	104,71
20 a 49	F	D	38,5	42,0	19,2	8,59	30,36	106,64
20 a 49	F	E	38,5	42,0	19,2	13,01	34,78	111,07
50 a 64	M	A	37,3	36,7	26	7,47	29,37	107,65
50 a 64	M	B	37,3	36,7	26	2,95	24,86	103,14
50 a 64	M	C	37,3	36,7	26	7,09	29,00	107,28
50 a 64	M	D	37,3	36,7	26	9,03	30,94	109,22
50 a 64	M	E	37,3	36,7	26	13,48	35,39	113,67
50 a 64	F	A	59,6	26,4	14	6,54	26,90	102,07
50 a 64	F	B	59,6	26,4	14	3,00	23,36	98,52

50 a 64	F	C	59,6	26,4	14	6,24	26,61	101,77
50 a 64	F	D	59,6	26,4	14	7,77	28,13	103,30
50 a 64	F	E	59,6	26,4	14	11,26	31,62	106,78
65 ou mais	M	A	63,0	31,2	5,8	4,12	19,95	48,92
65 ou mais	M	B	63,0	31,2	5,8	1,66	17,50	46,47
65 ou mais	M	C	63,0	31,2	5,8	3,91	19,75	48,72
65 ou mais	M	D	63,0	31,2	5,8	4,97	20,80	49,77
65 ou mais	M	E	63,0	31,2	5,8	7,38	23,21	52,19
65 ou mais	F	A	80,2	15,8	3,9	3,19	17,15	53,45
65 ou mais	F	B	80,2	15,8	3,9	1,27	15,22	51,53
65 ou mais	F	C	80,2	15,8	3,9	3,03	16,98	53,29
65 ou mais	F	D	80,2	15,8	3,9	3,86	17,81	54,12
65 ou mais	F	E	80,2	15,8	3,9	5,76	19,71	56,02

Fonte: Elaboração própria a partir de Assunção, Hidalgo e Braga (2023) e Fiocruz (2021).

Para os sinistros de trânsito, foram utilizados os óbitos por sinistros de trânsito categorizados por pares de modos de transporte “vítima” e “colidente” (Tabela 25 a Tabela 32).

Tabela 25 – Óbitos por sinistros de trânsito em 2019 (20 a 64 anos)

Vítima\Colidente	A pé	Bicicleta	TI	TP	Não especificado
A pé	0	0	11	2	4
Bicicleta	0	0	1	1	0
TI	0	1	16	8	15
TP	0	0	0	0	1

Fonte: Adaptado de Porto Alegre (2021).

Tabela 26 – Óbitos por sinistros de trânsito em 2019 (65 anos ou mais)

Vítima\Colidente	A pé	Bicicleta	TI	TP	Não especificado
A pé	0	1	13	2	0
Bicicleta	0	0	0	0	0
TI	0	0	1	0	2
TP	0	0	0	1	1

Fonte: Adaptado de Porto Alegre (2021).

Tabela 27 – Óbitos por sinistros de trânsito em 2019 (homens de 20 a 49 anos)

Vítima\Colidente	A pé	Bicicleta	TI	TP	Não especificado
A pé	0	0	4	0	3
Bicicleta	0	0	0	0	0
TI	0	1	11	3	11
TP	0	0	0	0	1

Fonte: Adaptado de Porto Alegre (2021).

Tabela 28 – Óbitos por sinistros de trânsito em 2019 (mulheres de 20 a 49 anos)

Vítima\Colidente	A pé	Bicicleta	TI	TP	Não especificado
A pé	0	0	0	0	0
Bicicleta	0	0	0	0	0
TI	0	0	3	3	3
TP	0	0	0	0	0

Fonte: Adaptado de Porto Alegre (2021).

Tabela 29 – Óbitos por sinistros de trânsito em 2019 (homens de 50 a 64 anos)

Vítima\Colidente	A pé	Bicicleta	TI	TP	Não especificado
A pé	0	0	6	1	1
Bicicleta	0	0	1	1	0
TI	0	0	1	1	1
TP	0	0	0	0	0

Fonte: Adaptado de Porto Alegre (2021).

Tabela 30 – Óbitos por sinistros de trânsito em 2019 (mulheres de 50 a 64 anos)

Vítima\Colidente	A pé	Bicicleta	TI	TP	Não especificado
A pé	0	0	1	1	0
Bicicleta	0	0	0	0	0
TI	0	0	1	1	0
TP	0	0	0	0	0

Fonte: Adaptado de Porto Alegre (2021).

Tabela 31 – Óbitos por sinistros de trânsito em 2019 (homens de 65 anos ou mais)

Vítima\Colidente	A pé	Bicicleta	TI	TP	Não especificado
A pé	0	0	6	2	0
Bicicleta	0	0	0	0	0
TI	0	0	0	0	1
TP	0	0	0	0	1

Fonte: Adaptado de Porto Alegre (2021).

Tabela 32 – Óbitos por sinistros de trânsito em 2019 (mulheres de 65 anos ou mais)

Vítima\Colidente	A pé	Bicicleta	TI	TP	Não especificado
A pé	0	1	7	0	0
Bicicleta	0	0	0	0	0
TI	0	0	1	0	1
TP	0	0	0	1	0

Fonte: Adaptado de Porto Alegre (2021).

5.1.3 Desfechos

Para os desfechos, utilizamos os óbitos (Tabela 33) e os “anos de vida perdidos” (Tabela 34) em Porto Alegre no ano de 2019 por causas naturais e por sinistros de trânsito

Tabela 33 – Porto Alegre: óbitos em 2019 (causas naturais e sinistros de trânsito)

População	Óbitos - causas naturais	Óbitos - sinistros de trânsito
20 a 64 anos	2.844	63
65 anos ou mais	8.155	21
Homens de 20 a 49 anos	451	34
Mulheres de 20 a 49 anos	370	9
Homens de 50 a 64 anos	1.184	13

Mulheres de 50 a 64 anos	839	4
Homens de 65 anos ou mais	3.420	9
Mulheres de 65 anos ou mais	4.735	11

Fonte: Porto Alegre (2015, 2021).

Tabela 34 – Porto Alegre: “anos de vida perdidos” (YLL) em 2019 (causas naturais e sinistros de trânsito)

População	YLL - causas naturais)	YLL: sinistros de trânsito
20 a 64 anos	66.534,48	2.237,46
65 anos ou mais	16.609,98	70,04
Homens de 20 a 49 anos	16.548,42	1.406,28
Mulheres de 20 a 49 anos	13.610,4	393,78
Homens de 50 a 64 anos	21.530,28	226,46
Mulheres de 50 a 64 anos	14.845,38	91,68
Homens de 65 anos ou mais	8.722,52	30,1
Mulheres de 65 anos ou mais	7.887,46	36,52

Fonte: Elaboração própria a partir de Porto Alegre (2015, 2021).

Além disso, também utilizamos os óbitos e “anos de vida perdidos” em 2019 para toda a população e para cada perfil populacional analisado (Tabela 35) como valores de referência para entender o impacto proporcional na mortalidade que cada cenário representa.

Tabela 35 – Porto Alegre: óbitos e “anos de vida perdidos” em 2019 (todas as causas)

População	Óbitos	Anos de vida perdidos - YLL
Todas as idades	12.253	124.020,2
Homens de 20 a 49 anos	451	16.548,42
Mulheres de 20 a 49 anos	370	13.610,4
Homens de 50 a 64 anos	1.184	21.530,8
Mulheres de 50 a 64 anos	839	14.845,38
Homens de 65 anos ou mais	3.420	8.722,52
Mulheres de 65 anos ou mais	4.735	7.887,46

Fonte: Elaboração própria a partir de Porto Alegre (2015, 2021).

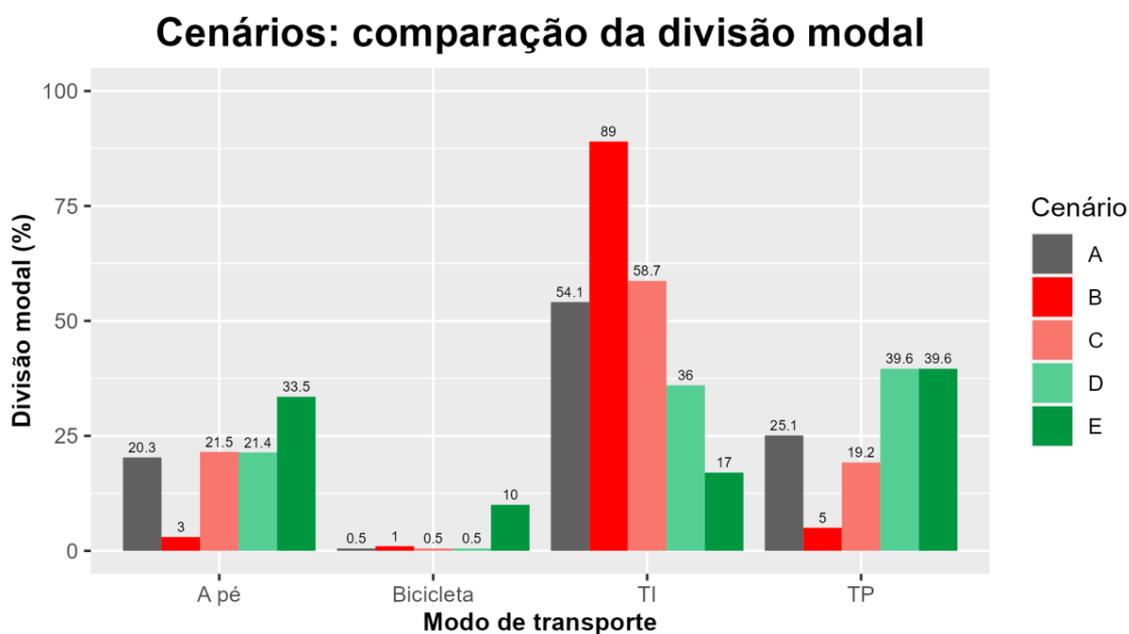
5.2 AVALIAÇÃO DE IMPACTO À SAÚDE

5.2.1 Padrão de mobilidade urbana

Foram analisados cinco cenários (Figura 41 e Figura 42):

- **“A: Base”** – estimativa da situação vigente em 2019;
- **“B: Deteriorado”** – adoção em 2032 de divisão modal semelhante a Los Angeles/EUA
- **“C: Manutenção”** – *business-as-usual*, situação resultante da manutenção em 2032 das tendências de crescimento da frota de automóveis e motocicletas e na redução do número de passageiros de ônibus;
- **“D: Retorno a 2003”** – retorno em 2032 à divisão modal identificada na última pesquisa origem-destino (2003)
- **“E: Idealizado”** – síntese de diversas visões de futuro para a mobilidade urbana presentes em documentos para Porto Alegre e outras cidades brasileiras.

Figura 41 – Cenários: comparação da divisão modal



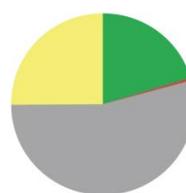
Fonte: Elaboração própria.

Figura 42 – Divisão modal estimada para os cenários analisados

Cenários: divisão modal

Cenário base (2019)

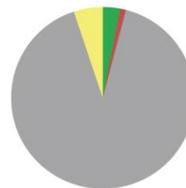
A
Base



■ A pé - 20,3%
■ Bicicleta - 0,5%
■ TI - 54,1%
■ TP - 25,1%

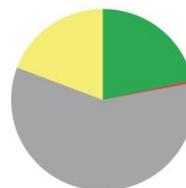
Cenários contrafactuais (2032)

B
Deteriorado
(Los Angeles)



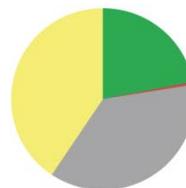
■ A pé - 3%
■ Bicicleta - 1%
■ TI - 89%
■ TP - 5%

C
Manutenção



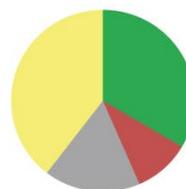
■ A pé - 21,5%
■ Bicicleta - 0,5%
■ TI - 58,7%
■ TP - 19,2%

D
Retorno a
2003
(EDOM 2003)



■ A pé - 21,4%
■ Bicicleta - 0,5%
■ TI - 36%
■ TP - 39,6%

E
Idealizado
(MobiliPOA, PDCI, Planmob/SP)



■ A pé - 33,5%
■ Bicicleta - 10%
■ TI - 17%
■ TP - 39,6%

Foto cenários A e C: <https://mobilidadeportoalegre.com.br/18-mil-pessoas-participaram-de-acoes-educativas-da-eptc-no-1-semester/>

Foto cenário B: <https://folhadomate.com/variedades/tudo-e-todas/los-angeles-a-cidade-do-engarrafamento/>

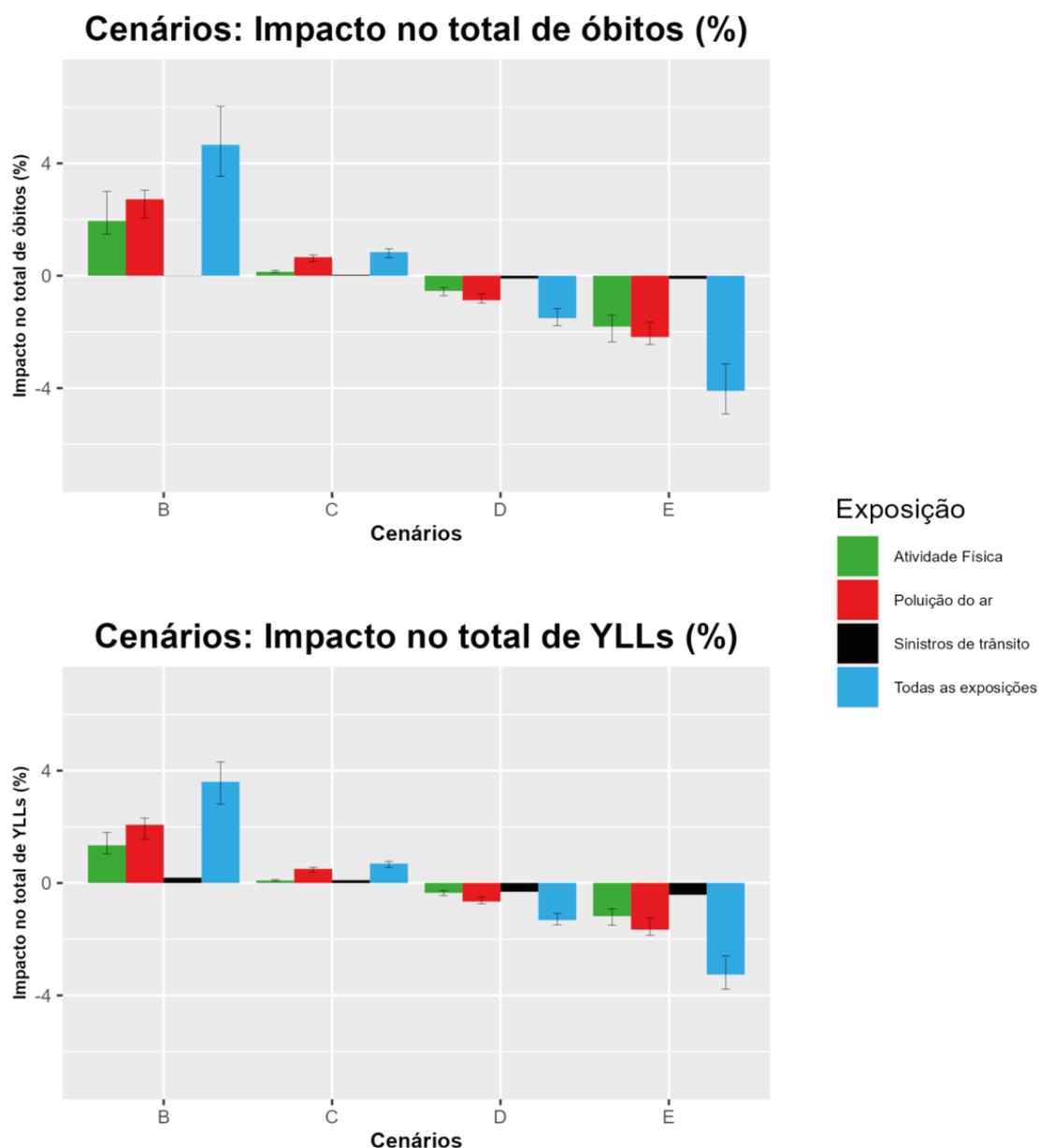
Foto cenário D: <https://www.jornaldocomercio.com/colunas/pensar-a-cidade/2023/02/1094766-consorcio-realizara-pesquisa-origem-e-destino-do-transporte-de-porto-alegre.html>

Foto cenário E: <https://www.mobilize.org.br/blogs/cidade-ativa/sem-categoria/358/>

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados (Figura 43) foram obtidos para cada exposição analisada (sinistros de trânsito, atividade física, poluição do ar) de forma separada e conjunta considerando os óbitos (Tabela 36), os anos de vida perdidos (Tabela 37) e os impactos financeiros da mortalidade (Tabela 38).

Figura 43 – Síntese dos resultados em relação ao cenário A



Fonte: Elaboração própria.

Tabela 36 – Impacto nos óbitos em relação ao cenário “A”

Cenário	Óbitos				Impacto no total de óbitos de toda a população (%)			
	Sinistros de trânsito	Atividade física (IC 95%)	Poluição do ar – PM2.5 (IC 95%)	Todas as exposições (IC 95%)	Sinistros de trânsito	Atividade física (IC 95%)	Poluição do ar – PM2.5 (IC 95%)	Todas as exposições (IC 95%)
B	- 1	+ 238 (+ 182; + 367)	+ 333 (+ 253; + 372)	+ 571 (+ 434; + 738)	- 0,01	+ 1,95 (+ 1,48; + 3)	+ 2,72 (+ 2,06; + 3,04)	+ 4,66 (+ 3,54; + 6,03)
C	+ 4	+ 17 (+ 13; + 23)	+ 81 (+ 61; + 91)	+ 103 (+ 79; + 118)	+ 0,03	+ 0,14 (+ 0,11; + 0,19)	+ 0,66 (+ 0,50; + 0,74)	+ 0,84 (+ 0,64; + 0,96)
D	- 12	- 67 (- 87; - 51)	- 106 (- 119; - 80)	- 184 (- 218; - 143)	- 0,1	- 0,54 (- 0,71; - 0,42)	- 0,87 (- 0,97; - 0,65)	- 1,51 (- 1,78; - 1,17)
E	- 13	- 222 (- 289; - 170)	- 268 (- 300; - 202)	- 502 (- 602; - 385)	- 0,11	- 1,81 (- 2,36; - 1,39)	- 2,18 (- 2,45; - 1,65)	- 4,1 (- 4,92; - 3,14)

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 37 – Impacto nos “anos de vida perdidos” em relação ao cenário “A”

Cenário	YLLs – “anos de vida perdidos”				Impacto no total de YLLs de toda a população (%)			
	Sinistros de trânsito	Atividade física (IC 95%)	Poluição do ar – PM2.5 (IC 95%)	Todas as exposições (IC 95%)	Sinistros de trânsito	Atividade física (IC 95%)	Poluição do ar – PM2.5 (IC 95%)	Todas as exposições (IC 95%)
B	+ 239	+ 1665 (+ 1292; + 2238)	+ 2566 (+ 1950; + 2868)	+ 4469 (+ 3481; + 5344)	+ 0,19	+ 1,34 (+ 1,04; + 1,8)	+ 2,07 (+ 1,57; + 2,31)	+ 3,6 (+ 2,81; + 4,31)
C	+ 121	+ 113 (+ 88; + 144)	+ 621 (+ 470; + 695)	+ 855 (+ 679; + 960)	+ 0,1	+ 0,09 (+ 0,07; + 0,12)	+ 0,5 (+ 0,38; + 0,56)	+ 0,69 (+ 0,55; + 0,77)
D	- 382	- 435 (- 553 - 339)	- 815 (- 913; - 616)	- 1632 (- 1849; - 1337)	- 0,31	- 0,35 (- 0,45; - 0,27)	- 0,66 (- 0,74; - 0,5)	- 1,32 (- 1,49; - 1,08)
E	- 523	- 1463 (- 1856; - 1140)	- 2060 (- 2310 - 1555)	- 4045 (- 4689; - 3217)	- 0,42	- 1,18 (- 1,5; - 0,92)	- 1,66 (- 1,86; - 1,25)	- 3,26 (- 3,78; - 2,59)

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 38 – Impacto financeiro da mortalidade (Valor Estatístico da Vida) em relação ao cenário “A”

Impacto financeiro – Valor Estatístico da Vida (R\$)				
Cenário	Sinistros de trânsito	Atividade física (IC 95%)	Poluição do ar – PM2.5 (IC 95%)	Todas as exposições (IC 95%)
B	- 1.677.152,89	+ 542.039.712,71 (+ 413.465.030,39; + 834.180.502,07)	+ 756.642.316,63 (+ 575.003.698,85; + 845.706.088,49)	+ 1.297.004.876,45 (+ 986.791.576,35; + 1.678.209.437,67)
C	+ 9.366.080,36	+ 39.663.942,13 (+ 30.422.568,24; + 51.767.687,30)	+ 184.414.792,41 (+ 139.749.999,47; + 206.408.409,03)	+ 233.444.814,91 (+ 179.538.648,07; + 267.542.176,69)
D	- 26.804.326,69	- 151.526.813,56 (- 197.681.013,20; - 116.232.948,27)	- 240.930.434,49 (- 269.938.919,48; - 182.201.080,40)	- 419.261.574,74 (- 494.424.259,37; - 325.238.355,36)
E	- 29.976.197,90	- 503.908.526,76 (- 656.859.892,21; - 386.615.774,81)	- 608.135.623,77 (- 681.949.506,89; - 459.085.972,44)	- 1.142.020.348,43 (- 1.368.785.597,01; - 875.677.945,15)

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados mostram que os cenários com **maiores participações dos modos ativos e do transporte público na divisão modal (D e E)** apresentam **redução nos óbitos, anos de vida perdidos e no impacto financeiro** (Valor Estatístico da Vida) em relação ao cenário base, enquanto **o inverso acontece para os cenários com maior participação do transporte individual motorizado (B e C)**. Isto **confirma a hipótese do trabalho** e está de acordo com o observado em outros trabalhos (CLOCKSTON; ROJAS-RUEDA, 2021; GARCIA *et al.*, 2021; MAIZLISH *et al.*, 2013; MUELLER, N. *et al.*, 2018; OTERO; NIEUWENHUIJSEN; ROJAS-RUEDA, 2018; ROJAS-RUEDA *et al.*, 2011, 2012; SÁ *et al.*, 2017; WHITFIELD *et al.*, 2017; WOODCOCK *et al.*, 2009, 2014; WOODCOCK; GIVONI; MORGAN, 2013; ZAPATA-DIOMEDI *et al.*, 2017).

Esse padrão só não é observado ao analisar os óbitos atribuíveis aos sinistros de trânsito, pois o cenário “B” (o mais “carrocêntrico”) também apresenta redução no total de óbitos (e seu impacto financeiro) por sinistros de trânsito (Tabela 36 e Tabela 38), embora fosse esperado um aumento. Ao considerar os anos de vida perdidos (Tabela 37), no entanto, segue a

tendência já apresentada de aumento com a participação crescente do transporte individual motorizado na divisão modal.

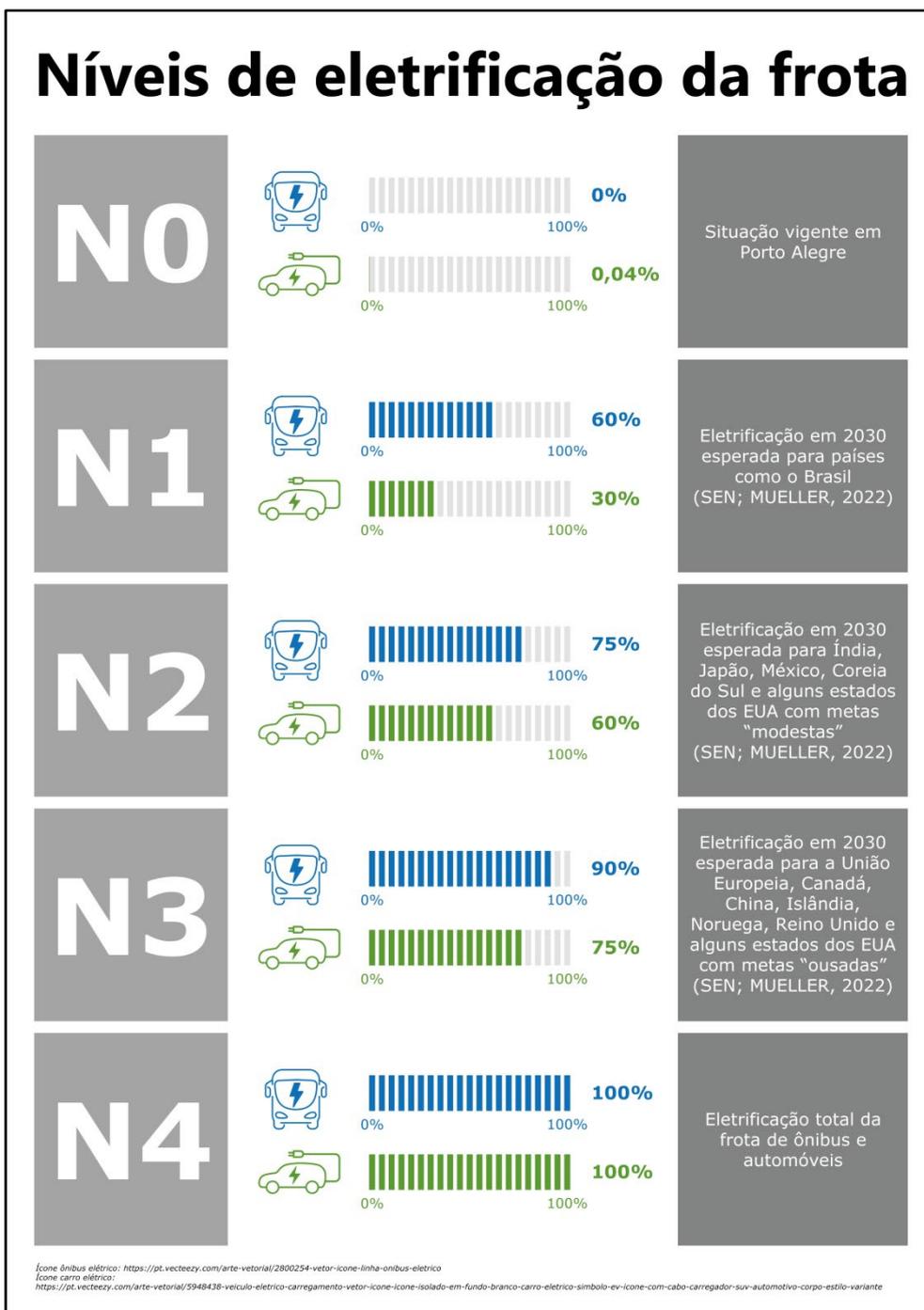
A poluição do ar por PM_{2.5} foi a exposição que mais apresentou impacto no total de óbitos e “anos de vida perdidos”, seguida pela atividade física e pelos sinistros de trânsito. Isto vai de encontro com a percepção apresentada por algumas publicações de que a atividade física é a exposição com maior impacto à saúde (CLOCKSTON; ROJAS-RUEDA, 2021; MUELLER, N. *et al.*, 2018; OTERO; NIEUWENHUIJSEN; ROJAS-RUEDA, 2018; ROJAS-RUEDA *et al.*, 2011, 2012, 2016; ZAPATA-DIOMEDI *et al.*, 2017).

Um resultado semelhante ao da dissertação foi encontrado em um artigo que modelou os impactos à saúde para Viena, com mais óbitos prevenidos sendo atribuídos à poluição do ar por PM_{2.5} do que para a atividade física (KHOMENKO *et al.*, 2020). Isso também foi observado em uma avaliação de impacto à saúde para o projeto das Superquadras de Barcelona, embora o poluente considerado tenha sido o dióxido de nitrogênio (NO₂) ao invés das partículas finas PM_{2.5} (MUELLER *et al.*, 2020)

5.2.2 Eletrificação de frota

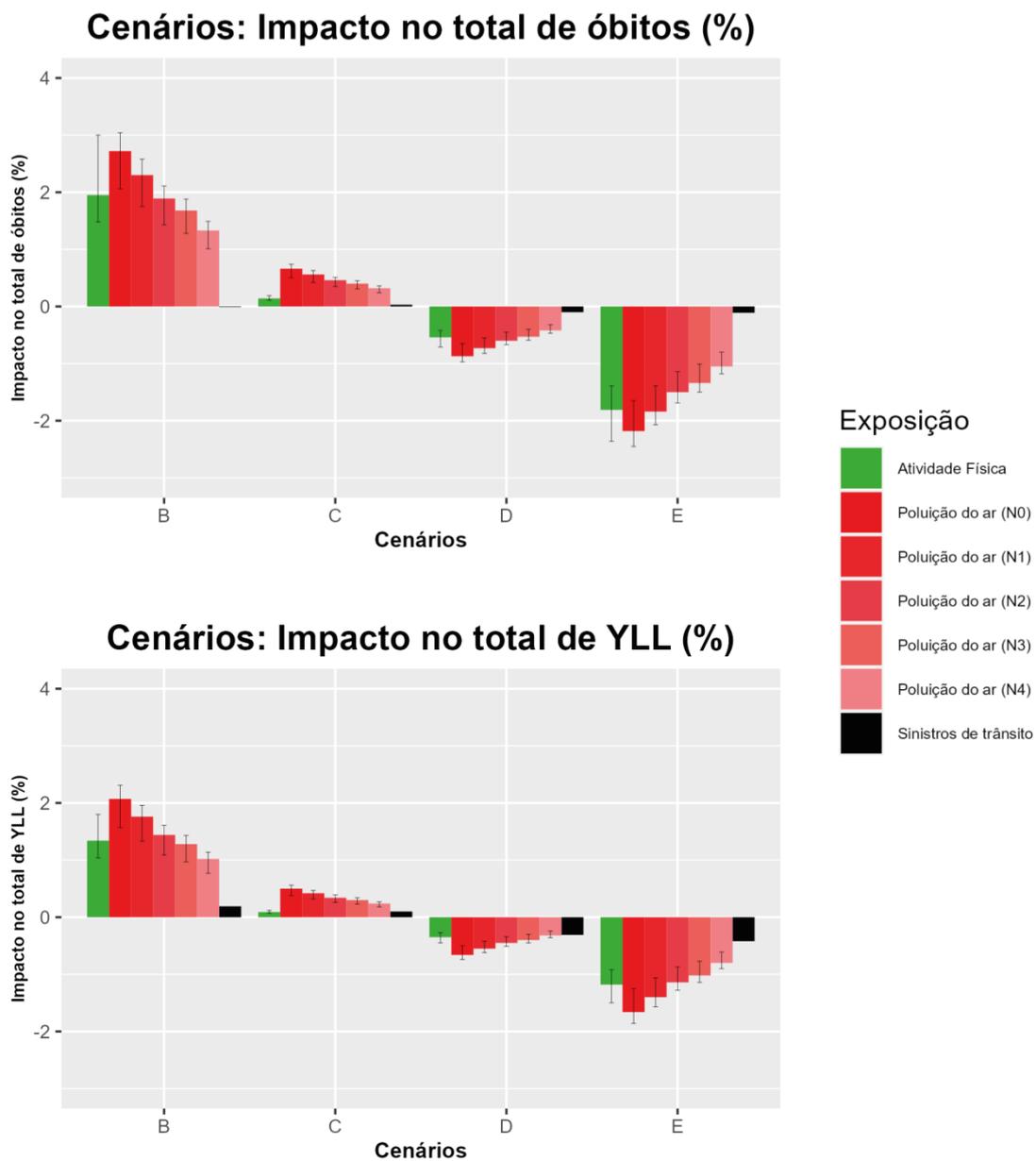
Em seguida, foi analisado o impacto da incorporação dos veículos elétricos no cotidiano pela adoção de cinco níveis de eletrificação: N0, N1, N2, N3 e N4 (Figura 44). Os resultados (Figura 45) foram obtidos para cada nível de eletrificação (Tabela 39, Tabela 40, Tabela 41, Tabela 42 e Tabela 43).

Figura 44 – Níveis de eletrificação de frota analisados



Fonte: Elaboração própria.

Figura 45 – Síntese dos resultados em relação ao cenário A



Fonte: Elaboração própria.

Tabela 39 – Resultados: Nível de eletrificação N0

Cenário	Impacto no total de óbitos de toda a população (%)				Impacto no total de YLLs de toda a população (%)			
	Sinistros de trânsito	Atividade física	Poluição do ar (PM2.5)	Todas as exposições	Sinistros de trânsito	Atividade física	Poluição do ar (PM2.5)	Todas as exposições
		+ 1,95	+ 2,72	+ 4,66		+ 1,34	+ 2,07	+ 3,6%
B-A	- 0,01	(+ 1,48; + 3)	(+ 2,06; + 3,04)	(+ 3,54; + 6,03)	+ 0,19	(+ 1,04; + 1,8)	(+ 1,57; + 2,31)	(+ 2,81; + 4,31)
		+ 0,14	+ 0,66	+ 0,84		+ 0,09	+ 0,5	+ 0,69
C-A	+ 0,03	(+ 0,11; + 0,19)	(+ 0,50; + 0,74)	(+ 0,64; + 0,96)	+ 0,1	(+ 0,07; + 0,12)	(+ 0,38; + 0,56)	(+ 0,55; + 0,77)
		- 0,54	- 0,87	- 1,51		- 0,35	- 0,66	- 1,32
D-A	- 0,1	(- 0,71; - 0,42)	(- 0,97; - 0,65)	(- 1,78; - 1,17)	- 0,31	(- 0,45; - 0,27)	(- 0,74; - 0,5)	(- 1,49; - 1,08)
		- 1,81	- 2,18	- 4,1		- 1,18	- 1,66	- 3,26
E-A	- 0,11	(- 2,36; - 1,39)	(- 2,45; - 1,65)	(- 4,92; - 3,14)	- 0,42	(- 1,5; - 0,92)	(- 1,86; - 1,25)	(- 3,78; - 2,59)

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 40 – Resultados: Nível de eletrificação N1

Cenário	Impacto no total de óbitos de toda a população (%)				Impacto no total de YLLs de toda a população (%)			
	Sinistros de trânsito	Atividade física	Poluição do ar (PM2.5)	Todas as exposições	Sinistros de trânsito	Atividade física	Poluição do ar (PM2.5)	Todas as exposições
		+ 1,95	+ 2,3	+ 4,24		+ 1,34	+ 1,76	+ 3,29
B-A	- 0,01	(+ 1,48; + 3)	(+ 1,75; + 2,58)	(+ 3,23; + 5,57)	+ 0,19	(+ 1,04; + 1,8)	(+ 1,33; + 1,96)	(+ 2,57; + 3,96)
		+ 0,14	+ 0,56	+ 0,74		+ 0,09	+ 0,42	+ 0,61
C-A	+ 0,03	(+ 0,11; + 0,19)	(+ 0,42; + 0,63)	(+ 0,57; + 0,85)	+ 0,1	(+ 0,07; + 0,12)	(+ 0,32; + 0,47)	(+ 0,49; + 0,69)
		- 0,54	- 0,73	- 1,37		- 0,35	- 0,55	- 1,21
D-A	- 0,1	(- 0,71; - 0,42)	(- 0,82; - 0,55)	(- 1,62; - 1,07)	- 0,31	(- 0,45; - 0,27)	(- 0,62; - 0,42)	(- 1,38; - 1)
		- 1,81	- 1,84	- 3,76		- 1,18	- 1,40%	- 3
E-A	- 0,11	(- 2,36; - 1,39)	(- 2,07; - 1,39)	(- 4,53; - 2,89)	- 0,42	(- 1,5; - 0,92)	(- 1,57; - 1,06)	(- 3,49; - 2,4)

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 41 – Resultados: Nível de eletrificação N2

Cenário	Impacto no total de óbitos de toda a população (%)				Impacto no total de YLLs de toda a população (%)			
	Sinistros de trânsito	Atividade física	Poluição do ar (PM2.5)	Todas as exposições	Sinistros de trânsito	Atividade física	Poluição do ar (PM2.5)	Todas as exposições
		+ 1,95	+ 1,89	+ 3,83		+ 1,34	+ 1,44	+ 2,97
B-A	- 0,01	(+ 1,48; + 3)	(+ 1,43; + 2,11)	(+ 2,91; + 5,1)	+ 0,19	(+ 1,04; + 1,8)	(+ 1,09; + 1,61)	(+ 2,33; + 3,61)
		+ 0,14	+ 0,46	+ 0,63		+ 0,09	+ 0,34	+ 0,53
C-A	+ 0,03	(+ 0,11; + 0,19)	(+ 0,35; + 0,51)	(+ 0,49; + 0,73)	+ 0,1	(+ 0,07; + 0,12)	(+ 0,26; + 0,39)	(+ 0,43; + 0,6)
		- 0,54	- 0,6	- 1,24		- 0,35	- 0,45	- 1,11
D-A	- 0,1	(- 0,71; - 0,42)	(- 0,67; - 0,45)	(- 1,47; - 0,96)	- 0,31	(- 0,45; - 0,27)	(- 0,51; - 0,34)	(- 1,26; - 0,92)
		- 1,81	- 1,5	- 3,42		- 1,18	- 1,14	- 2,75
E-A	- 0,11	(- 2,36; - 1,39)	(- 1,69; - 1,14)	(- 4,15; - 2,63)	- 0,42	(- 1,5; - 0,92)	(- 1,28; - 0,87)	(- 3,2; - 2,21)

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 42 – Resultados: Nível de eletrificação N3

Cenário	Impacto no total de óbitos de toda a população (%)				Impacto no total de YLLs de toda a população (%)			
	Sinistros de trânsito	Atividade física	Poluição do ar (PM2.5)	Todas as exposições	Sinistros de trânsito	Atividade física	Poluição do ar (PM2.5)	Todas as exposições
		+ 1,95	+	3,62		+ 1,34	+ 1,28	+ 2,82
B-A	- 0,01	(+ 1,48; + 3)	1,68% (+ 1,28; + 1,88)	(+ 2,75; + 4,87)	+ 0,19	(+ 1,04; + 1,8)	(+ 0,97; + 1,43)	(+ 2,21; + 3,43)
		+ 0,14	+ 0,4	+ 0,58		+ 0,09	+ 0,3	+ 0,49
C-A	+ 0,03	(+ 0,11; + 0,19)	(+ 0,31; + 0,45)	(+ 0,45; + 0,67)	+ 0,1	(+ 0,07; + 0,12)	(+ 0,23; + 0,34)	(+ 0,4; + 0,55)
		- 0,54	- 0,53	- 1,17		- 0,35	- 0,4	- 1,06
D-A	- 0,1	(- 0,71; - 0,42)	(- 0,59; - 0,4)	(- 1,4; - 0,91)	- 0,31	(- 0,45; - 0,27)	(- 0,45; - 0,3)	(- 1,2; - 0,89)
		- 1,81	- 1,34	- 3,25		- 1,18	- 1,02	- 2,62
E-A	- 0,11	(- 2,36; - 1,39)	(- 1,5; - 1,01)	(- 3,96; - 2,51)	- 0,42	(- 1,5; - 0,92)	(- 1,14; - 0,77)	(- 3,06; - 2,11)

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 43 – Resultados: Nível de eletrificação N4

Cenário	Impacto no total de óbitos de toda a população (%)				Impacto no total de YLLs de toda a população (%)			
	Sinistros de trânsito	Atividade física	Poluição do ar (PM2.5)	Todas as exposições	Sinistros de trânsito	Atividade física	Poluição do ar (PM2.5)	Todas as exposições
		+ 1,95	+ 1,33	+ 3,27		+ 1,34	+ 1,02	+ 2,55
B-A	- 0,01	(+ 1,48; + 3)	(+ 1,01; + 1,49)	(+ 2,49; + 4,48)	+ 0,19	(+ 1,04; + 1,8)	(+ 0,77; + 1,14)	(+ 2,01; + 3,13)
		+ 0,14	+ 0,32	+ 0,49		+ 0,09	+ 0,24	+ 0,43
C-A	+ 0,03	(+ 0,11; + 0,19)	(+ 0,24; + 0,36)	(+ 0,38; + 0,58)	+ 0,1	(+ 0,07; + 0,12)	(+ 0,18; + 0,27)	(+ 0,35; + 0,48)
		- 0,54	- 0,42	- 1,06		- 0,35	- 0,32	- 0,98
D-A	- 0,1	(- 0,71; - 0,42)	(- 0,47; - 0,32)	(- 1,27; - 0,83)	- 0,31	(- 0,45; - 0,27)	(- 0,36; - 0,24)	(- 1,11; - 0,82)
		- 1,81	- 1,05	- 2,97		- 1,18	- 0,8	- 2,40
E-A	- 0,11	(- 2,36; - 1,39)	(- 1,18; - 0,8)	(- 3,65; - 2,29)	- 0,42	(- 1,5; - 0,92)	(- 0,9; - 0,61)	(- 2,82; - 1,95)

Fonte: Elaboração própria.

Ao incorporar os níveis de eletrificação de frota nos cenários, o impacto da poluição do ar por PM2.5 reduz e gradualmente **a atividade física passa a ser a exposição com maior impacto na mortalidade** na maioria dos cenários, exceto no “C”, em que a poluição do ar continua impactando mais a mortalidade. Isto pode ser um indicativo de que eventualmente a questão da poluição do ar pode ser enfrentada somente com a eletrificação de frota do mesmo modo que os sinistros de trânsito tem sido reduzidos nos últimos anos e podem ser eliminados com os veículos autônomos (POURRAHMANI *et al.*, 2020); entretanto, a falta de atividade física continuará sendo uma preocupação caso não ocorram mudanças no padrão de mobilidade urbana (NIEUWENHUIJSEN, 2016, 2020; NIEUWENHUIJSEN; KHREIS, 2019).

Para compreender o impacto combinado da mudança no padrão de mobilidade urbana e da eletrificação de frota, foram tabulados os impactos na mortalidade atribuíveis à poluição do ar por PM2.5 – a única exposição que é influenciada pela eletrificação de frota – em uma matriz que combina os cenários de divisão modal com os níveis de eletrificação (Tabela 44).

Tabela 44 – Divisão modal x eletrificação de frota (PM2.5): impacto no total de óbitos da população em relação ao cenário A-N0 (%)

Cenário\Nível de eletrificação	N0	N1	N2	N3	N4
A	0	- 0,14 (- 0,16; - 0,11)	- 0,27 (- 0,3; - 0,2)	- 0,34 (- 0,38; - 0,26)	- 0,46 (- 0,51; - 0,34)
B	+ 0,72 (+ 0,55; + 0,81)	+ 0,48 (+ 0,37; + 0,54)	+ 0,24 (+ 0,18; + 0,26)	+ 0,11 (+ 0,09; + 0,13)	- 0,09 (- 0,11; - 0,07)
C	+ 0,17 (+ 0,13; + 0,2)	+ 0,01 (+ 0,01; + 0,02)	- 0,15 (- 0,17; - 0,11)	- 0,24 (- 0,26; - 0,18)	- 0,37 (- 0,42; - 0,28)
D	- 0,23 (- 0,25; - 0,17)	- 0,33 (- 0,37; - 0,25)	- 0,43 (- 0,48; - 0,33)	- 0,48 (- 0,54; - 0,37)	- 0,57 (- 0,64; - 0,42)
E	- 0,58 (- 0,65; - 0,44)	- 0,63 (- 0,7; - 0,47)	- 0,68 (- 0,76; - 0,51)	- 0,7 (- 0,78; - 0,53)	- 0,74 (- 0,83; - 0,55)

Fonte: Elaboração própria.

Ao analisar de forma cruzada os cenários de divisão modal com os níveis de eletrificação, é possível perceber que o cenário com a maior redução do transporte motorizado e praticamente nenhuma eletrificação (E-N0) provocou uma redução nos óbitos atribuíveis à poluição do ar – e consequentemente no total de óbitos – maior que o cenário em que não há mudanças na divisão modal e há eletrificação total da frota (cenário A-N4). Isto vai ao encontro do entendimento de que a redução no uso massivo do transporte motorizado pode ser a melhor alternativa para a redução das emissões de poluentes como o PM2.5 e CO2 e de suas externalidades (NIEUWENHUIJSEN, 2016, 2020; NIEUWENHUIJSEN; KHREIS, 2019).

5.2.3 Distribuição dos impactos por perfil populacional

Também foi investigada a distribuição dos impactos à saúde por perfil populacional, aqui compreendido como uma combinação de faixa etária e sexo. Consideramos seis perfis populacionais para cada cenário: “Homens de 20 a 49 anos”, “Mulheres de 20 a 49 anos”, “Homens de 50 a 64 anos”, “Mulheres de 50 a 64 anos”, “Homens de 65 anos ou mais”, “Mulheres de 65 anos ou mais”. Em nome da síntese, apresentamos os resultados para os cenários B (Tabela 45 e Tabela 46) e E (Tabela 47 e Tabela 48) no nível de eletrificação N0.

Ao analisar os sinistros de trânsito, percebe-se que os “homens de 20 a 49 anos” são os que apresentam maior impacto (relativo ao total de óbitos do perfil), seguidos pelas “mulheres de 20 a 49 anos”. Esse entendimento é semelhante ao aplicado pelas seguradoras para a cobrança da apólice para o automóvel, com o valor mais alto sendo para homens jovens devido à maior probabilidade de se envolver em sinistros de trânsito (MIRAGAYA, 2014; REIS, 2019; WILTGEN, 2014).

Para a atividade física, o impacto é maior em mulheres do que homens dentro da mesma faixa etária e é maior em pessoas mais velhas ao considerar somente um dos sexos, sendo as “mulheres de 65 anos ou mais” as mais impactadas e os “homens de 20 a 49 anos” os menos. Isto está relacionado ao entendimento do impacto da atividade física ser maior em pessoas sedentárias, que praticam pouca atividade física (WOODCOCK *et al.*, 2011). Por isso a distribuição dos impactos da atividade física se mostrou diretamente proporcional à prevalência de insuficientemente ativos no perfil e inversamente proporcional ao índice de mobilidade. Em síntese, **quanto mais sedentário, maior o impacto**. Ou seja, **políticas que promovem a prática de atividade física no deslocamento podem melhorar a saúde de mulheres e idosos**.

Para a poluição do ar, os perfis mais impactados foram os mais jovens, com destaque para os “homens de 20 a 49 anos”. A distribuição dos resultados é semelhante à do índice de mobilidade, um dado utilizado no modelo para estimar os tempos médios de viagem nos modos por cenário. Conseqüentemente, o índice de mobilidade influenciou no tempo de exposição ao poluente. Em outras palavras, **quanto mais exposto, mais impactado**.

Tabela 45 – Cenário B: resultados desagregados por perfil populacional (óbitos) em relação ao cenário base “A”

Faixa etária	Sexo	Óbitos			Impacto no total de óbitos do perfil populacional (%)				
		Sinistros de trânsito	Atividade física (IC 95%)	Poluição do ar - PM2.5 (IC 95%)	Todas as exposições (IC 95%)	Sinistros de trânsito	Atividade física (IC 95%)	Poluição do ar - PM2.5 (IC 95%)	Todas as exposições (IC 95%)
20 a 49	M	+ 9	+ 7 (+ 5; + 8)	+ 14 (+ 11; + 16)	+ 30 (+ 25; + 33)	+ 1,95	+ 1,49 (+ 1,17; + 1,86)	+ 3,13 (+ 2,38; + 3,5)	+ 6,58 (+ 5,51; + 7,31)
20 a 49	F	+ 3	+ 8 (+ 6; + 10)	+ 11 (+ 9; + 13)	+ 22 (+ 17; + 25)	+ 0,73	+ 2,05 (+ 1,6; + 2,6)	+ 3,1 (+ 2,36; + 3,47)	+ 5,89 (+ 4,69; + 6,8)
50 a 64	M	- 3	+ 22 (+ 17; + 28)	+ 37 (+ 28; + 41)	+ 55 (+ 42; + 66)	- 0,28	+ 1,86 (+ 1,45; + 2,34)	+ 3,1 (+ 2,36; + 3,47)	+ 4,68 (+ 3,53; + 5,54)
50 a 64	F	- 1	+ 19 (+14; + 24)	+ 26 (+ 19; + 29)	+ 43 (+ 33; + 52)	- 0,13	+ 2,24 (+ 1,73; + 2,9)	+ 3,04 (+ 2,31; + 3,4)	+ 5,15 (+ 3,91; + 6,18)
65 ou mais	M	- 4	+ 70 (+ 53; + 111)	+ 104 (+ 79; + 116)	+ 169 (+ 128; + 223)	- 0,13	+ 2,04 (+ 1,56; + 3,25)	+ 3,03 (+ 2,3; + 3,38)	+ 4,94 (+ 3,73; + 6,51)
65 ou mais	F	+ 1	+ 114 (+ 86; + 187)	+ 141 (+ 107; + 158)	+ 257 (+ 195; + 346)	+ 0,02	+ 2,42 (+ 1,82; + 3,96)	+ 2,98 (+ 2,27; + 3,33)	+ 5,42 (+ 4,11; + 7,32)

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 46 – Cenário B: resultados desagregados por perfil populacional (“anos de vida perdidos”) em relação ao cenário base “A”

Faixa etária	Sexo	YLLs – “anos de vida perdidos”				Impacto no total de YLLs do perfil populacional (%)			
		Sinistros de trânsito	Atividade física (IC 95%)	Poluição do ar - PM2.5 (IC 95%)	Todas as exposições (IC 95%)	Sinistros de trânsito	Atividade física (IC 95%)	Poluição do ar - PM2.5 (IC 95%)	Todas as exposições (IC 95%)
20 a 49	M	+ 364,40	+ 246,95 (+ 194,02; + 307,39)	+ 518,66 (+ 394,21; + 579,68)	+ 1130,02 (+ 952,63; + 1251,47)	+ 2,2	+ 1,49 (+ 1,17; + 1,86)	+ 3,13 (+ 2,38; + 3,5)	+ 6,83 (+ 5,76; + 7,56)
20 a 49	F	+ 118,88	+ 279,15 (+ 218,01; + 353,44)	+ 422,31 (+ 320,96; + 472)	+ 820,34 (+ 657,85; + 944,32)	+ 0,87	+ 2,05 (+ 1,6; + 2,6)	+ 3,1 (+ 2,36; + 3,47)	+ 6,03 (+ 4,83; + 6,94)
50 a 64	M	- 57,62	+ 399,84 (+ 312,96; + 504,87)	+ 668,39 (+ 507,98; + 747,03)	+ 1010,61 (+ 763,32; + 1194,28)	- 0,27	+ 1,86 (+ 1,45; + 2,34)	+ 3,1 (+ 2,36; + 3,47)	+ 4,69 (+ 3,55; + 5,55)
50 a 64	F	- 24,88	+ 332,53 (+ 256,35; + 431,16)	+ 451,82 (+ 343,36; + 505)	+ 759,47 (+ 574,83; + 911,28)	- 0,17	+ 2,24 (+ 1,73; + 2,9)	+ 3,04 (+ 2,31; + 3,4)	+ 5,12 (+ 3,87; + 6,14)
65 ou mais	M	- 14,44	+ 178,19 (+ 135,92; + 283,83)	+ 263,98 (+ 200,61; + 295,05)	+ 427,74 (+ 322,09; + 564,45)	- 0,17	+ 2,04 (+ 1,56; + 3,25)	+ 3,03 (+ 2,3; + 3,38)	+ 4,9 (+ 3,69; + 6,47)
65 ou mais	F	+ 3,60	+ 190,63 (+ 143,53; + 312,17)	+ 235,29 (+ 178,80; + 262,99)	+ 429,52 (+ 325,93; + 578,77)	+ 0,05	+ 2,42 (+ 1,82; + 3,96)	+ 2,98 (+ 2,27; + 3,33)	+ 5,45 (+ 4,13; + 7,34)

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 47 – Cenário E: resultados desagregados por perfil populacional (óbitos) em relação ao cenário base “A”

Faixa etária	Sexo	Óbitos				Impacto no total de óbitos do perfil populacional (%)			
		Sinistros de trânsito	Atividade física (IC 95%)	Poluição do ar - PM2.5 (IC 95%)	Todas as exposições (IC 95%)	Sinistros de trânsito	Atividade física (IC 95%)	Poluição do ar - PM2.5 (IC 95%)	Todas as exposições (IC 95%)
20 a 49	M	- 13	- 6 (- 8; - 5)	- 11 (- 13; - 9)	- 30 (- 33; - 26)	- 2,84	- 1,39 (- 1,71; - 1,09)	- 2,51 (- 2,82; -1,90)	- 6,75 (- 7,38; - 5,83)
20 a 49	F	- 5	- 6 (- 8; - 5)	- 9 (- 10; - 7)	- 21 (- 23; - 17)	- 1,34	- 1,72 (- 2,16; - 1,35)	- 2,49 (- 2,79; -1,88)	- 5,55 (- 6,29; - 4,57)
50 a 64	M	+ 4	- 19 (- 24; - 15)	- 29 (- 33; - 22)	- 44 (- 53; - 33)	+ 0,36	- 1,6 (- 2; -1,26)	- 2,49 (- 2,79; -1,88)	- 3,74 (- 4,44; - 2,78)
50 a 64	F	- 1	- 16 (- 21; - 13)	- 21 (- 23; - 15)	- 37 (- 45; - 29)	- 0,07	- 1,93 (- 2,50; - 1,49)	- 2,45 (- 2,74; -1,85)	- 4,45 (- 5,31; - 3,41)
65 ou mais	M	0	- 67 (- 88; - 52)	- 83 (- 93; - 63)	- 151 (- 181; - 115)	- 0,01	- 1,97 (- 2,56; - 1,52)	- 2,43 (- 2,73; - 1,84)	- 4,42 (-5,30; -3,37)
65 ou mais	F	- 2	- 108 (- 144; - 82)	- 114 (- 127; - 86)	- 223 (- 273; - 169)	- 0,04	- 2,28 (- 3,03; -1,73)	- 2,4 (- 2,69; - 1,81)	- 4,72 (- 5,76; - 3,58)

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 48 – Cenário E: resultados desagregados por perfil populacional (“anos de vida perdidos”) em relação ao cenário base “A”

Faixa etária	Sexo	YLLs – “anos de vida perdidos”				Impacto no total de YLLs do perfil populacional (%)			
		Sinistros de trânsito	Atividade física (IC 95%)	Poluição do ar - PM2.5 (IC 95%)	Todas as exposições (IC 95%)	Sinistros de trânsito	Atividade física (IC 95%)	Poluição do ar - PM2.5 (IC 95%)	Todas as exposições (IC 95%)
20 a 49	M	- 530,47	- 229,64 (- 283,66; - 180,75)	- 416,04 (- 466,56 - 314,04)	- 1176,15 (- 1280,69; - 1025,26)	- 3,21	- 1,39 (- 1,71; - 1,09)	- 2,51 (- 2,82; -1,90)	- 7,11 (- 7,74; - 6,2)
20 a 49	F	- 216,92	- 234,31 (- 294,13; - 183,54)	- 338,93 (- 380,08; - 255,84)	- 790,15 (- 891,12 - 656,3)	- 1,59	- 1,72 (- 2,16; - 1,35)	- 2,49 (- 2,79; -1,88)	- 5,81 (- 6,55; - 4,82)
50 a 64	M	+ 73,71	- 344,82 (- 431,63; - 270,82)	- 536,41 (- 601,54; - 404,91)	- 807,52 (- 959,46; - 602,02)	+ 0,34	- 1,6 (- 2; -1,26)	- 2,49 (- 2,79; -1,88)	- 3,75 (- 4,46; - 2,80)
50 a 64	F	- 14	- 287,05 (- 370,71 - 221,65)	- 363,01 (- 407,07; - 274,04)	- 664,06 (- 791,78; - 509,68)	- 0,09	- 1,93 (- 2,50; - 1,49)	- 2,45 (- 2,74; -1,85)	- 4,47 (- 5,33; - 3,43)
65 ou mais	M	- 1,37	- 172,11 (- 223,46; - 132,38)	- 212,16 (- 237,92; - 160,16)	- 385,65 (- 462,75; - 293,91)	- 0,02	- 1,97 (- 2,56; - 1,52)	- 2,43 (- 2,73; - 1,84)	- 4,42 (- 5,31; -3,37)
65 ou mais	F	- 6,38	- 179,77 (- 239,14; - 136,2)	- 189,28 (- 212,25; - 142,89)	- 375,43 (- 457,77; - 285,47)	- 0,08	- 2,28 (- 3,03; -1,73)	- 2,4 (- 2,69; - 1,81)	- 4,76 (- 5,8; - 3,62)

Fonte: Elaboração própria.

5.3 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise de sensibilidade pode ser definida como uma estratégia para avaliar alterações nas saídas do modelo – no caso, os desfechos – a partir da variação de alguns parâmetros ou pressupostos internos ao modelo (SZKLO, 2015).

Foram realizadas três análises de sensibilidade para a dissertação. A primeira foi para o módulo “Atividade física” (Tabela 49 e Figura 46), com a substituição do gasto energético total pelo gasto energético semanal no transporte como o dado de entrada para o cálculo do risco relativo. Os resultados mostram que a adoção do gasto energético relacionado ao transporte como dado de entrada superestima os impactos à saúde atribuíveis à atividade física se comparada com o uso do gasto energético total (Figura 46).

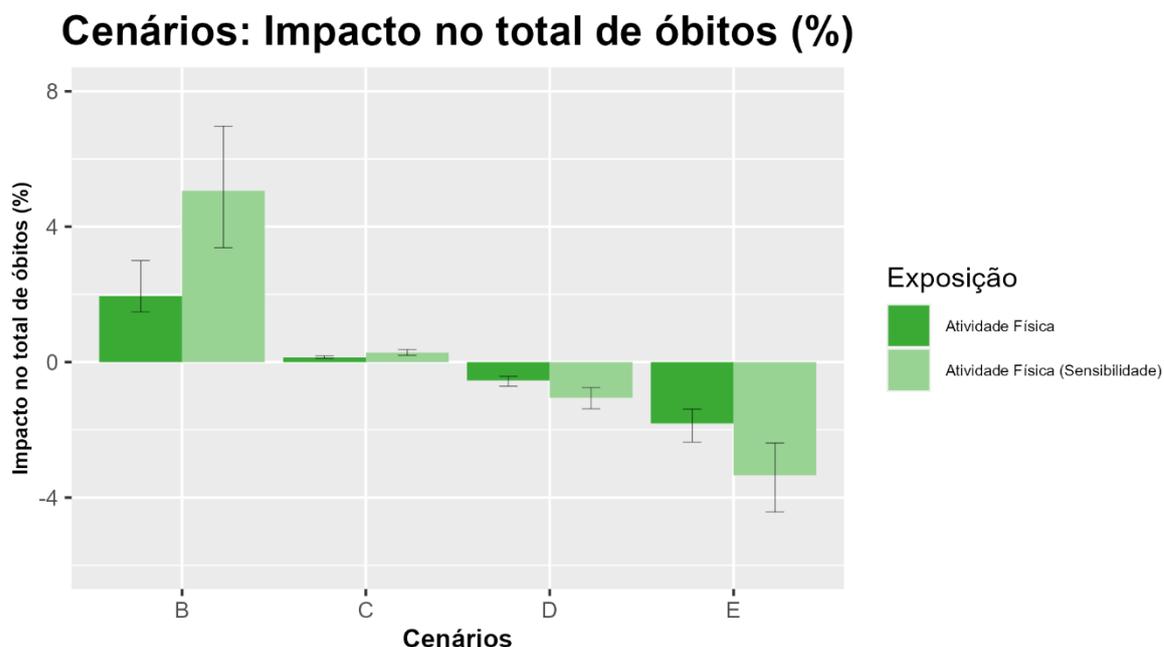
Isto está relacionado ao comportamento não-linear apresentado pela função exposição-resposta de Woodcock et al. (2011), em que a variação entre duas quantidades pequenas de gasto energético semanal gera uma diferença de risco relativo maior – ou seja, a curva está mais vertical – que a mesma variação entre duas quantidades maiores de gasto energético – em que a curva está horizontal.

Tabela 49 – Atividade física: análise de sensibilidade

Cenário	Óbitos	Impacto no total de óbitos de toda a população (%)	YLLs – “anos de vida perdidos”	Impacto no total de YLLs de toda a população (%)
B	+ 619 (+ 414; + 854)	+ 5,06 (+3,38; + 6,97)	+ 5268 (+ 3509; + 7286)	+ 4,25 (+ 2,83; + 5,87)
C	+ 35 (+ 25; + 46)	+ 0,28 (+ 0,20; + 0,37)	+ 295 (+ 211; + 391)	+ 0,24 (+ 0,17; + 0,32)
D	- 128 (-170; - 92)	- 1,05 (- 1,38; - 0,75)	- 1095 (-1454; - 781)	- 0,88 (-1,17; - 0,63)
E	- 410 (- 543; - 293)	- 3,34 (- 4,43; - 2,39)	- 3499 (- 4662; - 2490)	- 2,82 (- 3,76; - 2,01)

Fonte: Elaboração própria.

Figura 46 – Atividade física: resultado da dissertação x análise de sensibilidade



Fonte: Elaboração própria.

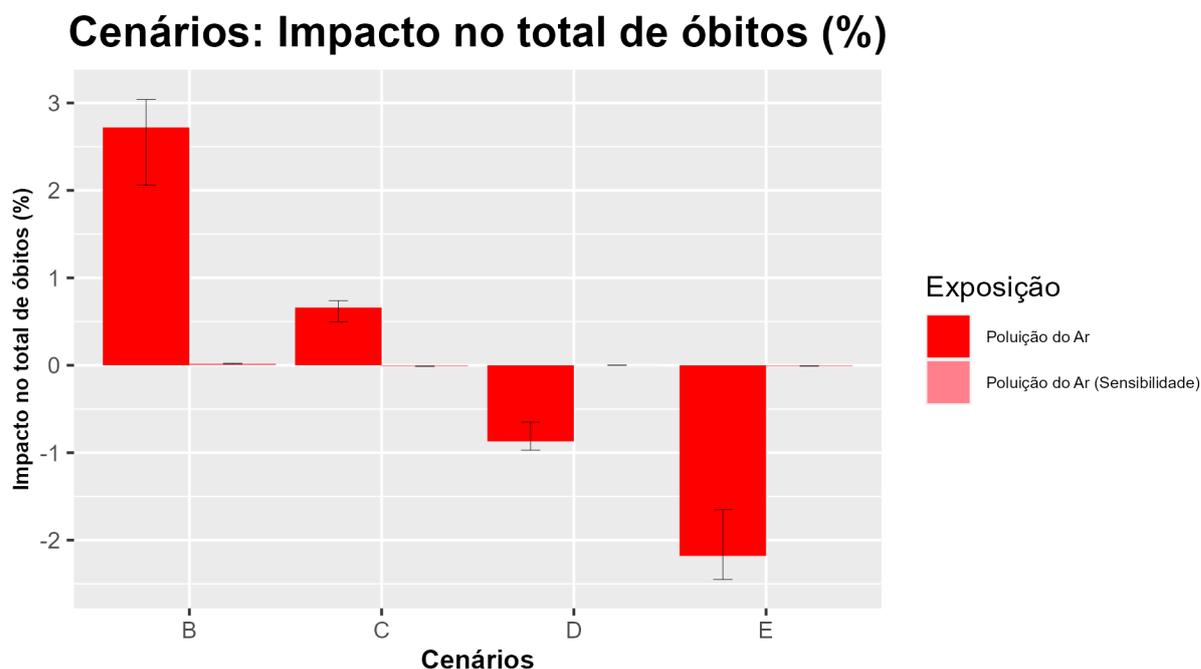
A segunda foi no módulo “Poluição do ar (PM2.5)” (Tabela 50 e Figura 47), com a substituição da concentração média anual de PM2.5 gerada no modelo preliminar 3 “Poluição do ar” – dado de entrada para o cálculo do risco relativo – pela concentração média de PM2.5 geral obtida pelos sensores da Porto Ar Alegre. Houve uma redução considerável no impacto relativo aos óbitos e anos de vida perdidos (Figura 47).

Tabela 50 – Poluição do ar: análise de sensibilidade

Cenário	Óbitos	Impacto no total de óbitos de toda a população (%)	YLLs – “anos de vida perdidos”	Impacto no total de YLLs de toda a população (%)
B	+ 3	+ 0,021	+ 26	+ 0,021
	(+ 2; + 3)	(+ 0,016; + 0,023)	(+ 19; + 29)	(+ 0,016; + 0,023)
C	- 1	- 0,011	- 14	- 0,011
	(- 1; - 2)	(- 0,009; - 0,013)	(- 10; - 15)	(- 0,008; - 0,012)
D	0	+ 0,001	+ 1	+ 0,001
	(0; 0)	(+ 0,001; + 0,001)	(+ 1; + 1)	(+ 0,001; + 0,001)
E	- 1	- 0,01	- 13	- 0,011
	(- 1; - 1)	(- 0,007; - 0,011)	(- 10; - 15)	(- 0,008; - 0,012)

Fonte: Elaboração própria.

Figura 47 – Poluição do ar: resultado da dissertação x análise de sensibilidade



Fonte: Elaboração própria.

O resultado desta análise de sensibilidade explica a redução dos óbitos atribuíveis à poluição do ar nos cenários com maior participação dos modos a pé e bicicleta nos resultados da dissertação, uma diferença em relação ao observado em algumas publicações (CLOCKSTON; ROJAS-RUEDA, 2021; MUELLER, N. *et al.*, 2018; OTERO; NIEUWENHUIJSEN; ROJAS-RUEDA, 2018; ROJAS-RUEDA *et al.*, 2011, 2012, 2016; ZAPATA-DIOMEDI *et al.*, 2017). Esses trabalhos assumiram uma concentração média anual de PM_{2.5} única para todos os cenários (Figura 47), enquanto o modelo utilizado na dissertação adota diferentes concentrações médias anuais de PM_{2.5} estimadas para cada cenário a partir do entendimento de que alterações na participação do transporte motorizado na divisão modal tem impactos nas emissões e na concentração média anual de PM_{2.5}, conforme apresentado no modelo ITHIM (JOHNSON; ABBAS, 2021)

A última é relativa ao indicador “Valor Estatístico da Vida” (VEV), utilizado para estimar os impactos econômicos totais da mortalidade por cenário (Tabela 52) ao multiplicar a variação na quantidade de óbitos atribuíveis por cenário (em números absolutos) pelo Valor Estatístico da Vida.

Para a dissertação, adotou-se o valor para 2018 publicado no relatório anual “SIMOB/ANTP”, igual a **R\$ 2.272.829,77** (ANTP, 2020). Para a análise de sensibilidade, utilizamos outro valor encontrado em uma revisão de literatura de

2022 realizada pelo IPEA: **R\$ 5.679.800** (STIVALI, 2022). Para facilitar a comparação, corrigimos o VEV apresentado por ANTP (2020) para valores de Janeiro de 2022 pelo índice “IGP-M (FGV)” por meio da “Calculadora do Cidadão” do Banco Central do Brasil (BRASIL, sem data), cujo valor resultante foi **R\$ 3.562.585,43**.

Tabela 51 – Valor Estatístico da Vida: análise de sensibilidade

Cenário	ANTP (2018)	ANTP (2018) – corrigido para Janeiro/2022	Stivali (2022)
B	+ 1.297.004.876,45	+ 2.033.012.210,80	+ 3.241.214.275,92
	(+ 986.791.576,35;	(+ 1.546.763.131,47;	(+ 2.465.991.456,70;
	+ 1.678.209.437,67)	+ 2.630.537.742,00)	+ 4.193.844.206,85)
C	+ 233.444.814,91	+ 365.917.019,95	+ 583.378.428,61
	(+ 179.538.648,07;	(+ 281.420.887,83;	(+ 448.666.955,53;
	+ 267.542.176,69)	+ 419.363.505,87)	+ 668.587.711,78)
D	- 419.261.574,74	- 657.178.640,14	- 1.047.734.381,00
	(- 494.424.259,37;	(- 774.993.660,29;	(- 1.235.565.877,15;
	- 325.238.355,36)	- 509.800.356,10)	- 812.770.421,78)
E	- 1.142.020.348,43	- 1.790.079.093,37	- 2.853.908.049,17
	(- 1.368.785.597,01;	(- 2.145.526.114,21;	(- 3.420.594.246,21;
	- 875.677.945,15)	- 1.372.596.192,61)	- 2.188.318.570,31)

Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que o valor absoluto da monetização dos impactos na mortalidade pode estar subestimado devido ao Valor Estatístico da Vida utilizado. Isto exige cautela na interpretação dos resultados monetários, pois existem vários indicadores adotados com grande variação nos valores entre si (STIVALI, 2022).

5.4 CONTRIBUIÇÕES, LIMITAÇÕES E ESCOLHAS DA PESQUISA

A pesquisa contribui para a discussão sobre as relações entre a mobilidade urbana e a saúde humana, pois os resultados são intuitivos e estão de acordo com a literatura, permitindo a reflexão sobre como a mudança nos padrões vigentes pode representar avanços sociais e econômicos para grandes cidades do Sul Global como Porto Alegre. São evidências simples que podem servir de referência para novas

políticas de mobilidade urbana que priorizem a caminhada, a bicicleta e o transporte público e para a adoção da “Saúde em todas as políticas” Urbanas e Regionais.

Outra contribuição é a tradução sistemática de conceitos das Ciências da Saúde como a Epidemiologia para a área de Planejamento Urbano e Regional, de modo a auxiliar no estabelecimento da “Saúde Urbana” como área do conhecimento interdisciplinar e na construção de cidades mais saudáveis.

Esta é a primeira publicação em que são modelados os impactos à saúde de padrões de mobilidade urbana para Porto Alegre e é uma das primeiras realizadas para o contexto brasileiro, pois existe uma aplicação do tipo para São Paulo (SÁ *et al.*, 2017). Existem outras publicações que avaliaram impactos à saúde para a realidade brasileira, contudo elas buscaram entender exposições individuais, como a poluição do ar (ANDREÃO *et al.*, 2020; EL KHOURI MIRAGLIA, 2007; GRECO; BELOVA; HUANG, 2016; LEÃO *et al.*, 2021; TAVELLA *et al.*, 2021; VORMITTAG *et al.*, 2018). Além disso, é possivelmente a primeira publicação que aborda a Avaliação de Impacto à Saúde no Planejamento Urbano e Regional brasileiro.

O trabalho contribui também ao exatamente demonstrar a carência de dados e a necessidade da realização de mais estudos do tipo, a fim de gerar evidências mais robustas e diretamente aplicáveis para o contexto local, uma vez que nenhum país sul-americano institucionalizou a AIS como prática até o presente momento (ABE; MIRAGLIA, 2017; BARBOZA *et al.*, 2022; THONDOO; GUPTA, 2021).

Por outro lado, as limitações do trabalho exigem que os resultados sejam considerados com cautela. A Avaliação de Impacto à Saúde é um método que envolve incerteza, já que nem sempre as evidências epidemiológicas que a estruturam são adequadas para o contexto analisado ou apresentam uma relação causal inquestionável. Além disso, geralmente não há uma validação dos resultados obtidos. Por isso, é tida como uma ferramenta de pesquisa mais indicativa do que empírica (PARRY; STEVENS, 2001).

Neste sentido, a primeira limitação a observar é justamente a necessidade de fazer conjecturas e adotar pressupostos para viabilizar uma modelagem quantitativa que é relativamente complexa. Esse aspecto, próprio da metodologia, se soma à necessidade de estimar vários dos indicadores de entrada, em um contexto de falta de dados oficiais e/ou atualizados, por meio dos chamados “modelos preliminares”.

O primeiro exemplo está no uso de funções exposição-resposta extraídas de pesquisas sobre realidades distintas às de Porto Alegre. Tanto a função para a

poluição do ar por PM2.5 (CHEN; HOEK, 2020) quanto para a atividade física (WOODCOCK *et al.*, 2011) foram extraídas de meta-análises em que a maioria das publicações estudadas são da América do Norte e da Europa (Quadro 1). Devido à inexistência de evidências locais, foi necessário assumir que as funções são diretamente aplicáveis à realidade local.

Outro exemplo é a presunção de distribuição homogênea de alguns parâmetros. Ao construir os cenários do padrão de mobilidade urbana, foi assumido um índice de mobilidade médio para todo o perfil populacional analisado, embora existam assimetrias nessa distribuição (ex.: pessoas imóveis). Além disso, consideramos uma única divisão modal por cenário para todos os perfis populacionais, embora existam evidências de que o comportamento de viagem varia de acordo com o gênero, etnia, renda (MAUCH; TAYLOR, 1997; SILVEIRA *et al.*, 2022; ZANDONADE; MORETTI, 2012). Essas decisões foram tomadas pela indisponibilidade de obter dados da pesquisa origem-destino desagregados no nível do indivíduo.

O mesmo ocorre também para o módulo de atividade física ao assumir um gasto energético médio por nível de atividade física e considerar a mesma prevalência dos níveis de atividade física em 2019 para os cenários de 2032. Além disso, os Equivalentes Metabólicos da Tarefa (METs) utilizados para indicar o gasto energético são simplificações de um fenômeno complexo, pois o gasto metabólico depende de diversos fatores, como o peso (COELHO-RAVAGNANI *et al.*, 2013).

Outro ponto a observar é o escopo. A avaliação focou na população a 20 anos ou mais por ter sido pesquisada pelas referências disponíveis sobre as funções exposição-resposta para a poluição do ar e atividade física. Por isso, é uma limitação da dissertação não considerar as populações mais jovens (0 a 19 anos).

Outra limitação foi o caráter estritamente documental (*desk-based*) da avaliação de impacto à saúde desenvolvida na dissertação, sem a participação direta da população interessada no processo. A situação ideal é aquela em que é possível reunir a maior quantidade e variedade de evidências sobre os impactos à saúde populacional, inclusive por meio de processos participativos (THONDOO *et al.*, 2023).

A monetização dos impactos na mortalidade também precisa ser interpretada com cuidado, pois existem vários indicadores do Valor Estatístico da Vida, com grande variação nos valores entre si (STIVALI, 2022), e a análise de sensibilidade

(Tabela 74) mostrou que os valores apresentados nos cenários podem estar subestimados. Portanto, os resultados não podem ser utilizados como evidência quantitativa direta para políticas urbanas e de transporte, pois são aproximações que apenas indicam a ordem de grandeza e a escala relativa dos impactos.

Também é necessário apontar algumas implicações de escolhas realizadas durante a pesquisa e que não são limitações. Ao optar por uma abordagem “indireta” de Avaliação de Impacto à Saúde, o município foi adotado como unidade de análise. Isto significa que ao modelar os impactos da poluição do ar, assumiu-se que a concentração média anual de PM_{2.5} é igual em todo o município, embora a localização interfira na exposição aos poluentes (BARBOZA *et al.*, 2022; IUNGMAN *et al.*, 2021; KHOMENKO *et al.*, 2020; MUELLER *et al.*, 2017b, 2017a, 2020; MUELLER, Natalie *et al.*, 2018; SINGER *et al.*, 2023). Isto também vale para a distribuição espacial dos impactos na mortalidade.

As exposições analisadas (sinistros de trânsito, atividade física e poluição do ar), embora sejam as mais representativas das relações entre mobilidade urbana e saúde, não são as únicas que provocam impactos (MUELLER *et al.*, 2015, 2017b, 2017a). Também é necessário observar que apesar dos impactos à saúde da atividade física e da poluição do ar terem sido apresentados separadamente na dissertação, existem situações em que podem se sobrepor (MAIZLISH; TOMARI; LONDON, 2019).

O uso dos desfechos “mortalidade por causas naturais” e “mortalidade por sinistros de trânsito” para expressar os impactos à saúde facilita o seu entendimento pelas pessoas que não tem formação nas Ciências da Saúde, como percebido no modelo HEAT (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2021b, 2021a). Contudo, existem outros desfechos que podem ser analisados, como a **mortalidade por causas naturais específicas** – como câncer, diabetes, doenças cardiovasculares, respiratórias, mentais – e principalmente a **morbidade** (ocorrência de casos de doença), que ocorre ao longo da vida e exige maior entendimento sobre questões relacionadas à saúde para o seu estudo (LEBRÃO, 1995).

Quanto aos resultados, um aspecto a atentar é que o resultado é apresentado para um ano (2032) – “se mudar o padrão de mobilidade, vão ocorrer anualmente o equivalente a X óbitos a mais/menos em 2019” – embora as mudanças no padrão de mobilidade ocorram gradualmente (MAIZLISH; TOMARI; LONDON, 2019).

6 CONCLUSÃO

Esta dissertação investigou os impactos de diferentes padrões de mobilidade urbana sobre a mortalidade em Porto Alegre/RS, Brasil. Portanto, o **objetivo** principal de identificar como padrões de mobilidade urbana provocam impacto à saúde populacional em uma cidade do Sul Global foi alcançado. Foi confirmada a hipótese de que o protagonismo do transporte individual motorizado no cotidiano – aqui representado pela participação na divisão modal – está associado à ocorrência de mais óbitos. Deste modo, é possível compreender que a construção de uma cidade que privilegie os modos ativos de transporte (a pé e bicicleta) e o transporte público promove melhores condições de saúde para a população.

A questão de pesquisa foi respondida pelo estudo no capítulo 5, apresentando os impactos à saúde de diversos cenários de divisão modal, expressos por óbitos, “anos de vida perdidos” e custos monetários. Além disso, também foram analisados o impacto à saúde da eletrificação da frota de automóveis e ônibus e a distribuição dos impactos à saúde por perfil populacional.

A pesquisa **contribui** para o conhecimento teórico sobre a dita “saúde urbana” ao trazer a discussão sobre as relações entre mobilidade urbana e saúde para a realidade de uma cidade grande do Sul Global. Além disso, há um esforço sistemático de traduzir conceitos próprios das Ciências da Saúde – especialmente a Epidemiologia – para o seu entendimento por profissionais e pesquisadores de Planejamento Urbano e Regional, podendo servir como referência para o desenvolvimento de políticas de mobilidade urbana que priorizem a caminhada, a bicicleta e o transporte público e para a adoção da “Saúde em todas as políticas” Urbanas e Regionais.

Por outro lado, também demonstrou como modelar os impactos à saúde de padrões de mobilidade urbana para uma cidade do Sul Global é desafiante. A maioria das limitações apresentadas na seção 5.4 tem relação com os dados de entrada, cuja disponibilidade e capacidade de agregação e desagregação são inconstantes no Sul Global, um potencial reflexo da fragmentação vigente nas políticas setoriais. Isto é um indicativo da necessidade de modificar a perspectiva do Planejamento Urbano e Regional na região, pois essa dificuldade praticamente

inexiste no Norte Global, onde a “Saúde em Todas as Políticas” está mais estabelecida e os dados são produzidos a fim de compreender e melhorar as condições de saúde populacional.

Deste modo, uma medida possível é a aproximação entre as disciplinas urbanas e as ciências da saúde. No âmbito teórico, para desenvolver pesquisas interdisciplinares voltadas para a saúde urbana e, com isso, gerar evidências mais robustas e diretamente aplicáveis para o contexto local. Sob a perspectiva prática, para consolidar a promoção de melhores condições de saúde como um objetivo explícito nos produtos do Planejamento Urbano e Regional – Plano Diretor, Plano de Mobilidade e projetos setoriais – ao estabelecer metas com base em evidências científicas relevantes, adotar a Avaliação de Impacto à Saúde como uma metodologia-chave e manter um monitoramento sistemático e contínuo para produzir em conjunto os dados de transporte, exposições e saúde para que sejam compatíveis entre si.

Para os **trabalhos futuros**, pode ser realizada uma nova avaliação de impacto a partir da existência de dados novos para Porto Alegre, uma vez que está prevista a realização de uma nova pesquisa origem-destino e serão publicados os dados do Censo Demográfico 2022. Além disso, a situação de outras cidades e regiões pode ser avaliada a partir do método apresentado, inclusive de modo comparativo. Ao considerar somente o método, são possibilidades futuras a incorporação de populações mais jovens, o uso de evidências que apresentem maior relação com a realidade local, o uso de dados mais desagregados (em escala individual) e, por fim, a inclusão de etapas participativas na modelagem quantitativa, a fim de obter um entendimento mais amplo das relações entre mobilidade urbana e saúde no âmbito local.

REFERÊNCIAS

- ABRAMO, P. A cidade COM-FUSA: a mão inoxidável do mercado e a produção da estrutura urbana nas grandes metrópoles latino-americanas. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 25, 2007. Disponível em: <http://rbeur.anpur.org.br/rbeur/article/view/181>. Acesso em: 13 ago. 2021.
- AINSWORTH, B. E. *et al.* 2011 Compendium of Physical Activities: A Second Update of Codes and MET Values. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [s. l.], v. 43, n. 8, p. 1575–1581, 2011. Disponível em: https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2011/08000/2011_Compendium_of_Physical_Activities__A_Second.25.aspx. Acesso em: 10 set. 2021.
- ALVES, W.; BRANDT, R. Eletrificação da frota no Brasil patina, sem incentivo ou meta | Estádio Mobilidade | Mês da Mobilidade 2022. *Em: ESTADÃO MOBILIDADE*. 29 set. 2021. Disponível em: <https://mobilidade.estadao.com.br/inovacao/eletrificacao-da-frota-no-brasil-patina-sem-incentivo-ou-meta/>. Acesso em: 15 maio 2023.
- ANDREÃO, W. L. *et al.* Quantifying the impact of particle matter on mortality and hospitalizations in four Brazilian metropolitan areas. **Journal of environmental management**, England, v. 270, p. 110840, 2020.
- ANTP. **Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da Associação Nacional de Transportes Públicos - SIMOB/ANTP: Relatório geral 2018**. [S. l.]: Associação Nacional de Transportes Públicos, 2020. Disponível em: <http://files.antp.org.br/simob/sistema-de-informacoes-da-mobilidade--simob--2018.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2022.
- ARAÚJO, J. D. de. Polarização epidemiológica no Brasil. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, [s. l.], v. 21, n. 4, p. 533–538, 2012. Disponível em: http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1679-49742012000400002&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 15 maio 2022.
- ASSUNÇÃO, G.; HIDALGO, L.; BRAGA, D. **PNSIBGE: Downloading, Reading and Analyzing PNS Microdata**. , 2023. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/PNSIBGE/index.html>. Acesso em: 13 maio 2023.
- AZAMBUJA, M. I. R. *et al.* Saúde urbana, ambiente e desigualdades. **Revista Brasileira de Medicina de Família e Comunidade**, [s. l.], v. 6, n. 19, p. 110–115, 2011. Disponível em: <https://rbmfc.org.br/rbmfc/article/view/151>. Acesso em: 12 ago. 2021.
- BARBOZA, E. P. *et al.* The impact of urban environmental exposures on health: An assessment of the attributable mortality burden in Sao Paulo city, Brazil. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 831, p. 154836, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722019295>. Acesso em: 13 maio 2022.
- BAUMAN, A. *et al.* The International Prevalence Study on Physical Activity: results from 20 countries. **International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 21, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1479-5868-6-21>. Acesso em: 11 set. 2021.
- BAZZO, J. *et al.* **Gtfs2emis: Estimating Public Transport Emissions from General Transit Feed Specification (GTFS) Data**. , 2022. Disponível em: <https://cran.rstudio.com/web/packages/gtfs2emis/index.html>. Acesso em: 15 maio 2023.

- BENEDET, R. *et al.* (org.). **O desafio da mobilidade urbana**. Brasília: Centro de Documentação e Informação : Edições Câmara, 2015. (Série Estudos estratégicos, v. n. 7).
- BERGLUND, B. *et al.* **Guidelines for community noise**. [S. l.]: World Health Organization, 1999. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/66217>. Acesso em: 13 maio 2023.
- BRASIL. **Avaliação de Impacto à Saúde – AIS: metodologia adaptada para aplicação no Brasil**. [S. l.: s. n.], 2014. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/avaliacao_impacto_saude_ais_metodologia.pdf. Acesso em: 24 nov. 2021.
- BRASIL. **BCB - Calculadora do cidadão**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAO/publico/exibirFormCorrecaoValores.do?method=exibirFormCorrecaoValores>. Acesso em: 16 maio 2023.
- BRASIL. **Diretrizes e recomendações para o cuidado integral de doenças crônicas não-transmissíveis: promoção da saúde, vigilância, prevenção e assistência**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde: Secretaria de Atenção à Saúde, 2008.
- BRASIL. **Guia de Atividade Física para a População Brasileira**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2021. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_atividade_fisica_populacao_brasileira.pdf. Acesso em: 13 maio 2023.
- BRASIL. **LEI Nº 12.587, DE 3 DE JANEIRO DE 2012**. 3 jan. 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm. Acesso em: 21 set. 2021.
- BRASIL. **Política nacional de mobilidade urbana sustentável: Caderno MCidades**. [S. l.: s. n.], 2004. Disponível em: <http://www.ta.org.br/site2/Banco/7manuais/6PoliticaNacionalMobilidadeUrbanaSustentavel.pdf>. Acesso em: 28 set. 2020.
- BRASIL. **Vigitel - Plataforma Integrada de Vigilância em Saúde**. [S. l.], 2022a. Disponível em: <http://plataforma.saude.gov.br/vigitel/>. Acesso em: 27 maio 2022.
- BRASIL. **VIGITEL BRASIL 2021 - ESTIMATIVAS SOBRE FREQUÊNCIA E DISTRIBUIÇÃO SOCIODEMOGRÁFICA DE FATORES DE RISCO E PROTEÇÃO PARA DOENÇAS CRÔNICAS**. [S. l.: s. n.], 2022b. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/publicacoes-svs/vigitel/vigitel-brasil-2021-estimativas-sobre-frequencia-e-distribuicao-sociodemografica-de-fatores-de-risco-e-protecao-para-doencas-cronicas/view>. Acesso em: 7 jul. 2022.
- CAIAFFA, W. T. *et al.* Saúde urbana: “a cidade é uma estranha senhora, que hoje sorri e amanhã te devora”. **Ciência & Saúde Coletiva**, [s. l.], v. 13, p. 1785–1796, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/csc/a/srRHtBYkS37HxvW64pyGXPD/?lang=pt>. Acesso em: 2 ago. 2022.
- CALEL, R. Carbon markets: a historical overview. **WIREs Climate Change**, [s. l.], v. 4, n. 2, p. 107–119, 2013. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/wcc.208>. Acesso em: 13 maio 2023.
- CAMPOS, H. Á.; RORATO, G. Z.; BERNARDI, M. P. Policentralidade na Região Metropolitana de Porto Alegre - RMPA/RS: estudo a partir das áreas urbanas funcionais. *Em*: MOURA, R.; FREITAS-FIRKOWSKI, O. L. C. de (org.). **Espaços Metropolitanos: processos, configurações, metodologias e perspectivas emergentes**. 1. ed. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2021. p. 165–193. *E-book*.

- Disponível em: <https://www.observatoriodasmetropoles.net.br/espacos-metropolitanos-processos-configuracoes-metodologias-e-perspectivas-emergentes/>. Acesso em: 1 out. 2021.
- CHEN, J.; HOEK, G. Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis. **Environment International**, [s. l.], v. 143, p. 105974, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412020319292>. Acesso em: 26 nov. 2021.
- CHOAY, F. **O urbanismo: utopias e realidades: uma antologia**. 7. ed. São Paulo: Perspectiva, 2013. (Estudos, v. 67).
- CIRQUEIRA, S. S. R. *et al.* Heterogeneous impacts of mobility restrictions on air quality in the State of Sao Paulo during the COVID-19 pandemic. **Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)**, England, v. 300, p. 118984, 2022.
- CLOCKSTON, R. L. M.; ROJAS-RUEDA, D. Health impacts of bike-sharing systems in the U.S. **Environmental Research**, Netherlands, v. 202, p. 111709, 2021. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85110665361&doi=10.1016%2fj.envres.2021.111709&partnerID=40&md5=d80f37fdaf7078a08449d6bbe9033892>.
- COELHO-RAVAGNANI, C. de F. *et al.* Estimativa do equivalente metabólico (MET) de um protocolo de exercícios físicos baseada na calorimetria indireta. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, [s. l.], v. 19, p. 134–138, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/rbme/a/XcgtywszrVrrPZ8BGsCd4CM/?lang=pt>. Acesso em: 4 jul. 2022.
- DALBEM, M. C.; BRANDÃO, L.; MACEDO-SOARES, T. D. L. van A. de. Avaliação econômica de projetos de transporte: melhores práticas e recomendações para o Brasil. **Revista de Administração Pública**, [s. l.], v. 44, p. 87–117, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/rap/a/yF43MsdTRzsXBSP646LwK5h/?lang=pt>. Acesso em: 26 nov. 2021.
- DE NAZELLE, A.; BODE, O.; ORJUELA, J. P. Comparison of air pollution exposures in active vs. passive travel modes in European cities: A quantitative review. **Environment International**, [s. l.], v. 99, p. 151–160, 2017. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85009517893&doi=10.1016%2fj.envint.2016.12.023&partnerID=40&md5=99c776974913e310f0568255e76c85c8>.
- DELOITTE. **Deloitte City Mobility Index 2020: Los Angeles**: Deloitte Insights. Londres: Deloitte LLP, 2020. Disponível em: https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4331_Deloitte-City-Mobility-Index/LosAngeles_GlobalCityMobility_WEB.pdf. Acesso em: 7 jul. 2022.
- DUMITH, S. C. *et al.* Atividade física para crianças e jovens: Guia de Atividade Física para a População Brasileira. **Revista Brasileira de Atividade Física & Saúde**, [s. l.], v. 26, p. 1–9, 2021. Disponível em: <https://rbafs.org.br/RBAFS/article/view/14567>. Acesso em: 30 abr. 2023.
- EL KHOURI MIRAGLIA, S. G. Health, environmental, and economic costs from the use of a stabilized diesel/ethanol mixture in the city of Sao Paulo, Brazil. **CADERNOS DE SAUDE PUBLICA**, [s. l.], v. 23, p. S559–S569, 2007.
- EPTC. **Acidentes de Trânsito | transparência**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://eptctransparente.com.br/acidentesgeral>. Acesso em: 17 maio 2023.
- EPTC. Modal Ciclovitário. **Transporte em números: indicadores anuais do transporte público**, [s. l.], n. 5, p. 6, 2012. Disponível em:

http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/eptc/usu_doc/revista_cicloviario.pdf. Acesso em: 7 mar. 2022.

EPTC. Modal Lotação. **Transporte em números: indicadores anuais do transporte público**, [s. l.], n. 6, p. 10, 2016a. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/eptc/usu_doc/3.lotacao.pdf. Acesso em: 7 mar. 2022.

EPTC. Modal Ônibus. **Transporte em números: indicadores anuais do transporte público**, [s. l.], n. 6, p. 36, 2016b. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/eptc/usu_doc/capitulo_onibus_17jan2016.pdf. Acesso em: 7 mar. 2022.

EPTC. **Pesquisa de Origem e Destino de Porto Alegre: EDOM, Linha de Contorno, Aferição 2003**. Porto Alegre: [s. n.], 2004a. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/eptc/usu_doc/relatorio_edom_2003.pdf. Acesso em: 7 mar. 2022.

EPTC. **Pesquisa de Origem e Destino de Porto Alegre: matrizes origem-destino (tabelas)**. Porto Alegre: [s. n.], 2004b.

EPTC. **Resumo de passageiros transportados por mês/ano**. Porto Alegre: Empresa Pública de Transporte e Circulação (EPTC): Coordenação de Indicadores e Estatísticas de Trânsito e Transporte, 2022. Disponível em: Acesso em: 30 mar. 2022.

EWING, R.; CERVERO, R. Travel and the Built Environment. [s. l.], p. 28, 2001.

EWING, R.; CERVERO, R. Travel and the Built Environment: A Meta-Analysis. **Journal of the American Planning Association**, [s. l.], v. 76, n. 3, p. 265–294, 2010. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01944361003766766>. Acesso em: 26 ago. 2021.

FABIANI, J.-N.; BERCOVICI, P. **A incrível história da medicina**. Tradução: Julia da Rosa Simões. 2. ed. Porto Alegre: L&M, 2022.

FANKHAUSER, S. *et al.* The meaning of net zero and how to get it right. **Nature Climate Change**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 15–21, 2022. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41558-021-01245-w>. Acesso em: 13 maio 2023.

FERRARI, T. K. *et al.* Estimativa do valor da vida estatística e do valor da economia de tempo em viagens nas rodovias brasileiras com a utilização de pesquisa de preferência declarada. <http://www.ipea.gov.br>, [s. l.], 2019. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/9589>. Acesso em: 12 jul. 2022.

FIALHO, D. M. Uma leitura sensível da cidade: a cartografia urbana. **Nuevo Mundo Nuevos**, [s. l.], 2007. Disponível em: <https://journals.openedition.org/nuevomundo/3698?lang=pt>. Acesso em: 8 jul. 2022.

FIOCRUZ. Cálculo dos Indicadores – Módulo P 2019 – Prática de Atividade Física – PNS. *Em*: 2021. Disponível em: <https://www.pns.icict.fiocruz.br/calculo-dos-indicadores-modulo-p-2019-pratica-de-atividade-fisica/>. Acesso em: 13 maio 2023.

FRANK, L. D.; ANDRESEN, M. A.; SCHMID, T. L. Obesity relationships with community design, physical activity, and time spent in cars. **American Journal of Preventive Medicine**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 87–96, 2004. Disponível em: [https://www.ajpmonline.org/article/S0749-3797\(04\)00087-X/fulltext](https://www.ajpmonline.org/article/S0749-3797(04)00087-X/fulltext). Acesso em: 7 jul. 2022.

FYHRI, A. *et al.* Safety in numbers for cyclists—conclusions from a multidisciplinary study of seasonal change in interplay and conflicts. **Accident Analysis & Prevention**, [s. l.], v. 105, Improving cyclist safety through scientific research, ICSC2015., p. 124–133, 2017. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457516301555>. Acesso em: 15 maio 2023.

GABER, J.; KAPUR, S. Health Impact Assessments in India: Exploring a Possible Community Health Policy Innovation. **Indian Journal of Public Health Research & Development**, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 276–280, 2014. Disponível em: <https://www.isholar.in/index.php/ijphrd/article/view/52879>. Acesso em: 13 maio 2023.

GARCIA, L. *et al.* Health impacts of changes in travel patterns in Greater Accra Metropolitan Area, Ghana. **Environment International**, [s. l.], v. 155, p. 106680, 2021. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85108085369&doi=10.1016%2fj.envint.2021.106680&partnerID=40&md5=c3d4921d6ff2360b3344ec4707135a3b>.

GARCIA, L. *et al.* Non-occupational physical activity and risk of cardiovascular disease, cancer and mortality outcomes: a dose–response meta-analysis of large prospective studies. **British Journal of Sports Medicine**, [s. l.], 2023. Disponível em: <https://bjsm.bmj.com/content/early/2023/01/23/bjsports-2022-105669>. Acesso em: 3 mar. 2023.

GASCON, M. *et al.* Residential green spaces and mortality: A systematic review. **Environment International**, [s. l.], v. 86, p. 60–67, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412015300799>. Acesso em: 19 set. 2021.

GASPARRINI, A. *et al.* Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. **The Lancet**, [s. l.], v. 386, n. 9991, p. 369–375, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140673614621140>. Acesso em: 25 out. 2021.

GRECO, S. L.; BELOVA, A.; HUANG, J. Benefits of Decreased Mortality Risk from Reductions in Primary Mobile Source Fine Particulate Matter: A Limited Data Approach for Urban Areas Worldwide. **Risk analysis : an official publication of the Society for Risk Analysis**, United States, v. 36, n. 9, p. 1783–1802, 2016.

GUO, Y. *et al.* Global variation in the effects of ambient temperature on mortality: a systematic evaluation. **Epidemiology (Cambridge, Mass.)**, [s. l.], v. 25, n. 6, p. 781–789, 2014.

HALONEN, J. I. *et al.* Road traffic noise is associated with increased cardiovascular morbidity and mortality and all-cause mortality in London. **European Heart Journal**, [s. l.], v. 36, n. 39, p. 2653–2661, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehv216>. Acesso em: 19 set. 2021.

HARRIS, P. *et al.* **Health Impact Assessment: A Practical Guide**. Sydney: Centre for Health Equity Training, Research and Evaluation (CHETRE). Part of the UNSW Research Centre for Primary Health Care and Equity, UNSW., 2007. Disponível em: https://hiaconnect.edu.au/wp-content/uploads/2012/05/Health_Impact_Assessment_A_Practical_Guide.pdf.

HÉRITIER, H. *et al.* Transportation noise exposure and cardiovascular mortality: a nationwide cohort study from Switzerland. **European Journal of Epidemiology**, [s. l.], v. 32, n. 4, p. 307–315, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10654-017-0234-2>. Acesso em: 14 out. 2021.

HICKEL, J. Quantifying national responsibility for climate breakdown: an equality-based attribution approach for carbon dioxide emissions in excess of the planetary boundary. **The Lancet Planetary Health**, [s. l.], v. 4, n. 9, p. e399–e404, 2020. Disponível em: [https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196\(20\)30196-0/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196(20)30196-0/fulltext). Acesso em: 30 abr. 2023.

IBGE. **Arranjos populacionais e concentrações urbanas no Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. *E-book*. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv99700.pdf>. Acesso em: 27 set. 2021.

IBGE. **ESTIMATIVAS DA POPULAÇÃO RESIDENTE NO BRASIL E UNIDADES DA FEDERAÇÃO COM DATA DE REFERÊNCIA EM 1º DE JULHO DE 2021**. IBGE, 2021. Disponível em: https://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2021/estimativa_dou_2021.pdf. Acesso em: 30 out. 2021.

IBGE. **IBGE divulga estimativa da população dos municípios para 2020**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/28668-ibge-divulga-estimativa-da-populacao-dos-municipios-para-2020>. Acesso em: 28 out. 2020.

IBGE. **Tabela 200: População residente, por sexo, situação e grupos de idade - Amostra - Características Gerais da População**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/200#notas-tabela>. Acesso em: 7 jul. 2022.

ITDP. **Mobilidados | Base de dados**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: https://mobilidados.org.br/database?category_slug=dados-brutos-e-indicadores. Acesso em: 5 mar. 2022.

IUNGMAN, T. *et al.* Cooling cities through urban green infrastructure: a health impact assessment of European cities. **The Lancet**, [s. l.], v. 401, n. 10376, p. 577–589, 2023. Disponível em: [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(22\)02585-5/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(22)02585-5/fulltext). Acesso em: 13 maio 2023.

IUNGMAN, T. *et al.* The impact of urban and transport planning on health: Assessment of the attributable mortality burden in Madrid and Barcelona and its distribution by socioeconomic status. **Environmental Research**, [s. l.], v. 196, p. 110988, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0013935121002826>. Acesso em: 6 ago. 2021.

JACOBSEN, P. L. Safety in numbers: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling. **Injury Prevention**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 205–209, 2003. Disponível em: <https://injuryprevention.bmj.com/content/9/3/205>. Acesso em: 15 maio 2023.

JOFFE, M.; MINDELL, J. A framework for the evidence base to support Health Impact Assessment. **Journal of Epidemiology & Community Health**, [s. l.], v. 56, n. 2, p. 132–138, 2002. Disponível em: <https://jech.bmj.com/content/56/2/132>. Acesso em: 14 out. 2021.

JOHNSON, S. **O mapa fantasma**. [S. l.]: Jorge Zahar Editor, 2010. *E-book*. Disponível em: <http://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=3233705>. Acesso em: 1 ago. 2022.

JOHNSON, R.; ABBAS, A. **Ithimr: Integrated Transport and Health Impact Model**. Integrated Transport and Health Impacts Model, 2021. Disponível em: <https://github.com/ITHIM/ITHIM-R>. Acesso em: 29 abr. 2023. RHTML

JONES, T. *et al.* Healthy Urban Mobility: Summary of Key Findings and Recommendations. **Healthy Urban Mobility: Summary of Key Findings and Recommendations**, [s. l.], p. 44, 2019. Disponível em: www.hum-mus.org.

KHEIRBEK, I. *et al.* The contribution of motor vehicle emissions to ambient fine particulate matter public health impacts in New York City: A health burden assessment. **Environmental Health: A Global Access Science Source**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 89, 2016. Disponível em:

- <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84984600039&doi=10.1186%2fs12940-016-0172-6&partnerID=40&md5=7cd5af56f6ade446a94744aacd643b55>.
- KHOMENKO, S. *et al.* Is a liveable city a healthy city? Health impacts of urban and transport planning in Vienna, Austria. **Environmental Research**, [s. l.], v. 183, p. 109238, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935120301304>. Acesso em: 6 ago. 2021.
- KIM, J.; HAIGH, F. A. HIA and EIA are different, but maybe not in the way we thought they were: A bibliometric analysis. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 18, n. 17, 2021. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85113761946&doi=10.3390%2fijerph18179101&partnerID=40&md5=d1d2730b58e27114f05ed2e941248097>.
- KIM, E.; MUENNIG, P.; ROSEN, Z. Vision zero: a toolkit for road safety in the modern era. **Injury Epidemiology**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 1, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40621-016-0098-z>. Acesso em: 30 abr. 2023.
- KRIEGER, N. *et al.* Assessing health impact assessment: multidisciplinary and international perspectives. **Journal of Epidemiology & Community Health**, [s. l.], v. 57, n. 9, p. 659–662, 2003. Disponível em: <https://jech.bmj.com/content/57/9/659>. Acesso em: 13 maio 2023.
- LE CORBUSIER. **Por uma arquitetura**. 7. ed. São Paulo: Editora Perspectiva, 2013.
- LEÃO, M. L. P. *et al.* Health impact assessment of air pollutants during the COVID-19 pandemic in a Brazilian metropolis. **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], v. 28, n. 31, p. 41843–41850, 2021. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85103380155&doi=10.1007%2fs11356-021-13650-x&partnerID=40&md5=c7ca8a301ce695dd4803293487f8a2f4>.
- LEBRÃO, M. L. Estudos de morbidade: usos e limites. **Saúde e Sociedade**, [s. l.], v. 4, p. 51–57, 1995. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/sausoc/a/sFDrxFdzPB7pmKXGCczCHyN/?lang=pt>. Acesso em: 17 maio 2023.
- LEE, T. A.; PICKARD, A. S. **Exposure Definition and Measurement**. [S. l.]: Agency for Healthcare Research and Quality (US), 2013. *E-book*. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK126191/>. Acesso em: 16 maio 2022.
- LEITE, M. M. Análise comparativa dos sistemas de avaliação de impacto ambiental. *Em*: LIRA, W. S.; CÂNDIDO, G. A. (org.). **Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa**. [S. l.]: EDUEPB, 2013. *E-book*. Disponível em: <http://books.scielo.org/id/bxj5n>. Acesso em: 1 ago. 2022.
- LUMLEY, T. **Survey: Analysis of Complex Survey Samples**. , 2023. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/survey/index.html>. Acesso em: 13 maio 2023.
- MACHADO, N. Eletrificação brasileira deve avançar em nichos. *Em*: AGÊNCIA EPBR. 2 fev. 2023. Disponível em: <https://epbr.com.br/eletrificacao-brasileira-deve-avancar-em-nichos/>. Acesso em: 15 maio 2023.
- MACHADO, N. Onde está o Brasil na rota da eletrificação? *Em*: AGÊNCIA EPBR. 3 jun. 2022. Disponível em: <https://epbr.com.br/onde-esta-o-brasil-na-rota-da-eletrificacao/>. Acesso em: 15 maio 2023.

- MAIZLISH, N. *et al.* Health cobenefits and transportation-related reductions in greenhouse gas emissions in the San Francisco Bay area. **American Journal of Public Health**, [s. l.], v. 103, n. 4, p. 703–709, 2013.
- MAIZLISH, N.; TOMARI, K.; LONDON, J. **ITHIM California - User's Guide and Technical Manual**. , 2019. Disponível em: https://skylab.cdph.ca.gov/HealthyMobilityOptionTool-ITHIM/_w_fa6527de/ITHIM_manual.pdf. Acesso em: 28 mar. 2022.
- MARICATO, E. A cidade e o automóvel. **Ciência & Ambiente**, [s. l.], v. 37, p. 5–12, 2008. Disponível em: <https://erminiamaricato.files.wordpress.com/2012/09/revista-ciencia-e-ambiente.pdf>. Acesso em: 8 jul. 2022.
- MASTROMAURO, G. C. Alguns aspectos da saúde pública e do urbanismo higienista em São Paulo no final do século XIX. **Cadernos de História da Ciência**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 45–63, 2010. Disponível em: <https://periodicos.saude.sp.gov.br/index.php/cadernos/article/view/35799>. Acesso em: 31 jul. 2022.
- MAUCH, M.; TAYLOR, B. D. Gender, Race, and Travel Behavior: Analysis of Household-Serving Travel and Commuting in San Francisco Bay Area. **Transportation Research Record**, [s. l.], v. 1607, n. 1, p. 147–153, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.3141/1607-20>. Acesso em: 17 maio 2023.
- MCDUFFIE, E. E. *et al.* Source sector and fuel contributions to ambient PM_{2.5} and attributable mortality across multiple spatial scales. **Nature Communications**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 3594, 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-021-23853-y>. Acesso em: 13 maio 2023.
- MIRAGAYA, F. **Estado civil, filhos e outros fatores que influenciam o valor do seguro**. [S. l.], 2014. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/economia/carros/estado-civil-filhos-outros-fatores-que-influenciam-valor-do-seguro-13500241>. Acesso em: 17 maio 2023.
- MIRAGLIA, S. G. E. K.; SALDIVA, P. H. N.; BÖHM, G. M. An evaluation of air pollution health impacts and costs in São Paulo, Brazil. **Environmental Management**, [s. l.], v. 35, n. 5, p. 667–676, 2005. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-21244439211&doi=10.1007%2fs00267-004-0042-9&partnerID=40&md5=2b4e46e7b7c57ca381fd0b57d0a21513>.
- MUELLER, N. *et al.* Changing the urban design of cities for health: The superblock model. **Environment International**, Netherlands, v. 134, p. 105132, 2020. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85075974527&doi=10.1016%2fj.envint.2019.105132&partnerID=40&md5=94c6a0480177c88e0cbc1eabee7b2c3c>.
- MUELLER, N. *et al.* Health impact assessment of active transportation: A systematic review. **Preventive Medicine**, [s. l.], v. 76, p. 103–114, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0091743515001164>. Acesso em: 7 jul. 2022.
- MUELLER, N. *et al.* Health impact assessment of cycling network expansions in European cities. **Preventive Medicine**, United States, v. 109, p. 62–70, 2018. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85041406448&doi=10.1016%2fj.yjmed.2017.12.011&partnerID=40&md5=063a2796627059b37bf24ad5a3a76cc0>.
- MUELLER, N. *et al.* Health impacts related to urban and transport planning: A burden of disease assessment. **Environment International**, Oxford, v. 107, p. 243–257, 2017a. Disponível em:

<https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/0ae4b968-9bd6-4272-80f6-0df9a524a284-03651d38/relevance/1>. Acesso em: 6 ago. 2021.

MUELLER, Natalie *et al.* Socioeconomic inequalities in urban and transport planning related exposures and mortality: A health impact assessment study for Bradford, UK. **Environment International**, Oxford, v. 121, p. 931–941, 2018. Disponível em: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/0ae4b968-9bd6-4272-80f6-0df9a524a284-03651d38/relevance/1>. Acesso em: 6 ago. 2021.

MUELLER, N. *et al.* Urban and Transport Planning Related Exposures and Mortality: A Health Impact Assessment for Cities. **Environmental Health Perspectives**, Res Triangle Pk, v. 125, n. 1, p. 89–96, 2017b. Disponível em: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/0ae4b968-9bd6-4272-80f6-0df9a524a284-03651d38/relevance/1>. Acesso em: 6 ago. 2021.

MUMFORD, L. **A cidade na história: suas origens, transformações e perspectivas**. 4. eded. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

MURRAY, C. J. *et al.* Comparative quantification of health risks: Conceptual framework and methodological issues. **Population Health Metrics**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 1, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1478-7954-1-1>. Acesso em: 14 out. 2021.

MURRAY, C. J. L. *et al.* Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. **The Lancet**, [s. l.], v. 396, n. 10258, p. 1223–1249, 2020. Disponível em: [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(20\)30752-2/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(20)30752-2/fulltext). Acesso em: 30 abr. 2023.

NIEUWENHUIJSEN, M. *et al.* The role of health impact assessment for shaping policies and making cities healthier. *Em: INTEGRATING HUMAN HEALTH INTO URBAN AND TRANSPORT PLANNING: A FRAMEWORK*. [S. l.: s. n.], 2018. p. 609–624. *E-book*. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85063117246&doi=10.1007%2f978-3-319-74983-9_29&partnerID=40&md5=6d1cd71b1b24ad123c4dc0ea705b5371.

NIEUWENHUIJSEN, M. J. Urban and transport planning, environmental exposures and health-new concepts, methods and tools to improve health in cities. **Environmental Health: A Global Access Science Source**, [s. l.], v. 15, n. Suppl 1, p. 38, 2016. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84995695122&doi=10.1186%2fs12940-016-0108-1&partnerID=40&md5=7d0729c543b561c1f10c130d437a6b94>.

NIEUWENHUIJSEN, M. J. Urban and transport planning pathways to carbon neutral, liveable and healthy cities; A review of the current evidence. **Environment International**, Netherlands, v. 140, p. 105661, 2020. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85085683193&doi=10.1016%2fj.envint.2020.105661&partnerID=40&md5=32be6c82d8b4bf021f499023dbb99c9a>.

NIEUWENHUIJSEN, M.; KHREIS, H. Urban and Transport Planning, Environment and Health. *Em: NIEUWENHUIJSEN, M.; KHREIS, H. (org.). Integrating Human Health into Urban and Transport Planning: A Framework*. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 3–16. *E-book*. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-74983-9_1. Acesso em: 6 jul. 2022.

OLIVEIRA, M. A. de C.; EGRY, E. Y. A historicidade das teorias interpretativas do processo saúde-doença. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, [s. l.], v. 34, p. 9–15, 2000. Disponível em:

<http://www.scielo.br/j/reeusp/a/9pCLGTRV9LMh9TN7tVmcKgb/?lang=pt>. Acesso em: 2 ago. 2022.

OLYMPIO, K. P. K. *et al.* O expossoma humano desvendando o impacto do ambiente sobre a saúde: promessa ou realidade?. **Revista de Saúde Pública**, [s. l.], v. 53, p. 6, 2019. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/rsp/a/BR4hScpkgcHKRh8mqZx3r8b/?lang=pt>. Acesso em: 29 abr. 2023.

OMRAN, A. R. The epidemiologic transition. A theory of the epidemiology of population change. **The Milbank Memorial Fund Quarterly**, [s. l.], v. 49, n. 4, p. 509–538, 1971.

ONU BRASIL. **Década de Ação pela Segurança no Trânsito 2011-2020 é lançada oficialmente hoje (11) em todo o mundo | As Nações Unidas no Brasil**. [S. l.], 2011. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/56643-d%C3%A9cada-de-a%C3%A7%C3%A3o-pela-seguran%C3%A7a-no-tr%C3%A2nsito-2011-2020-%C3%A9-lan%C3%A7ada-oficialmente-hoje-11-em-todo-o>, <https://brasil.un.org/pt-br/56643-d%C3%A9cada-de-a%C3%A7%C3%A3o-pela-seguran%C3%A7a-no-tr%C3%A2nsito-2011-2020-%C3%A9-lan%C3%A7ada-oficialmente-hoje-11-em-todo-o>. Acesso em: 30 abr. 2023.

OPAS/OMS. **OMS lança Década de Ação pela Segurança no Trânsito 2021-2030 - OPAS/OMS | Organização Pan-Americana da Saúde**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/noticias/28-10-2021-oms-lanca-decada-acao-pela-seguranca-no-transito-2021-2030>. Acesso em: 30 abr. 2023.

OTERO, I.; NIEUWENHUIJSEN, M. J.; ROJAS-RUEDA, D. Health impacts of bike sharing systems in Europe. **Environment International**, Netherlands, v. 115, p. 387–394, 2018. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85045447585&doi=10.1016%2fj.envint.2018.04.014&partnerID=40&md5=33b014d225a8ccec165d5e458e1f1329>.

PAGE, M. J. *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, [s. l.], v. 372, p. 71, 2021. Disponível em: <https://www.bmj.com/content/372/bmj.n71>. Acesso em: 7 jul. 2022.

PARRY, J.; STEVENS, A. Prospective health impact assessment: pitfalls, problems, and possible ways forward. **BMJ**, [s. l.], v. 323, n. 7322, p. 1177–1182, 2001. Disponível em: <https://www.bmj.com/content/323/7322/1177>. Acesso em: 11 jul. 2022.

PEREIRA, R. H. M. *et al.* Desigualdades socioespaciais de acesso a oportunidades nas cidades brasileiras – 2019. <http://www.ipea.gov.br>, [s. l.], 2020. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/9586>. Acesso em: 2 ago. 2022.

PEREIRA, C.; HACON, S. A avaliação de impacto à saúde como campo de saber. **Saúde e Sociedade**, [s. l.], v. 26, p. 829–835, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/sausoc/a/xR8c4ZxmJR4pVmyvzPZPmDy/?lang=pt>. Acesso em: 7 jul. 2022.

PORTO ALEGRE. **Acesso Público aos dados sobre Nascimentos e Óbitos de Porto Alegre**. [S. l.], 2021. Disponível em: http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cgvs/default.php?p_secao=2444. Acesso em: 13 jan. 2022.

PORTO ALEGRE. **Diagnóstico da Mobilidade no município de Porto Alegre e sua interface metropolitana**: Plano de Mobilidade de Porto Alegre (MobiliPOA). Porto Alegre: Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 2018a. Disponível em: https://prefeitura.poa.br/sites/default/files/usu_doc/projetos/smim/Plano%20de%20M

obilidade%20Urbana/4_Diagnostico_da_Mobilidade_versao_atualizada.pdf. Acesso em: 7 mar. 2022.

PORTO ALEGRE. **Expectativa de Vida do Porto Alegrense é de 76,42 anos.** [S. l.], 2015. Disponível em: http://observapoa.com.br/default.php?reg=411&p_secao=17. Acesso em: 13 maio 2023.

PORTO ALEGRE. **GTFS - Dados Abertos - POA.** [S. l.], 2019a. Disponível em: <https://dadosabertos.poa.br/dataset/gtfs>. Acesso em: 15 maio 2023.

PORTO ALEGRE. **Pesquisa auxiliará na criação do plano setorial do transporte | Prefeitura de Porto Alegre.** [S. l.], 2023. Disponível em: <https://prefeitura.poa.br/smmu/noticias/pesquisa-auxiliara-na-criacao-do-plano-setorial-do-transporte>. Acesso em: 15 maio 2023.

PORTO ALEGRE. **Prognóstico da Mobilidade no município de Porto Alegre: Plano de Mobilidade de Porto Alegre (MobiliPOA).** Porto Alegre: Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 2018b. Disponível em: https://prefeitura.poa.br/sites/default/files/usu_doc/projetos/smim/Plano%20de%20Mobilidade%20Urbana/5_Prognostico_da_Mobilidade_versao%20atualizada.pdf. Acesso em: 7 mar. 2022.

PORTO ALEGRE. **STPoa - Sistema de Transporte Público de Porto Alegre - Frota - Ônibus - Dados Abertos - POA.** [S. l.], 2019b. Disponível em: <https://dadosabertos.poa.br/dataset/stpoa-sistema-de-transporte-publico-de-porto-alegre/resource/aba2b39e-74ac-4ee9-91e6-00b6c62625ce>. Acesso em: 15 maio 2023.

POTT, C. M.; ESTRELA, C. C. Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. **Estudos Avançados**, [s. l.], v. 31, p. 271–283, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/ea/a/pL9zbDbZCwW68Z7PMF5fCdp/?lang=pt>. Acesso em: 1 ago. 2022.

POURRAHMANI, E. *et al.* Health Impact Assessment of Connected and Autonomous Vehicles in San Francisco, Bay Area. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, [s. l.], v. 2674, n. 10, p. pp 898-916, 2020. Disponível em: <https://trid.trb.org/view/1729751>.

RAMIREZ-RUBIO, O. *et al.* Urban health: An example of a “health in all policies” approach in the context of SDGs implementation. **Globalization and Health**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 87, 2019. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85077094005&doi=10.1186%2fs12992-019-0529-z&partnerID=40&md5=1a16a9f6bd30351f9584c901e3c99d03>.

REIS, A. **Preço do seguro do carro pode até dobrar se cliente for do sexo masculino.** [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.uol.com.br/carros/noticias/redacao/2019/09/22/preco-do-seguro-do-carro-pode-ate-dobrar-se-cliente-e-do-sexo-masculino.htm>. Acesso em: 17 maio 2023.

RIO GRANDE DO SUL. **Região Metropolitana de Porto Alegre - RMPA.** [S. l.], 2020. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/regiao-metropolitana-de-porto-alegre-rmpa>. Acesso em: 27 out. 2020.

RITCHIE, H.; ROSER, M. Air Pollution. **Our World in Data**, [s. l.], 2017. Disponível em: <https://ourworldindata.org/air-pollution>. Acesso em: 30 abr. 2023.

RODRIGUES, P. F. *et al.* Health economic assessment of a shift to active transport. **Environmental Pollution**, England, v. 258, p. 113745, 2020. Disponível em:

- <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85076344296&doi=10.1016%2fj.envpol.2019.113745&partnerID=40&md5=cd6aaecb aeba0a3783b7854062ddf3cb>.
- RODRIGUES, J. M. **Mapa da Motorização Individual 2019**. Rio de Janeiro: Observatório das Metrôpoles, 2019. Disponível em: <https://www.observatoriodasmetropoles.net.br/mapa-da-motorizacao-individual-2019/>. Acesso em: 6 jan. 2022.
- ROJAS-RUEDA, D. *et al.* Green spaces and mortality: a systematic review and meta-analysis of cohort studies. **The Lancet Planetary Health**, [s. l.], v. 3, n. 11, p. e469–e477, 2019. Disponível em: [https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196\(19\)30215-3/fulltext#%20](https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196(19)30215-3/fulltext#%20). Acesso em: 13 maio 2023.
- ROJAS-RUEDA, D. Health Impact Assessment of Active Transportation. *Em*: NIEUWENHUIJSEN, M.; KHREIS, H. (org.). **Integrating Human Health into Urban and Transport Planning: A Framework**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 625–640. *E-book*. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-74983-9_30. Acesso em: 7 jul. 2022.
- ROJAS-RUEDA, D. *et al.* Health Impacts of Active Transportation in Europe. **PLoS One**, [s. l.], v. 11, n. 3, p. e0149990, 2016. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84961904300&doi=10.1371%2fjournal.pone.0149990&partnerID=40&md5=1bd848f535698bd4fb5c2896a49522b2>.
- ROJAS-RUEDA, D. Health Impacts of Urban Bicycling in Mexico. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 18, n. 5, p. 2300, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/5/2300>. Acesso em: 27 ago. 2021.
- ROJAS-RUEDA, D. *et al.* Replacing car trips by increasing bike and public transport in the greater Barcelona metropolitan area: A health impact assessment study. **Environment International**, Netherlands, v. 49, p. 100–109, 2012. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84866515038&doi=10.1016%2fj.envint.2012.08.009&partnerID=40&md5=6b0bd270815d2bfaf4a33265a78daf5d>.
- ROJAS-RUEDA, D. *et al.* The health risks and benefits of cycling in urban environments compared with car use: health impact assessment study. **BMJ**, [s. l.], v. 343, n. d4521, p. 8p, 2011. Disponível em: <http://www.bmj.com/content/343/bmj.d4521.full.pdf>.
- ROLNIK, R.; KLINTOWITZ, D. (I)Mobilidade na cidade de São Paulo. **Estudos Avançados**, [s. l.], v. 25, p. 89–108, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/ea/a/xM3HNxRtNM5RqtjttKjxgJb/?lang=pt>. Acesso em: 28 nov. 2021.
- ROSA, G. L. *et al.* MOBILIDADE URBANA E SAÚDE PÚBLICA: REFLEXÕES SOBRE O PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES EM PORTO ALEGRE/RS - BRASIL. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, [s. l.], n. 39, p. 78–103, 2022. Disponível em: <https://revistas.planejamento.rs.gov.br/index.php/boletim-geografico-rs/article/view/4463>. Acesso em: 30 jun. 2022.
- ROSA, G. L.; VARGAS, J. C. B. Mobilidade Urbana Saudável - Compreender a influência do transporte urbano na saúde: Ensaio sobre modelos de avaliação de impacto à saúde para Porto Alegre/RS. *Em*: , 2022. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em:

https://www.sisgeenco.com.br/anais/enanpur/2022/arquivos/GT8_SEM_190_292_20211202141307.pdf.

RYDIN, Y. *et al.* Shaping cities for health: complexity and the planning of urban environments in the 21st century. **The Lancet**, [s. l.], v. 379, n. 9831, p. 2079–2108, 2012. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140673612604358>. Acesso em: 1 out. 2021.

SÁ, T. H. de *et al.* Health impact modelling of different travel patterns on physical activity, air pollution and road injuries for São Paulo, Brazil. **Environment International**, [s. l.], v. 108, p. 22–31, 2017. Disponível em:

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85026751669&doi=10.1016%2fj.envint.2017.07.009&partnerID=40&md5=19671d56ce085ffd75d686f84a6cfd1d>.

SAELENS, B. E.; HANDY, S. L. Built Environment Correlates of Walking: A Review. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [s. l.], v. 40, n. 7, 2008. Disponível em:

https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2008/07002/Built_Environment_Correlates_of_Walking__A_Review.7.aspx.

SALGADO, M. *et al.* Environmental determinants of population health in urban settings. A systematic review. **BMC Public Health**, [s. l.], v. 20, n. 1, 2020. Disponível em:

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85086007923&doi=10.1186%2fs12889-020-08905-0&partnerID=40&md5=47114768d012087654a9f5773fac06ff>.

SÃO PAULO. **PlanMob/SP 2015: Plano de Mobilidade de São Paulo**. São Paulo: Prefeitura do Município de São Paulo: Secretaria Municipal de Transportes, 2015. Plano de Mobilidade. Disponível em:

https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/chamadas/planmobsp_v072__1455546429.pdf. Acesso em: 7 jul. 2022.

SEN, A.; MILLER, J. **Emissions reduction benefits of a faster, global transition to zero-emission vehicles**. [S. l.]: International Council on Clean Transportation, 2022. Disponível em: <https://theicct.org/publication/zevs-global-transition-benefits-mar22/>. Acesso em: 15 maio 2023.

SENATRAN. **Estatísticas - Frota de Veículos**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-senatran/estatisticas-frota-de-veiculos-senatran>. Acesso em: 7 jul. 2022.

SENNA, L. A. dos S. **Economia e planejamento dos transportes**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. *E-book*. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/book/9788535277364>. Acesso em: 7 jul. 2022.

SILVA, C. B. P. D. *et al.* Evaluation of the air quality benefits of the subway system in São Paulo, Brazil. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 101, p. 191–196, 2012. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84858722356&doi=10.1016%2fj.jenvman.2012.02.009&partnerID=40&md5=fd8aa12fbce204dc5df1c835ffc0a509>.

SILVA, M. T.; SILVA, E. N. da; PEREIRA, M. G. Desfechos em estudos de avaliação econômica em saúde. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, [s. l.], v. 25, n. 3, p. 663–666, 2016. Disponível em:

http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1679-49742016000300663&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 13 maio 2022.

- SILVEIRA, L. H. de C. *et al.* Mobilidade urbana saudável no cruzamento das avenidas identitárias: experiências móveis de mulheres pretas. **Ponto Urbe. Revista do núcleo de antropologia urbana da USP**, [s. l.], n. 30 v.1, 2022. Disponível em: <https://journals.openedition.org/pontourbe/12375>. Acesso em: 17 maio 2023.
- SINGER, J. da M. *et al.* Assessing socioeconomic bias of exposure to urban air pollution: an autopsy-based study in São Paulo, Brazil. **The Lancet Regional Health - Americas**, [s. l.], v. 22, p. 100500, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667193X23000741>. Acesso em: 17 maio 2023.
- SOUZA, C. F. de; MÜLLER, D. M. **Porto Alegre e sua evolução urbana**. 1. ed. Porto Alegre, RS: Editora da Universidade, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.
- STÄHL, T. Health in All Policies: From rhetoric to implementation and evaluation – the Finnish experience. **Scandinavian Journal of Public Health**, [s. l.], v. 46, n. 20_suppl, p. 38–46, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1403494817743895>. Acesso em: 12 maio 2023.
- STIVALI, M. **Valor de uma vida estatística: uma revisão da literatura empírica para o Brasil**. Brasília: IPEA, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/economia/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/consultas-publicas/2022/arquivos/arquivos-catalogo-de-parametros-fator-de-conversao-da-taxa-cambial-valor-da-vida-estatistica-e-fator-de-conversao-do-gasto-publico/valor-da-vida-estatistica#:~:text=O%20valor%20de%20uma%20vida%20estat%3%ADstica%20corresponde%20ao%20valor%20monet%3%A1rio,%C3%A0%20preven%C3%A7%C3%A3o%20de%20uma%20fatalidade>. Acesso em: 3 maio 2023.
- SUPTITZ, B. Consórcio realizará pesquisa origem e destino do transporte de Porto Alegre. **Jornal do Comércio**, Porto Alegre, 14 fev. 2023. Disponível em: <https://www.jornaldocomercio.com/colunas/pensar-a-cidade/2023/02/1094766-consorcio-realizara-pesquisa-origem-e-destino-do-transporte-de-porto-alegre.html>. Acesso em: 15 maio 2023.
- SUPTITZ, B. Pensar a Cidade, por Bruna Suptitz - Plano de Mobilidade Urbana para Porto Alegre chega à Câmara. **Jornal do Comércio**, Porto Alegre, 16 fev. 2022. Disponível em: https://www.jornaldocomercio.com/_conteudo/colunas/pensar_a_cidade/2022/02/833551-plano-de-mobilidade-urbana-para-porto-alegre-chega-a-camara.html. Acesso em: 7 jul. 2022.
- SZKLO, M. Epidemiologia translacional: algumas considerações. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, [s. l.], v. 24, p. 161–172, 2015. Disponível em: <https://www.scielosp.org/article/ress/2015.v24n1/161-172/>. Acesso em: 30 jul. 2022.
- TAVELLA, R. A. *et al.* Unexpected reduction in ozone levels in a mid-size city during COVID-19 lockdown. **International Journal of Environmental Health Research**, [s. l.], 2021. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85104688831&doi=10.1080%2f09603123.2021.1917526&partnerID=40&md5=97685f4216405b9c82e5b8ccc7f734d2>.
- THONDOO, M. *et al.* Health impact assessment: an innovative approach for 15-minute cities. *Em: RESILIENT AND SUSTAINABLE CITIES*. [S. l.]: Elsevier, 2023. p. 343–353. *E-book*. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780323917186000220>. Acesso em: 12 maio 2023.

- THONDOO, M. *et al.* Participatory quantitative health impact assessment of urban transport planning: A case study from Eastern Africa. **Environment International**, [s. l.], v. 144, p. 106027, 2020. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85089503678&doi=10.1016%2fj.envint.2020.106027&partnerID=40&md5=457e2babd93ae63eadb27fc1a43e7b00>.
- THONDOO, M. *et al.* The Built Environment and Health in Low- and Middle-Income Countries: a Review on Quantitative Health Impact Assessments. **Current Environmental Health Reports**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 90–103, 2022. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85114801440&doi=10.1007%2fs40572-021-00324-6&partnerID=40&md5=f770455d6743b1d7a5ef017dbf714510>.
- THONDOO, M.; GUPTA, J. Health impact assessment legislation in developing countries: A path to sustainable development?. **Review of European, Comparative & International Environmental Law**, [s. l.], v. 30, n. 1, p. 107–117, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/reel.12347>. Acesso em: 11 jul. 2022.
- UNITED NATIONS. **Net Zero Coalition**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.un.org/en/climatechange/net-zero-coalition>. Acesso em: 13 maio 2023.
- UNITED NATIONS; DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS; POPULATION DIVISION. **World population prospects Highlights, 2019 revision Highlights, 2019 revision**. [S. l.: s. n.], 2019.
- UPSENSOR. **HCPA Santa Cecília - Porto Ar Alegre -, Porto Alegre, Brazil, Porto Alegre, Brazil Air Pollution: Real-time Air Quality Index (AQI)**. [S. l.], 2020a. Disponível em: <https://aqicn.org/station/brazil/porto-alegre/hcpa-santa-cec%C3%ADlia-porto-ar-alegre/>. Acesso em: 14 maio 2023.
- UPSENSOR. **UBS Humaitá - Porto Ar Alegre, Porto Alegre, Brazil, Porto Alegre, Brazil Air Pollution: Real-time Air Quality Index (AQI)**. [S. l.], 2020b. Disponível em: <https://aqicn.org/station/brazil/porto-alegre/ubs-humait%C3%A1-porto-ar-alegre/>. Acesso em: 14 maio 2023.
- UPSENSOR. **UBS Restinga - Porto Ar Alegre, Porto Alegre, Brazil, Porto Alegre, Brazil Air Pollution: Real-time Air Quality Index (AQI)**. [S. l.], 2020c. Disponível em: <https://aqicn.org/station/brazil/porto-alegre/ubs-restinga-porto-ar-alegre/>. Acesso em: 14 maio 2023.
- UPSENSOR. **UFCSPA - Porto Ar Alegre, Porto Alegre, Brazil, Porto Alegre, Brazil Air Pollution: Real-time Air Quality Index (AQI)**. [S. l.], 2020d. Disponível em: <https://aqicn.org/station/brazil/porto-alegre/ufcspa-porto-ar-alegre/>. Acesso em: 14 maio 2023.
- UPSENSOR. **Unidade de Saúde Costa e Silva - Porto Ar Alegre, Porto Alegre, Brazil, Porto Alegre, Brazil Air Pollution: Real-time Air Quality Index (AQI)**. [S. l.], 2020e. Disponível em: <https://aqicn.org/station/brazil/porto-alegre/unidade-de-sa%C3%BAde-costa-e-silva-porto-ar-alegre/>. Acesso em: 14 maio 2023.
- VAN KEMPEN, E. *et al.* WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Cardiovascular and Metabolic Effects: A Summary. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 379, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/15/2/379>. Acesso em: 14 out. 2021.
- VARGAS, J. C. B. **Dados Datasus e Vigitel**. [S. l.], 2023. Disponível em: https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7043232022093279233/?utm_source=share&utm_medium=member_desktop. Acesso em: 12 maio 2023.

- VARGAS, J. C.; NETTO, V. M. Condições Urbanas da Caminhabilidade. *Em: ANDRADE, V.; LINKE, C. C.; OLIVEIRA, A. (org.). Cidades de pedestres: a caminhabilidade no Brasil e no mundo*. 1ª edição. Rio de Janeiro, RJ: Babilonia, 2017. p. 191–204.
- VASCONCELLOS, E. A. de. Andar nas cidades do Brasil. *Em: ANDRADE, V.; LINKE, C. C.; OLIVEIRA, A. (org.). Cidades de pedestres: a caminhabilidade no Brasil e no mundo*. 1ª edição. Rio de Janeiro, RJ: Babilonia, 2017. p. 43–56.
- VASCONCELLOS, E. A. Urban transport policies in Brazil: The creation of a discriminatory mobility system. *Journal of Transport Geography*, [s. l.], v. 67, p. 85–91, 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0966692316305488>. Acesso em: 14 set. 2021.
- VERAS, M.; DOMENICO, M. D.; MARQUES, K. do V. O transporte dentro da perspectiva ambiental da saúde. *Em: ANDRADE, V.; LINKE, C. C.; OLIVEIRA, A. (org.). Cidades de pedestres: a caminhabilidade no Brasil e no mundo*. 1ª edição. Rio de Janeiro, RJ: Babilonia, 2017. p. 57–68.
- VORMITTAG, E. M. P. A. *et al.* Assessment and valuation of public health impacts from gradual biodiesel implementation in the transport energy matrix in Brazil. *Aerosol and Air Quality Research*, [s. l.], v. 18, n. 9, p. 2375–2382, 2018. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85055551539&doi=10.4209%2faaqr.2017.11.0449&partnerID=40&md5=ff6e3e82d141e614bc8a66eff682bc02>.
- VRIJHEID, M. The exposome: a new paradigm to study the impact of environment on health. *Thorax*, [s. l.], v. 69, n. 9, p. 876–878, 2014. Disponível em: <https://thorax.bmj.com/content/69/9/876>. Acesso em: 29 abr. 2023.
- WAGNER, M. B.; CALLEGARI-JACQUES, S. M. Medidas de associação em estudos epidemiológicos: risco relativo e odds ratio. *Jornal de Pediatria*, [s. l.], n. 74, p. 247–251, 1998. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/54354/000246332.pdf?seque>. Acesso em: 25 nov. 2021.
- WHITFIELD, G. P. *et al.* The Integrated Transport and Health Impact Modeling Tool in Nashville, Tennessee, USA: Implementation Steps and Lessons Learned. *Journal of transport & health*, [s. l.], v. 5, p. 172–181, 2017. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5006956/>. Acesso em: 13 out. 2021.
- WHO REGIONAL OFFICE FOR EUROPE; EUROPEAN CENTRE FOR HEALTH POLICY. **Health Impact Assessment: main concepts and suggested approach (Gothenburg consensus paper)**. 1999. Disponível em: http://www.healthedpartners.org/ceu/hia/hia01/01_02_gothenburg_paper_on_hia_1999.pdf. Acesso em: 13 maio 2023.
- WILTGEN, J. **Jovem paga até 90% mais por seguro de carro que mais velhos**. [S. l.], 2014. Disponível em: <https://exame.com/invest/minhas-financas/jovem-pagaa-te-90-mais-por-seguro-de-carro-que-mais-velhos/>. Acesso em: 17 maio 2023.
- WOO, S.-H. *et al.* Comparison of total PM emissions emitted from electric and internal combustion engine vehicles: An experimental analysis. *Science of The Total Environment*, [s. l.], v. 842, p. 156961, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896972204058X>. Acesso em: 13 maio 2023.
- WOODCOCK, J. *et al.* Health effects of the London bicycle sharing system: health impact modelling study. *BMJ*, [s. l.], v. 348, p. g425, 2014. Disponível em: <https://www.bmj.com/content/348/bmj.g425>. Acesso em: 13 out. 2021.

- WOODCOCK, J. *et al.* Non-vigorous physical activity and all-cause mortality: systematic review and meta-analysis of cohort studies. **International Journal of Epidemiology**, [s. l.], v. 40, n. 1, p. 121–138, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/ije/dyq104>. Acesso em: 14 out. 2021.
- WOODCOCK, J. *et al.* Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: urban land transport. **The Lancet**, [s. l.], v. 374, n. 9705, p. 1930–1943, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140673609617141>. Acesso em: 13 out. 2021.
- WOODCOCK, J.; GIVONI, M.; MORGAN, A. S. Health Impact Modelling of Active Travel Visions for England and Wales Using an Integrated Transport and Health Impact Modelling Tool (ITHIM). **PLOS ONE**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. e51462, 2013. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0051462>. Acesso em: 13 out. 2021.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Health economic assessment tool (HEAT) for walking and for cycling**. Copenhagen: World Health Organization Regional Office for Europe, 2021a. Disponível em: [https://www.who.int/publications-detail-redirect/health-economic-assessment-tool-\(heat\)-for-walking-and-for-cycling](https://www.who.int/publications-detail-redirect/health-economic-assessment-tool-(heat)-for-walking-and-for-cycling). Acesso em: 13 maio 2023.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Health impact assessments**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.who.int/tools/health-impact-assessments>. Acesso em: 13 maio 2023 a.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **HEAT v5.0.6**. [S. l.], 2021b. Disponível em: <https://www.heatwalkingcycling.org/#homepage>. Acesso em: 13 maio 2023.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **History of WHO**. [S. l.], 2022a. Disponível em: <https://www.who.int/about/who-we-are/history>. Acesso em: 1 ago. 2022.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **International Classification of Diseases (ICD)**. [S. l.], 2022b. Disponível em: <https://www.who.int/standards/classifications/classification-of-diseases>. Acesso em: 30 jul. 2022.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Ottawa charter for health promotion**. , 1986. Disponível em: <https://www.who.int/publications-detail-redirect/WH-1987>. Acesso em: 13 maio 2023.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Social determinants of health**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.who.int/health-topics/social-determinants-of-health>. Acesso em: 7 jul. 2022 b.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide**. [S. l.]: World Health Organization, 2021c. *E-book*. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>. Acesso em: 2 fev. 2022.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour**. Geneva: World Health Organization, 2020. *E-book*. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/336656>. Acesso em: 5 jul. 2022.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. REGIONAL OFFICE FOR EUROPE. **Night noise guidelines for Europe**. [S. l.]: World Health Organization. Regional Office for Europe, 2009. *E-book*. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/326486>. Acesso em: 13 maio 2023.

YIN, R. K. **Case study research and applications: design and methods**. Sixth edition. Los Angeles: SAGE, 2018.

ZANDONADE, P.; MORETTI, R. O padrão de mobilidade de São Paulo e o pressuposto de desigualdade. **EURE (Santiago)**, [s. l.], v. 38, n. 113, p. 77–97, 2012.

Disponível em: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0250-71612012000100004&lng=es&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 17 maio 2023.

ZAPATA-DIOMEDI, B. *et al.* A shift from motorised travel to active transport: What are the potential health gains for an Australian city?. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 12, n. 10, 2017.

Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85031500657&doi=10.1371%2fjournal.pone.0184799&partnerID=40&md5=e01c39429ad30397e523f5314989323c>.

**APÊNDICE A — ANÁLISE DE DESAGREGAÇÃO DOS DADOS POR VARIÁVEL
POPULACIONAL**

Variáveis	Existem dados desagregados?				Desagregar?
	Mobilidade urbana	População	Atividade física	Óbitos	
Sexo	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Faixa etária	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Cor/raça/etnia	Não	Sim	Sim	Sim	Não
Orientação sexual/gênero	Não	Não	Sim	Não	Não
Renda	Não	Não	Não	Não	Não
Escolaridade	Não	Não	Não	Não	Não

APÊNDICE B — CÁLCULOS MÓDULO POLUIÇÃO DO AR (PM2.5)

Cálculo do ar inalado por população e cenário

População:									
Faixa etária (anos)	Cenário	A pé (m³)	Bicicleta (m³)	TI (m³)	TP (m³)	A pé-TP (m³)	Sono (m³)	Outras ativ. (m³)	Total (m³)
20 a 64	A	0,153	0,007	0,395	0,303	0,116	2,16	8,916	12,050
20 a 64	B	0,023	0,015	0,650	0,060	0,023	2,16	9,021	11,952
20 a 64	C	0,163	0,007	0,429	0,232	0,089	2,16	8,963	12,042
20 a 64	D	0,162	0,007	0,263	0,479	0,183	2,16	8,832	12,085
20 a 64	E	0,253	0,147	0,124	0,479	0,183	2,16	8,884	12,229
65 ou mais	A	0,095	0,005	0,244	0,187	0,071	2,16	9,239	12,001
65 ou mais	B	0,014	0,009	0,401	0,037	0,014	2,16	9,304	11,940
65 ou mais	C	0,100	0,005	0,265	0,143	0,055	2,16	9,268	11,995
65 ou mais	D	0,100	0,005	0,162	0,296	0,113	2,16	9,187	12,022
65 ou mais	E	0,156	0,091	0,077	0,296	0,113	2,16	9,219	12,111

Fonte: Elaboração própria.

Cálculo do ar inalado por perfil populacional e cenário

Perfil populacional										
Faixa etária (anos)	Sexo	Cenário	A pé (m³)	Bicicleta (m³)	TI (m³)	TP (m³)	A pé-TP (m³)	Sono (m³)	Outras atividades (m³)	Total (m³)
20 a 49	M	A	0,168	0,008	0,432	0,332	0,126	2,160	8,837	12,063
20 a 49	F	A	0,151	0,007	0,388	0,298	0,114	2,160	8,929	12,048
50 a 64	M	A	0,152	0,007	0,391	0,300	0,114	2,160	8,925	12,049
50 a 64	F	A	0,119	0,006	0,306	0,235	0,090	2,160	9,105	12,021
65+	M	A	0,110	0,005	0,283	0,217	0,083	2,160	9,156	12,013
65+	F	A	0,086	0,004	0,222	0,171	0,065	2,160	9,285	11,993
20 a 49	M	B	0,025	0,016	0,710	0,066	0,025	2,160	8,953	11,955
20 a 49	F	B	0,022	0,014	0,639	0,059	0,023	2,160	9,033	11,951
50 a 64	M	B	0,022	0,015	0,643	0,060	0,023	2,160	9,029	11,952
50 a 64	F	B	0,018	0,011	0,504	0,047	0,018	2,160	9,187	11,945
65+	M	B	0,016	0,011	0,465	0,043	0,016	2,160	9,231	11,943
65+	F	B	0,013	0,008	0,366	0,034	0,013	2,160	9,344	11,938
20 a 49	M	C	0,178	0,008	0,468	0,254	0,097	2,160	8,889	12,053
20 a 49	F	C	0,160	0,007	0,422	0,228	0,087	2,160	8,976	12,040
50 a 64	M	C	0,161	0,007	0,424	0,230	0,088	2,160	8,972	12,041
50 a 64	F	C	0,126	0,006	0,333	0,180	0,069	2,160	9,142	12,015

65+	M	C	0,116	0,005	0,307	0,166	0,063	2,160	9,190	12,007
65+	F	C	0,091	0,004	0,241	0,131	0,050	2,160	9,311	11,989
20 a 49	M	D	0,177	0,008	0,287	0,523	0,199	2,160	8,746	12,101
20 a 49	F	D	0,159	0,007	0,259	0,471	0,180	2,160	8,848	12,083
50 a 64	M	D	0,160	0,007	0,260	0,473	0,181	2,160	8,842	12,084
50 a 64	F	D	0,126	0,006	0,204	0,371	0,142	2,160	9,040	12,048
65+	M	D	0,116	0,005	0,188	0,343	0,131	2,160	9,096	12,038
65+	F	D	0,091	0,004	0,148	0,269	0,103	2,160	9,238	12,013
20 a 49	M	E	0,277	0,161	0,136	0,523	0,199	2,160	8,802	12,258
20 a 49	F	E	0,249	0,145	0,122	0,471	0,180	2,160	8,898	12,224
50 a 64	M	E	0,250	0,146	0,123	0,473	0,181	2,160	8,893	12,226
50 a 64	F	E	0,197	0,114	0,096	0,371	0,142	2,160	9,080	12,160
65+	M	E	0,181	0,105	0,089	0,343	0,131	2,160	9,133	12,141
65+	F	E	0,143	0,083	0,070	0,269	0,103	2,160	9,267	12,094

Fonte: Elaboração própria.

Cálculo do poluente inalado por população e cenário

População: Faixa etária (anos)	Cenário	A pé (µg)	Bicicleta (µg)	TI (µg)	TP (µg)	A pé- TP (µg)	Sono (µg)	Outras ativ. (µg)	Total (µg)
20 a 64	A	2,836	0,170	11,405	6,657	2,138	24,948	102,976	151,129
20 a 64	B	0,554	0,450	24,812	1,754	0,563	32,992	137,794	198,919
20 a 64	C	3,244	0,184	13,363	5,499	1,766	26,942	111,797	162,795
20 a 64	D	2,685	0,153	6,817	9,434	3,030	22,409	91,633	136,162
20 a 64	E	3,492	2,537	2,674	7,837	2,517	18,615	76,560	114,232
65 ou mais	A	1,751	0,105	7,042	4,111	1,320	24,948	106,706	145,983
65 ou mais	B	0,342	0,278	15,321	1,083	0,348	32,992	142,110	192,474
65 ou mais	C	2,003	0,113	8,252	3,396	1,091	26,942	115,600	157,396
65 ou mais	D	1,658	0,094	4,209	5,825	1,871	22,409	95,315	131,382
65 ou mais	E	2,156	1,567	1,651	4,839	1,554	18,615	79,449	109,831

Fonte: Elaboração própria.

Cálculo do poluente inalado por perfil populacional e cenário

Perfil populacional		Cenário	A pé (µg)	Bicicleta (µg)	TI (µg)	TP (µg)	A pé- TP (µg)	Sono (µg)	Outras atividades (µg)	Total (µg)
Faixa etária (anos)	Sexo									
20 a 49	M	A	3,099	0,186	12,464	7,275	2,337	24,948	102,070	152,379
20 a 49	F	A	2,789	0,167	11,218	6,548	2,103	24,948	103,135	150,909
50 a 64	M	A	2,805	0,168	11,280	6,584	2,115	24,948	103,082	150,982
50 a 64	F	A	2,201	0,132	8,850	5,166	1,659	24,948	105,161	148,115
65+	M	A	2,030	0,122	8,164	4,765	1,531	24,948	105,747	147,307
65+	F	A	1,596	0,096	6,419	3,747	1,203	24,948	107,239	145,248

20 a 49	M	B	0,606	0,491	27,117	1,917	0,616	32,992	136,746	200,484
20 a 49	F	B	0,545	0,442	24,405	1,725	0,554	32,992	137,979	198,643
50 a 64	M	B	0,548	0,445	24,541	1,735	0,557	32,992	137,917	198,735
50 a 64	F	B	0,430	0,349	19,253	1,361	0,437	32,992	140,322	195,144
65+	M	B	0,397	0,322	17,761	1,255	0,403	32,992	141,000	194,131
65+	F	B	0,312	0,253	13,965	0,987	0,317	32,992	142,726	191,553
20 a 49	M	C	3,545	0,201	14,605	6,010	1,930	26,942	110,874	164,107
20 a 49	F	C	3,190	0,181	13,144	5,409	1,737	26,942	111,960	162,564
50 a 64	M	C	3,208	0,182	13,217	5,439	1,747	26,942	111,906	162,641
50 a 64	F	C	2,517	0,142	10,369	4,267	1,371	26,942	114,024	159,633
65+	M	C	2,322	0,131	9,566	3,937	1,264	26,942	114,622	158,784
65+	F	C	1,826	0,103	7,522	3,095	0,994	26,942	116,143	156,624
20 a 49	M	D	2,935	0,167	7,450	10,310	3,311	22,409	90,739	137,322
20 a 49	F	D	2,641	0,150	6,705	9,279	2,980	22,409	91,791	135,957
50 a 64	M	D	2,656	0,151	6,742	9,331	2,997	22,409	91,738	136,025
50 a 64	F	D	2,084	0,119	5,290	7,320	2,351	22,409	93,789	133,362
65+	M	D	1,922	0,109	4,880	6,753	2,169	22,409	94,368	132,611
65+	F	D	1,511	0,086	3,837	5,310	1,705	22,409	95,840	130,699
20 a 49	M	E	3,816	2,773	2,922	8,565	2,751	18,615	75,858	115,301
20 a 49	F	E	3,435	2,496	2,630	7,708	2,476	18,615	76,684	114,043
50 a 64	M	E	3,454	2,510	2,645	7,751	2,489	18,615	76,642	114,106
50 a 64	F	E	2,710	1,969	2,075	6,081	1,953	18,615	78,252	111,654
65+	M	E	2,500	1,816	1,914	5,610	1,802	18,615	78,706	110,963
65+	F	E	1,965	1,428	1,505	4,411	1,417	18,615	79,861	109,203

Fonte: Elaboração própria.

Cálculo da concentração média de PM2.5 no transporte por população e cenário

População: Faixa etária (anos)	Cenário	Ar inalado (m³)	PM2.5 inalado (µg)	Concentração
				PM2.5 no transporte (m³/µg)
20 a 64	A	12,050	151,129	12,54
20 a 64	B	11,952	198,919	16,64
20 a 64	C	12,042	162,795	13,52
20 a 64	D	12,085	136,162	11,27
20 a 64	E	12,229	114,232	9,34
65 ou mais	A	12,001	145,983	12,16
65 ou mais	B	11,940	192,474	16,12
65 ou mais	C	11,995	157,396	13,12
65 ou mais	D	12,022	131,382	10,93
65 ou mais	E	12,111	109,831	9,07

Fonte: Elaboração própria.

Cálculo da concentração média de PM2.5 no transporte por perfil populacional e cenário

Perfil populacional		Cenário	Ar inalado (m ³)	PM2.5 inalado (µg)	Concentração PM2.5 no transporte (m ³ /µg)
Faixa etária (anos)	Sexo				
20 a 49	M	A	12,063	152,379	12,63
20 a 49	F	A	12,048	150,909	12,53
50 a 64	M	A	12,049	150,982	12,53
50 a 64	F	A	12,021	148,115	12,32
65+	M	A	12,013	147,307	12,26
65+	F	A	11,993	145,248	12,11
20 a 49	M	B	11,955	200,484	16,77
20 a 49	F	B	11,951	198,643	16,62
50 a 64	M	B	11,952	198,735	16,63
50 a 64	F	B	11,945	195,144	16,34
65+	M	B	11,943	194,131	16,25
65+	F	B	11,938	191,553	16,05
20 a 49	M	C	12,053	164,107	13,61
20 a 49	F	C	12,040	162,564	13,50
50 a 64	M	C	12,041	162,641	13,51
50 a 64	F	C	12,015	159,633	13,29
65+	M	C	12,007	158,784	13,22
65+	F	C	11,989	156,624	13,06
20 a 49	M	D	12,101	137,322	11,35
20 a 49	F	D	12,083	135,957	11,25
50 a 64	M	D	12,084	136,025	11,26
50 a 64	F	D	12,048	133,362	11,07
65+	M	D	12,038	132,611	11,02
65+	F	D	12,013	130,699	10,88
20 a 49	M	E	12,258	115,301	9,41
20 a 49	F	E	12,224	114,043	9,33
50 a 64	M	E	12,226	114,106	9,33
50 a 64	F	E	12,160	111,654	9,18
65+	M	E	12,141	110,963	9,14
65+	F	E	12,094	109,203	9,03

Fonte: Elaboração própria.

Cálculo da variação na concentração média de PM2.5 no transporte por população e cenário

População: Faixa etária (anos)	Cenário	Concentração	Concentração	Δ
		PM2.5 no transporte ($m^3/\mu g$) – cenário	PM2.5 no transporte ($m^3/\mu g$) – cenário base	Concentração PM2.5 no transporte ($m^3/\mu g$)
20 a 64	A	12,54	12,54	0
20 a 64	B	16,64	12,54	+ 4,10
20 a 64	C	13,52	12,54	+ 0,98
20 a 64	D	11,27	12,54	- 1,27
20 a 64	E	9,34	12,54	- 3,20
65 ou mais	A	12,16	12,16	0
65 ou mais	B	16,12	12,16	+ 3,96
65 ou mais	C	13,12	12,16	+ 0,96
65 ou mais	D	10,93	12,16	- 1,24
65 ou mais	E	9,07	12,16	- 3,10

Fonte: Elaboração própria.

Cálculo da variação na concentração média de PM2.5 no transporte por perfil populacional e cenário

Perfil populacional		Cenário	Concentração	Concentração	Δ
Faixa etária (anos)	Sexo		PM2.5 no transporte ($m^3/\mu g$) – cenário	PM2.5 no transporte ($m^3/\mu g$) – cenário base	Concentração PM2.5 no transporte ($m^3/\mu g$)
20 a 49	M	A	12,63	12,63	0
20 a 49	F	A	12,53	12,53	0
50 a 64	M	A	12,53	12,53	0
50 a 64	F	A	12,32	12,32	0
65+	M	A	12,26	12,26	0
65+	F	A	12,11	12,11	0
20 a 49	M	B	16,77	12,63	+ 4,14
20 a 49	F	B	16,62	12,53	+ 4,10
50 a 64	M	B	16,63	12,53	+ 4,10
50 a 64	F	B	16,34	12,32	+ 4,02
65+	M	B	16,25	12,26	+ 3,99
65+	F	B	16,05	12,11	+ 3,94
20 a 49	M	C	13,61	12,63	+ 0,98

20 a 49	F	C	13,50	12,53	+ 0,98
50 a 64	M	C	13,51	12,53	+ 0,98
50 a 64	F	C	13,29	12,32	+ 0,97
65+	M	C	13,22	12,26	+ 0,96
65+	F	C	13,06	12,11	+ 0,95
20 a 49	M	D	11,35	12,63	- 1,28
20 a 49	F	D	11,25	12,53	- 1,27
50 a 64	M	D	11,26	12,53	- 1,27
50 a 64	F	D	11,07	12,32	- 1,25
65+	M	D	11,02	12,26	- 1,25
65+	F	D	10,88	12,11	- 1,23
20 a 49	M	E	9,41	12,63	- 3,23
20 a 49	F	E	9,33	12,53	- 3,20
50 a 64	M	E	9,33	12,53	- 3,20
50 a 64	F	E	9,18	12,32	- 3,14
65+	M	E	9,14	12,26	- 3,12
65+	F	E	9,03	12,11	- 3,08

Fonte: Elaboração própria.

Cálculo do risco relativo e da fração atribuível populacional por população e cenário

População: Faixa etária (anos)	Cenário	Δ Concentração		Fração atribuível populacional (IC 95%)
		PM2.5 no transporte (m ³ /μg)	Risco Relativo (IC 95%)	
20 a 64	A	0	1	0
20 a 64	B	+ 4,10	1,032 (1,024; 1,036)	+ 0,031 (+ 0,024; + 0,035)
20 a 64	C	+ 0,98	1,008 (1,006; 1,008)	+ 0,007 (+ 0,006; + 0,008)
20 a 64	D	- 1,27	0,99 (0,989; 0,993)	- 0,01 (- 0,011; - 0,007)
20 a 64	E	- 3,20	0,976 (0,973; 0,982)	- 0,025 (- 0,019; - 0,028)
65 ou mais	A	0	1	0
65 ou mais	B	+ 3,96	1,031 (1,023; 1,035)	+ 0,030 (+ 0,023; + 0,034)
65 ou mais	C	+ 0,96	1,007 (1,006; 1,008)	+ 0,007 (+ 0,006; + 0,008)
65 ou mais	D	- 1,24	0,991 (0,989; 0,993)	- 0,01 (- 0,011; - 0,007)
65 ou mais	E	- 3,10	0,976 (0,974; 0,982)	- 0,024 (- 0,027; - 0,018)

Fonte: Elaboração própria.

Cálculo do risco relativo e da fração atribuível populacional por perfil populacional e cenário

Perfil populacional		Cenário	Δ	Risco Relativo (IC 95%)	Fração atribuível populacional (IC 95%)
Faixa etária (anos)	Sexo		Concentração PM2.5 no transporte (m ³ /μg)		
20 a 49	M	A	0	1	0
20 a 49	F	A	0	1	0
50 a 64	M	A	0	1	0
50 a 64	F	A	0	1	0
65+	M	A	0	1	0
65+	F	A	0	1	0
20 a 49	M	B	+ 4,14	1,032 (1,024; 1,036)	+ 0,031 (+ 0,024; + 0,035)
20 a 49	F	B	+ 4,10	1,032 (1,024; 1,036)	+ 0,031 (+ 0,024; + 0,035)
50 a 64	M	B	+ 4,10	1,032 (1,024; 1,036)	+ 0,031 (+ 0,024; + 0,035)
50 a 64	F	B	+ 4,02	1,031 (1,024; 1,035)	+ 0,03 (+ 0,023; + 0,034)
65+	M	B	+ 3,99	1,031 (1,024; 1,035)	+ 0,03 (+ 0,023; + 0,034)
65+	F	B	+ 3,94	1,031 (1,023; 1,034)	+ 0,03 (+ 0,023; + 0,033)
20 a 49	M	C	+ 0,98	1,008 (1,006; 1,009)	+ 0,008 (+ 0,006; + 0,008)
20 a 49	F	C	+ 0,98	1,008 (1,006; 1,008)	+ 0,007 (+ 0,006; + 0,008)
50 a 64	M	C	+ 0,98	1,008 (1,006; 1,008)	+ 0,007 (+ 0,006; + 0,008)
50 a 64	F	C	+ 0,97	1,007 (1,006; 1,008)	+ 0,007 (+ 0,006; + 0,008)
65+	M	C	+ 0,96	1,007 (1,006; 1,008)	+ 0,007 (+ 0,006; + 0,008)
65+	F	C	+ 0,95	1,007 (1,006; 1,008)	+ 0,007 (+ 0,006; + 0,008)
20 a 49	M	D	- 1,28	0,99 (0,989; 0,993)	- 0,01 (- 0,011; - 0,008)

20 a 49	F	D	- 1,27	0,99 (0,989; 0,993)	- 0,01 (- 0,011; - 0,007)
50 a 64	M	D	- 1,27	0,99 (0,989; 0,993)	- 0,01 (- 0,011; - 0,007)
50 a 64	F	D	- 1,25	0,99 (0,989; 0,993)	- 0,01 (- 0,011; - 0,007)
65+	M	D	- 1,25	0,99 (0,989; 0,993)	- 0,01 (- 0,011; - 0,007)
65+	F	D	- 1,23	0,991 (0,989; 0,993)	- 0,01 (- 0,011; - 0,007)
20 a 49	M	E	- 3,23	0,975 (0,973; 0,981)	- 0,025 (- 0,028; - 0,019)
20 a 49	F	E	- 3,20	0,976 (0,973; 0,982)	- 0,025 (- 0,028; - 0,019)
50 a 64	M	E	- 3,20	0,976 (0,973; 0,982)	- 0,025 (- 0,028; - 0,019)
50 a 64	F	E	- 3,14	0,976 (0,973; 0,982)	- 0,024 (- 0,027; - 0,018)
65+	M	E	- 3,12	0,976 (0,973; 0,982)	- 0,024 (- 0,027; - 0,018)
65+	F	E	- 3,08	0,977 (0,974; 0,982)	- 0,024 (- 0,027; - 0,018)

Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE C — CÁLCULOS MÓDULO ATIVIDADE FÍSICA

Dados sobre atividade física por população

Faixa etária (anos)	Prevalência (%)			Gasto energético semanal médio para lazer e trabalho (MET-h)		
	Insuf. Ativos	Ativos	Muito ativos	Insuf. ativos	Ativos	Muito ativos
20 a 64	38,6	37,9	23,5	1,7	22,79	106,63
65 ou mais	73	22,2	4,7	0,84	15,95	48,35

Fonte: Adaptado de Assunção, Hidalgo e Braga (2023) e Fiocruz (2021).

Dados sobre atividade física por perfil populacional

Faixa etária (anos)	Sexo	Prevalência (%)			Gasto energético semanal médio para lazer e trabalho (MET-h)		
		Insuf. Ativos	Ativos	Muito ativos	Insuf. ativos	Ativos	Muito ativos
20 a 49	M	23	44,9	32,1	1,89	22,36	114,99
20 a 49	F	38,5	42,0	19,2	1,33	23,09	99,38
50 a 64	M	37,3	36,7	26	1,73	23,64	101,92
50 a 64	F	59,6	26,4	14	2,04	22,4	97,57
65 ou mais	M	63,0	31,2	5,8	1	16,84	45,81
65 ou mais	F	80,2	15,8	3,9	0,74	14,7	51,01

Fonte: Adaptado de Assunção, Hidalgo e Braga (2023) e Fiocruz (2021).

Gasto energético semanal nos modos de transporte por população e cenário

População: Faixa etária (anos)	Cenário	A pé (MET-h)	Bicicleta (MET-h)	TP (MET-h)
20 a 64	A	3,23	2,44	0,14
20 a 64	B	0,48	0,49	0,27
20 a 64	C	3,42	1,86	0,14
20 a 64	D	3,41	3,84	0,14
20 a 64	E	5,33	3,84	2,71
65 ou mais	A	1,5	1,13	0,06
65 ou mais	B	0,22	0,22	0,13
65 ou mais	C	1,58	0,86	0,06
65 ou mais	D	1,58	1,78	0,06
65 ou mais	E	2,47	1,78	1,25

Fonte: Elaboração própria.

Gasto energético semanal nos modos de transporte por perfil populacional e cenário

Perfil populacional		Cenário	A pé (MET-h)	Bicicleta (MET-h)	TP (MET-h)
Faixa etária (anos)	Sexo				
20 a 49	M	A	3,53	2,66	0,15
20 a 49	F	A	3,18	2,40	0,13
50 a 64	M	A	3,20	2,41	0,13
50 a 64	F	A	2,51	1,89	0,10
65+	M	A	1,73	1,31	0,07
65+	F	A	1,36	1,03	0,06
20 a 49	M	B	0,52	0,53	0,30
20 a 49	F	B	0,47	0,48	0,27
50 a 64	M	B	0,47	0,48	0,27
50 a 64	F	B	0,37	0,38	0,21
65+	M	B	0,26	0,26	0,15
65+	F	B	0,20	0,20	0,11
20 a 49	M	C	3,74	2,04	0,15
20 a 49	F	C	3,37	1,83	0,13
50 a 64	M	C	3,38	1,84	0,13
50 a 64	F	C	2,66	1,45	0,10
65+	M	C	1,84	1,00	0,07
65+	F	C	1,44	0,79	0,06
20 a 49	M	D	3,72	4,20	0,15
20 a 49	F	D	3,35	3,78	0,13
50 a 64	M	D	3,37	3,80	0,13
50 a 64	F	D	2,64	2,98	0,10
65+	M	D	1,83	2,06	0,07
65+	F	D	1,44	1,62	0,06
20 a 49	M	E	5,83	4,20	2,96
20 a 49	F	E	5,24	3,78	2,66
50 a 64	M	E	5,27	3,80	2,68
50 a 64	F	E	4,14	2,98	2,10
65+	M	E	2,86	2,06	1,45
65+	F	E	2,25	1,62	1,14

Fonte: Elaboração própria.

Gasto energético semanal total para o nível de atividade física por população e cenário

População:		Insuficientemente	Ativo	Muito ativo
Faixa etária (anos)	Cenário	ativo (MET-h)	(MET-h)	(MET-h)
20 a 64	A	7,50	28,59	112,43
20 a 64	B	2,93	24,02	107,87
20 a 64	C	7,12	28,21	112,05
20 a 64	D	9,08	30,17	114,02
20 a 64	E	13,58	34,67	118,51
65 ou mais	A	3,52	18,63	51,03
65 ou mais	B	1,41	16,52	48,92
65 ou mais	C	3,35	18,46	50,86
65 ou mais	D	4,26	19,37	51,77
65 ou mais	E	6,34	21,45	53,85

Fonte: Elaboração própria.

Gasto energético semanal total para o nível de atividade física por perfil populacional e cenário

Perfil populacional		Cenário	Insuficientemente	Ativo	Muito ativo
Faixa etária (anos)	Sexo		ativo (MET-h)	(MET-h)	(MET-h)
20 a 49	M	A	8,23	28,70	121,33
20 a 49	F	A	7,04	28,80	105,09
50 a 64	M	A	7,47	29,37	107,65
50 a 64	F	A	6,54	26,90	102,07
65+	M	A	4,12	19,95	48,92
65+	F	A	3,19	17,15	53,45
20 a 49	M	B	3,23	23,71	116,34
20 a 49	F	B	2,54	24,31	100,59
50 a 64	M	B	2,95	24,86	103,14
50 a 64	F	B	3,00	23,36	98,52
65+	M	B	1,66	17,50	46,47
65+	F	B	1,27	15,22	51,53
20 a 49	M	C	7,81	28,29	120,91
20 a 49	F	C	6,66	28,43	104,71

50 a 64	M	C	7,09	29,00	107,28
50 a 64	F	C	6,24	26,61	101,77
65+	M	C	3,91	19,75	48,72
65+	F	C	3,03	16,98	53,29
20 a 49	M	D	9,96	30,43	123,06
20 a 49	F	D	8,59	30,36	106,64
50 a 64	M	D	9,03	30,94	109,22
50 a 64	F	D	7,77	28,13	103,30
65+	M	D	4,97	20,80	49,77
65+	F	D	3,86	17,81	54,12
20 a 49	M	E	14,87	35,35	127,97
20 a 49	F	E	13,01	34,78	111,07
50 a 64	M	E	13,48	35,39	113,67
50 a 64	F	E	11,26	31,62	106,78
65+	M	E	7,38	23,21	52,19
65+	F	E	5,76	19,71	56,02

Fonte: Elaboração própria.

Risco relativo para o nível de atividade física por população e cenário

População: Faixa etária (anos)	Cenário	Insuficientemente ativo (IC 95%)	Ativo (IC 95%)	Muito ativo (IC 95%)
20 a 64	A	0,827 (0,78; 0,863)	0,765 (0,716; 0,814)	0,684 (0,619; 0,75)
20 a 64	B	0,86 (0,822; 0,89)	0,774 (0,726; 0,821)	0,687 (0,622; 0,753)
20 a 64	C	0,829 (0,783; 0,865)	0,766 (0,717; 0,815)	0,684 (0,619; 0,751)
20 a 64	D	0,819 (0,771; 0,857)	0,762 (0,713; 0,812)	0,683 (0,618; 0,75)
20 a 64	E	0,802 (0,75; 0,843)	0,755 (0,704; 0,806)	0,681 (0,615; 0,748)
65 ou mais	A	0,854 (0,814; 0,886)	0,786 (0,741; 0,831)	0,732 (0,674; 0,79)
65 ou mais	B	0,878 (0,851; 0,904)	0,792 (0,747; 0,836)	0,735 (0,677; 0,792)
65 ou mais	C	0,856 (0,817; 0,887)	0,787 (0,741; 0,832)	0,732 (0,674; 0,79)
65 ou mais	D	0,848 (0,806; 0,88)	0,784 (0,738; 0,83)	0,731 (0,673; 0,789)
65 ou mais	E	0,833 (0,788; 0,869)	0,779 (0,733; 0,826)	0,729 (0,671; 0,787)

Fonte: Elaboração própria.

Risco relativo para o nível de atividade física por perfil populacional e cenário

Perfil populacional		Cenário	Insuficientemente ativo (IC 95%)	Ativo (IC 95%)	Muito ativo (IC 95%)
Faixa etária (anos)	Sexo				
20 a 49	M	A	0,823 (0,776; 0,86)	0,765 (0,716; 0,814)	0,679 (0,613; 0,746)
20 a 49	F	A	0,829 (0,783; 0,865)	0,765 (0,715; 0,814)	0,688 (0,624; 0,754)
50 a 64	M	A	0,827 (0,781; 0,864)	0,764 (0,714; 0,813)	0,687 (0,622; 0,753)
50 a 64	F	A	0,832 (0,787; 0,868)	0,768 (0,719; 0,817)	0,69 (0,626; 0,756)
65+	M	A	0,849 (0,808; 0,881)	0,783 (0,737; 0,829)	0,735 (0,677; 0,792)
65+	F	A	0,857 (0,818; 0,888)	0,79 (0,745; 0,834)	0,73 (0,671; 0,788)
20 a 49	M	B	0,857 (0,818; 0,888)	0,774 (0,727; 0,822)	0,682 (0,616; 0,749)
20 a 49	F	B	0,865 (0,828; 0,894)	0,773 (0,725; 0,821)	0,691 (0,627; 0,756)
50 a 64	M	B	0,86 (0,822; 0,89)	0,772 (0,724; 0,82)	0,69 (0,625; 0,755)
50 a 64	F	B	0,86 (0,821; 0,89)	0,775 (0,728; 0,822)	0,693 (0,628; 0,757)
65+	M	B	0,873 (0,845; 0,9)	0,789 (0,744; 0,834)	0,738 (0,68; 0,794)
65+	F	B	0,881 (0,855; 0,906)	0,795 (0,752; 0,839)	0,732 (0,674; 0,79)
20 a 49	M	C	0,825 (0,778; 0,862)	0,766 (0,716; 0,815)	0,679 (0,613; 0,746)
20 a 49	F	C	0,831 (0,786; 0,867)	0,765 (0,716; 0,814)	0,689 (0,624; 0,754)
50 a 64	M	C	0,829 (0,783; 0,865)	0,764 (0,715; 0,814)	0,687 (0,622; 0,753)
50 a 64	F	C	0,834 (0,789; 0,869)	0,769 (0,72; 0,817)	0,69 (0,626; 0,756)
65+	M	C	0,851 (0,81; 0,883)	0,783 (0,737; 0,829)	0,735 (0,677; 0,792)

65+	F	C	0,859 (0,821; 0,889)	0,79 (0,746; 0,835)	0,73 (0,671; 0,788)
20 a 49	M	D	0,815 (0,766; 0,854)	0,762 (0,712; 0,811)	0,678 (0,612; 0,745)
20 a 49	F	D	0,821 (0,774; 0,859)	0,762 (0,712; 0,812)	0,687 (0,623; 0,753)
50 a 64	M	D	0,819 (0,771; 0,857)	0,761 (0,711; 0,811)	0,686 (0,621; 0,752)
50 a 64	F	D	0,825 (0,779; 0,862)	0,766 (0,717; 0,815)	0,69 (0,625; 0,755)
65+	M	D	0,842 (0,8; 0,876)	0,781 (0,734; 0,827)	0,734 (0,676; 0,791)
65+	F	D	0,851 (0,811; 0,883)	0,788 (0,743; 0,833)	0,729 (0,67; 0,787)
20 a 49	M	E	0,798 (0,745; 0,840)	0,754 (0,703; 0,805)	0,676 (0,609; 0,743)
20 a 49	F	E	0,804 (0,752; 0,845)	0,755 (0,704; 0,806)	0,685 (0,62; 0,751)
50 a 64	M	E	0,802 (0,75; 0,844)	0,754 (0,703; 0,805)	0,683 (0,618; 0,75)
50 a 64	F	E	0,81 (0,76; 0,85)	0,76 (0,71; 0,81)	0,687 (0,622; 0,753)
65+	M	E	0,827 (0,781; 0,864)	0,775 (0,728; 0,823)	0,731 (0,673; 0,789)
65+	F	E	0,837 (0,793; 0,872)	0,783 (0,737; 0,829)	0,727 (0,668; 0,786)

Fonte: Elaboração própria.

Fração atribuível populacional (FAP) para o nível de atividade física por população e cenário

População:		Insuficientemente	Ativo	Muito ativo
Faixa etária	Cenário	ativo (IC 95%)	(IC 95%)	(IC 95%)
(anos)				
20 a 64	A	- 0,072 (- 0,092; - 0,056)	- 0,098 (- 0,121; - 0,076)	- 0,08 (- 0,098; -0,062)
20 a 64	B	- 0,057 (- 0,074; -0,044)	- 0,094 (- 0,116; - 0,073)	- 0,079 (- 0,098; - 0,062)
20 a 64	C	- 0,071	- 0,098	- 0,08

			(- 0,091; - 0,055)	(- 0,12; - 0,076)	(- 0,098; - 0,062)
20 a 64	D		- 0,075	- 0,099	- 0,08
			(- 0,097; - 0,058)	(- 0,122; - 0,077)	(- 0,099; - 0,063)
20 a 64	E		- 0,083	- 0,103	- 0,081
			(- 0,107; - 0,064)	(- 0,126; - 0,08)	(- 0,1; - 0,063)
65 ou mais	A		- 0,119 (- 0,157; - 0,091)	- 0,05	- 0,013
				(- 0,061; - 0,039)	(- 0,016; - 0,01)
65 ou mais	B		- 0,098	- 0,049	- 0,013
			(- 0,122; - 0,075)	(- 0,06; - 0,038)	(- 0,015; - 0,01)
65 ou mais	C		- 0,118	- 0,05	- 0,013
			(- 0,155; - 0,09)	(- 0,061; - 0,039)	(- 0,016; - 0,01)
65 ou mais	D		- 0,125	- 0,05	- 0,013
			(- 0,165; - 0,096)	(- 0,062; - 0,039)	(- 0,016; - 0,01)
65 ou mais	E		- 0,139	- 0,052	- 0,013
			(- 0,183; - 0,106)	(- 0,063; - 0,04)	(- 0,016; - 0,01)

Fonte: Elaboração própria.

Fração atribuível populacional (FAP) para o nível de atividade física por perfil populacional e cenário

Perfil populacional		Cenário	Insuficientemente ativo (IC 95%)	Ativo (IC 95%)	Muito ativo (IC 95%)
Faixa etária (anos)	Sexo				
20 a 49	M	A	- 0,042 (- 0,054; - 0,033)	- 0,118 (- 0,146; - 0,091)	- 0,115 (- 0,142; - 0,089)
20 a 49	F	A	- 0,070 (- 0,091; - 0,055)	- 0,110 (- 0,136; - 0,085)	- 0,063 (- 0,078; - 0,049)
50 a 64	M	A	- 0,069 (- 0,089; - 0,054)	- 0,095 (- 0,117; - 0,074)	- 0,089 (- 0,109; - 0,069)
50 a 64	F	A	- 0,111 (- 0,145; - 0,086)	- 0,065 (- 0,08; - 0,051)	- 0,045 (- 0,055; - 0,035)
65+	M	A	- 0,105 (- 0,138; - 0,081)	- 0,073 (- 0,09; - 0,057)	- 0,016 (- 0,019; - 0,012)
65+	F	A	- 0,129 (- 0,17; - 0,099)	- 0,034 (- 0,042; - 0,027)	- 0,011 (- 0,013; - 0,008)
20 a 49	M	B	- 0,034 (- 0,044; - 0,027)	- 0,113 (- 0,14; - 0,087)	- 0,114 (- 0,141; - 0,088)

20 a 49	F	B	- 0,055 (- 0,071; - 0,043)	- 0,105 (- 0,130; - 0,081)	- 0,063 (- 0,077; - 0,049)
50 a 64	M	B	- 0,055 (- 0,071; - 0,043)	- 0,091 (- 0,113; - 0,071)	- 0,088 (- 0,108; - 0,068)
50 a 64	F	B	- 0,091 (- 0,119; - 0,07)	- 0,063 (- 0,077; - 0,049)	- 0,045 (- 0,055; - 0,035)
65+	M	B	- 0,087 (- 0,108; - 0,067)	- 0,07 (- 0,087; - 0,055)	- 0,015 (- 0,019; - 0,012)
65+	F	B	- 0,106 (- 0,132; - 0,081)	- 0,034 (- 0,041; - 0,026)	- 0,011 (- 0,013; - 0,008)
20 a 49	M	C	- 0,042 (- 0,054; - 0,033)	- 0,118 (- 0,146; - 0,091)	- 0,115 (- 0,142; - 0,089)
20 a 49	F	C	- 0,069 (- 0,09; - 0,054)	- 0,109 (- 0,135; - 0,085)	- 0,063 (- 0,078; - 0,049)
50 a 64	M	C	- 0,068 (- 0,088; - 0,053)	- 0,095 (- 0,117; - 0,073)	- 0,088 (- 0,109; - 0,069)
50 a 64	F	C	- 0,110 (- 0,144; - 0,085)	- 0,065 (- 0,08; - 0,051)	- 0,045 (- 0,055; - 0,035)
65+	M	C	- 0,104 (- 0,136; - 0,08)	- 0,073 (- 0,089; - 0,056)	- 0,016 (- 0,019; - 0,012)
65+	F	C	- 0,127 (- 0,168; - 0,097)	- 0,034 (- 0,042; - 0,027)	- 0,011 (- 0,013; - 0,008)
20 a 49	M	D	- 0,044 (- 0,057; - 0,035)	- 0,12 (- 0,148; - 0,092)	- 0,115 (- 0,142; - 0,089)
20 a 49	F	D	- 0,074 (- 0,095; - 0,057)	- 0,111 (- 0,137; - 0,086)	- 0,064 (- 0,078; - 0,050)
50 a 64	M	D	- 0,072 (- 0,093; - 0,056)	- 0,096 (- 0,118; - 0,075)	- 0,089 (- 0,109; - 0,069)
50 a 64	F	D	- 0,116 (- 0,152; - 0,089)	- 0,066 (- 0,081; - 0,051)	- 0,045 (- 0,055; - 0,036)
65+	M	D	- 0,11 (- 0,145; - 0,085)	- 0,073 (- 0,090; - 0,057)	- 0,016 (- 0,019; - 0,012)
65+	F	D	- 0,136 (- 0,179; - 0,104)	- 0,035 (- 0,042; - 0,027)	- 0,011 (- 0,013; - 0,008)
20 a 49	M	E	- 0,049 (- 0,062; - 0,038)	- 0,124 (- 0,154; - 0,096)	- 0,116 (- 0,144; - 0,09)
20 a 49	F	E	- 0,082 (- 0,105; - 0,063)	- 0,115 (- 0,142; - 0,089)	- 0,064 (- 0,079; - 0,05)
50 a 64	M	E	- 0,08	- 0,099	- 0,09

			(- 0,103; - 0,062)	(- 0,122; - 0,077)	(- 0,11; - 0,07)
50 a 64	F	E	- 0,128	- 0,068	- 0,046
			(- 0,167; - 0,098)	(- 0,083; - 0,053)	(- 0,056; - 0,036)
65+	M	E	- 0,122	- 0,075	- 0,016
			(- 0,16; - 0,094)	(- 0,093; - 0,059)	(- 0,019; - 0,012)
65+	F	E	- 0,151	- 0,036	- 0,011
			(- 0,199; - 0,115)	(- 0,043; - 0,028)	(- 0,013; - 0,009)

Fonte: Elaboração própria.

Atividade física: variação da Fração Atribuível Populacional em relação ao cenário base (Δ FAP) por população e cenário

População:		FAP total cenário	FAP Cenário base	Δ FAP
Faixa etária (anos)	Cenário	(IC 95%)	(IC 95%)	(IC 95%)
20 a 64	A	- 0,25 (- 0,312; - 0,194)	- 0,25 (- 0,312; - 0,194)	0
20 a 64	B	- 0,23 (- 0,287; - 0,179)	- 0,25 (- 0,312; - 0,194)	+ 0,019 (+ 0,015; + 0,025)
20 a 64	C	- 0,248 (- 0,310; - 0,193)	- 0,25 (- 0,312; - 0,194)	+ 0,001 (+ 0,001; + 0,002)
20 a 64	D	- 0,255 (- 0,318; - 0,198)	- 0,25 (- 0,312; - 0,194)	- 0,005 (- 0,006; - 0,004)
20 a 64	E	- 0,266 (- 0,333; - 0,207)	- 0,25 (- 0,312; - 0,194)	- 0,017 (- 0,021; - 0,013)
65 ou mais	A	- 0,182 (- 0,234; - 0,14)	- 0,182 (- 0,234; - 0,14)	0
65 ou mais	B	- 0,159 (- 0,197; - 0,123)	- 0,182 (- 0,234; - 0,14)	+ 0,022 (+ 0,017; + 0,036)
65 ou mais	C	- 0,180 (- 0,231; - 0,139)	- 0,182 (- 0,234; - 0,14)	+ 0,002 (+ 0,001; + 0,002)
65 ou mais	D	- 0,188 (- 0,242; - 0,145)	- 0,182 (- 0,234; - 0,14)	- 0,006 (- 0,009; - 0,005)
65 ou mais	E	- 0,203 (- 0,262; - 0,157)	- 0,182 (- 0,234; - 0,14)	- 0,021 (- 0,028; - 0,016)

Fonte: Elaboração própria.

Atividade física: variação da Fração Atribuível Populacional em relação ao cenário base (Δ FAP) por perfil populacional e cenário

Perfil populacional		FAP total cenário	FAP Cenário base	Δ FAP	
Faixa etária (anos)	Sexo	(IC 95%)	(IC 95%)	(IC 95%)	
20 a 49	M	A	- 0,275	- 0,275	0
			(- 0,343; - 0,213)	(- 0,343; - 0,213)	
20 a 49	F	A	- 0,244	- 0,244	0
			(- 0,304; - 0,189)	(- 0,304; - 0,189)	
50 a 64	M	A	- 0,253	- 0,253	0
			(- 0,315; - 0,196)	(- 0,315; - 0,196)	
50 a 64	F	A	- 0,222	- 0,222	0
			(- 0,281; - 0,172)	(- 0,281; - 0,172)	

65+	M	A	- 0,194 (- 0,246; - 0,15)	- 0,194 (- 0,246; - 0,15)	0
65+	F	A	- 0,174 (- 0,226; - 0,134)	- 0,174 (- 0,226; - 0,134)	0
20 a 49	M	B	- 0,260 (- 0,324; - 0,201)	- 0,275 (- 0,343; - 0,213)	+ 0,015 (+ 0,012; + 0,019)
20 a 49	F	B	- 0,223 (- 0,278; - 0,173)	- 0,244 (- 0,304; - 0,189)	+ 0,021 (+ 0,016; + 0,026)
50 a 64	M	B	- 0,234 (- 0,292; - 0,181)	- 0,253 (- 0,315; - 0,196)	+ 0,019 (+ 0,015; + 0,023)
50 a 64	F	B	- 0,199 (- 0,252; - 0,155)	- 0,222 (- 0,281; - 0,172)	+ 0,022 (+ 0,017; + 0,029)
65+	M	B	- 0,173 (- 0,214; - 0,134)	- 0,194 (- 0,246; - 0,15)	+ 0,02 (+ 0,016; + 0,033)
65+	F	B	- 0,15 (- 0,186; - 0,116)	- 0,174 (- 0,226; - 0,134)	+ 0,024 (+ 0,018; + 0,04)
20 a 49	M	C	- 0,274 (- 0,341; - 0,212)	- 0,275 (- 0,343; - 0,213)	+ 0,001 (+ 0,001; + 0,001)
20 a 49	F	C	- 0,242 (- 0,303; - 0,188)	- 0,244 (- 0,304; - 0,189)	+ 0,001 (+ 0,001; + 0,002)
50 a 64	M	C	- 0,251 (- 0,314; - 0,195)	- 0,253 (- 0,315; - 0,196)	+ 0,001 (+ 0,001; + 0,002)
50 a 64	F	C	- 0,22 (- 0,279; - 0,171)	- 0,222 (- 0,281; - 0,172)	+ 0,001 (+ 0,001; + 0,002)
65+	M	C	- 0,192 (- 0,244; - 0,148)	- 0,194 (- 0,246; - 0,15)	+ 0,002 (+ 0,001; + 0,002)
65+	F	C	- 0,173 (- 0,223; - 0,133)	- 0,174 (- 0,226; - 0,134)	+ 0,002 (+ 0,001; + 0,002)
20 a 49	M	D	- 0,279 (- 0,348; - 0,216)	- 0,275 (- 0,343; - 0,213)	- 0,004 (- 0,005; - 0,003)

20 a 49	F	D	- 0,249 (- 0,311; - 0,193)	- 0,244 (- 0,304; - 0,189)	- 0,005 (- 0,006; - 0,004)
50 a 64	M	D	- 0,257 (- 0,321; -0,2)	- 0,253 (- 0,315; - 0,196)	- 0,005 (- 0,006; - 0,004)
50 a 64	F	D	- 0,228 (- 0,288; -0,176)	- 0,222 (- 0,281; - 0,172)	- 0,006 (- 0,007; - 0,004)
65+	M	D	- 0,199 (- 0,254; - 0,154)	- 0,194 (- 0,246; - 0,15)	- 0,006 (- 0,008; -0,005)
65+	F	D	- 0,181 (- 0,235; - 0,139)	- 0,174 (- 0,226; - 0,134)	- 0,007 (- 0,009; - 0,005)
20 a 49	M	E	- 0,289 (- 0,36; - 0,224)	- 0,275 (- 0,343; - 0,213)	- 0,014 (- 0,017; - 0,011)
20 a 49	F	E	- 0,261 (- 0,326; - 0,202)	- 0,244 (- 0,304; - 0,189)	- 0,017 (- 0,022; -0,013)
50 a 64	M	E	- 0,269 (- 0,335; - 0,209)	- 0,253 (- 0,315; - 0,196)	- 0,016 (- 0,02; - 0,013)
50 a 64	F	E	- 0,241 (- 0,306; - 0,187)	- 0,222 (- 0,281; - 0,172)	- 0,019 (- 0,025; - 0,015)
65+	M	E	-0,213 (- 0,272; -0,165)	- 0,194 (- 0,246; - 0,15)	- 0,02 (- 0,026; -0,015)
65+	F	E	- 0,197 (- 0,256; - 0,151)	- 0,174 (- 0,226; - 0,134)	- 0,023 (- 0,03; -0,017)

Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE D — POLUIÇÃO DO AR: CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO MÉDIA ANUAL DE PM2.5 POR CENÁRIO

PM2.5: Cálculo da emissão total anual (em toneladas) por cenário

Cenário		TI: PM2.5 emitido (t)	TP: PM2.5 emitido (t)	Transporte: PM2.5 emitido (t)
Padrão de mobilidade urbana	Nível de eletrificação da frota			
A	N0	155.050.857	16.953	155.067.810
B	N0	283.273.260	3.415	283.276.675
C	N0	186.833.038	13.113	186.846.151
D	N0	114.582.442	27.045	114.609.488
E	N0	54.108.376	27.045	54.135.421
A	N1	131.090.936	11.674	131.102.609
B	N1	239.499.203	2.351	239.501.554
C	N1	157.961.834	9.029	157.970.863
D	N1	96.876.082	18.623	96.894.705
E	N1	45.747.039	18.623	45.765.662
A	N2	107.099.025	10.354	107.109.379
B	N2	195.666.703	2.086	195.668.788
C	N2	129.052.084	8.008	129.060.092
D	N2	79.146.082	16.517	79.162.599
E	N2	37.374.539	16.517	37.391.056
A	N3	95.103.070	9.034	95.112.103
B	N3	173.750.452	1.820	173.752.272
C	N3	114.597.208	6.987	114.604.196
D	N3	70.281.082	14.412	70.295.493
E	N3	33.188.289	14.412	33.202.700
A	N4	75.109.811	8.154	75.117.965
B	N4	137.223.369	1.642	137.225.011
C	N4	90.505.750	6.307	90.512.057
D	N4	55.506.082	13.008	55.519.090
E	N4	26.211.205	13.008	26.224.213

Fonte: Elaboração própria.

PM2.5: Cálculo da concentração média anual geral por cenário

Cenário		Transporte: PM2.5 emitido (t)	PM2.5: Concentração média anual geral para o cenário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Padrão de mobilidade urbana	Nível de eletrificação da frota		
A	N0	155.067.810	11,55
B	N0	283.276.675	15,27
C	N0	186.846.151	12,47
D	N0	114.609.488	10,37
E	N0	54.135.421	8,62
A	N1	131.102.609	10,85
B	N1	239.501.554	14
C	N1	157.970.863	11,63
D	N1	96.894.705	9,86
E	N1	45.765.662	8,37
A	N2	107.109.379	10,16
B	N2	195.668.788	12,73
C	N2	129.060.092	10,79
D	N2	79.162.599	9,35
E	N2	37.391.056	8,13
A	N3	95.112.103	9,81
B	N3	173.752.272	12,09
C	N3	114.604.196	10,37
D	N3	70.295.493	9,09
E	N3	33.202.700	8,01
A	N4	75.117.965	9,23
B	N4	137.225.011	11,03
C	N4	90.512.057	9,67
D	N4	55.519.090	8,66
E	N4	26.224.213	7,81

Fonte: Elaboração própria.

**APÊNDICE E — SINISTROS DE TRÂNSITO: CÓDIGOS CID E CLASSIFICAÇÃO
DO PAR VÍTIMA-COLIDENTE**

“CID DESCRITIVO”	Modo “vítima”	Modo “colidente”
V011 -> PEDESTRE TRAUM. EM COL. C/ VEIC. A PEDAL - ACIDENTE DE TRANSITO	A pé	Bicicleta
V021 -> PEDESTRE TRAUM. EM COL. C/ VEIC. A MOTOR DE 2/3 RODAS - ACIDENTE DE TRANSITO	A pé	TI
V031 -> PEDESTRE TRAUM. EM COL. C/ CARRO, PICK-UP OU CAMINHONETE - ACIDENTE DE TRANSITO	A pé	TI
V041 -> PEDESTRE TRAUM. EM COL. C/ VEIC. TRANS. PESADO OU ONIBUS - ACIDENTE DE TRANSITO	A pé	TP
V092 -> PEDESTRE TRAUM. EM ACID. DE TRANSITO ENVOLVENDO OUTROS VEICULOS E OS NAO ESPECIFICADOS, A MOTOR	A pé	Não especificado
V093 -> PEDESTRE TRAUM. EM ACID. DE TRANSITO NAO ESPECIFICADO	A pé	Não especificado
V099 -> PEDESTRE TRAUM. EM ACID. DE TRANSPORTE NAO ESPECIFICADO	A pé	Não especificado
V134 -> CICLISTA TRAUM. EM COL. COM AUTOM., PICK-UP OU CAMINH. - CONDUTOR TRAUMAT. EM ACIDENTE DE TRANSITO	Bicicleta	TI
V144 -> CICLISTA TRAUM. EM COL. C/ VEIC. TRANS. PES. OU ONIBUS - CONDUTOR TRAUMAT. EM ACIDENTE DE TRANSITO	Bicicleta	TP
V224 -> MOTOCICLISTA TRAUM. EM COL. C/VEIC. A MOTOR DE 2/3 RODAS - CONDUTOR TRAUM. EM ACIDENTE DE TRANSITO	TI	TI
V230 -> MOTOCICLISTA TRAUM. EM COL. C/CARRO, PICK-UP OU CAMINHON. - CONDUTOR TRAUM. EM ACID. NAO-TRANSITO	TI	TI
V234 -> MOTOCICLISTA TRAUM. EM COL. C/CARRO, PICK-UP OU CAMINHON. - CONDUTOR	TI	TI

TRAUM. EM ACIDENTE DE TRANSITO		
V235 -> MOTOCICLISTA TRAUM. EM COL. C/CARRO, PICK-UP OU CAMINHON. - PASSAG. TRAUM. EM ACIDENTE DE TRANSITO	TI	TI
V244 -> MOTOCICLISTA TRAUM. EM COL. COM TRANSP. PESADO OU ONIBUS - CONDUTOR TRAUM. EM ACIDENTE DE TRANSITO	TI	TP
V245 -> MOTOCICLISTA TRAUM. EM COL. COM TRANSP. PESADO OU ONIBUS - PASSAG. TRAUM. EM ACIDENTE DE TRANSITO	TI	TP
V264 -> MOTOCICLISTA TRAUM. EM COL. C/OUTRO VEIC. NAO-MOTORIZADO - CONDUTOR TRAUM. EM ACIDENTE DE TRANSITO	TI	Bicicleta
V274 -> MOTOCICLISTA TRAUM. EM COL. COM UM OBJETO FIXO OU PARADO - CONDUTOR TRAUM. EM ACIDENTE DE TRANSITO	TI	Não especificado
V275 -> MOTOCICLISTA TRAUM. EM COL. COM UM OBJETO FIXO OU PARADO - PASSAG. TRAUM. EM ACIDENTE DE TRANSITO	TI	Não especificado
V284 -> MOTOCICLISTA TRAUM. EM ACIDENTE DE TRANSPORTE SEM COLISAO - CONDUTOR TRAUM. EM ACIDENTE DE TRANSITO	TI	Não especificado
V435 -> OCUPANTE DE CARRO TRAUM. EM COL. C/CARRO/PICK-UP - CONDUTOR TRAUMATIZADO EM ACIDENTE DE TRANSITO	TI	TI
V436 -> OCUPANTE DE CARRO TRAUM. EM COL. C/CARRO/PICK-UP - PASSAGEIRO TRAUMATIZADO EM ACIDENTE TRANSITO	TI	TI
V439 -> OCUPANTE DE CARRO TRAUM. EM COL. C/CARRO/PICK-UP - OCUP. NAO ESPEC. DO CARRO TRAUM. ACID. TRANSITO	TI	TI
V445 -> OCUPANTE DE CARRO TRAUM. EM COL. C/TRANSP. PESADO - CONDUTOR TRAUMATIZADO EM ACIDENTE DE TRANSITO	TI	TP
V446 -> OCUPANTE DE CARRO TRAUM. EM COL. C/TRANSP. PESADO - PASSAGEIRO	TI	TP

TRAUMATIZADO EM ACIDENTE TRANSITO		
V449 -> OCUPANTE DE CARRO TRAUM. EM COL. C/TRANSP. PESADO - OCUP. NAO ESPEC. DO CARRO TRAUM. ACID. TRANSITO	TI	TP
V476 -> OCUPANTE DE CARRO TRAUM. EM COL. C/OBJ. FIXO/PARADO - PASSAGEIRO TRAUMATIZADO EM ACIDENTE TRANSITO	TI	Não especificado
V485 -> OCUPANTE DE CARRO TRAUM. EM ACID. TRANSP. S/COLISAO - CONDUTOR TRAUMATIZADO EM ACIDENTE DE TRANSITO	TI	Não especificado
V494 -> CONDUTOR TRAUM. EM COLISAO C/OUT. VEIC. E C/VEICULOS NAO ESPECIF. A MOTOR EM UM ACIDENTE DE TRANSITO	TI	Não especificado
V545 -> OCUPANTE CAMINHONETE TRAUM. EM COL. C/TRANS. PESADO - CONDUTOR TRAUMATIZADO EM ACIDENTE DE TRANSITO	TI	TP
V546 -> OCUPANTE CAMINHONETE TRAUM. EM COL. C/TRANS. PESADO - PASSAGEIRO TRAUMATIZADO EM ACIDENTE TRANSITO	TI	TP
V580 -> OCUPANTE CAMINHONETE TRAUM. ACID. TRANSP. S/COLISAO - CONDUTOR TRAUM. ACID. NAO-TRANSITO	TI	Não especificado
V698 -> OCUPANTE DE UM VEICULO DE TRANSPORTE PESADO TRAUM. EM OUTROS ACIDENTES DE TRANSPORTE ESPECIFICADOS	TP	Não especificado
V699 -> OCUPANTE DE UM VEICULO DE TRANSPORTE PESADO TRAUM. EM UM ACIDENTE DE TRANSITO NAO ESPECIFICADO	TP	Não especificado
V747 -> OCUPANTE DE ONIBUS TRAUM. EM COL. C/TRANSP. PESADO - PESS. VIAJ. EXT. VEIC. TRAUM. ACID. TRANSITO	TP	TP