



MÉTODO DE ANÁLISE PARA AVALIAÇÃO DA DISPARIDADE DE
ACESSIBILIDADE ENTRE O TRANSPORTE PÚBLICO URBANO E
INDIVIDUAL POR AUTOMÓVEL

JEFFERSON HISHIYAMA DA SILVA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES

FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TRANSPORTES

MÉTODO DE ANÁLISE PARA AVALIAÇÃO DA DISPARIDADE DE
ACESSIBILIDADE ENTRE O TRANSPORTE PÚBLICO URBANO E
INDIVIDUAL POR AUTOMÓVEL

JEFFERSON HISHIYAMA DA SILVA

ORIENTADOR: DR. PASTOR WILLY GONZALES TACO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES

PUBLICAÇÃO: T.DM-001/2021

BRASÍLIA-DF: JUNHO/2021

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TRANSPORTES

MÉTODO DE ANÁLISE PARA AVALIAÇÃO DA DISPARIDADE DE
ACESSIBILIDADE ENTRE O TRANSPORTE PÚBLICO URBANO E
INDIVIDUAL POR AUTOMÓVEL

JEFFERSON HISHIYAMA DA SILVA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TRANSPORTES DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TRANSPORTES.

APROVADA E ASSINADA ELETRONICAMENTE POR:

PASTOR WILLY GONZALES TACO, Doutor, Universidade de Brasília
(ORIENTADOR)

FABIANA SERRA DE ARRUDA, Doutora, Universidade de Brasília
(EXAMINADORA INTERNA)

MARIANA ABRANTES GIANOTTI, Doutora, Universidade de São Paulo
(EXAMINADORA EXTERNA)

Processo SEI/UnB: 23106.059241/2021-15

Documento: 6722396

BRASÍLIA-DF, 23 DE JUNHO DE 2021.

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, JEFFERSON HISHIYAMA DA

Método de análise para avaliação da disparidade de acessibilidade entre o transporte público urbano e individual por automóvel. Brasília, 2021.

xiii, 127p, 210x297mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Transportes, 2021).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1 – Acessibilidade

2 – Planejamento

3 – Transporte público

4 – Uso do Solo

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, J. H. (2021). Método de análise para avaliação da disparidade de acessibilidade entre o transporte público urbano e individual por automóvel. Publicação T.DM-001/2021.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 128p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Jefferson Hishiyama da Silva

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Método de análise para avaliação da disparidade de acessibilidade entre o transporte público urbano e individual por automóvel.

GRAU: Mestre

ANO: 2021

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Jefferson Hishiyama da Silva
jefferson.hishiyama@gmail.com

*“Transportation – I blush to utter a truism now
so frequently ignored – is a means and not an
end.”*

(Lewis Mumford, 1955)

AGRADECIMENTOS

Realizar um mestrado não é uma tarefa fácil, e só foi possível graças a muitos corações que sonharam e caminharam comigo nessa jornada.

Primeiramente, agradeço à minha mãe Mieko Helena e à minha irmã Fernanda por me apoiarem e incentivarem a trilhar novos e maiores caminhos, sendo sempre o meu porto seguro para essas aventuras.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Pastor, pela enorme generosidade e confiança depositada em mim, assim como pelo empenho, interesse e compreensão que permitiram o desenvolvimento e conclusão desse trabalho.

Agradeço a todos os Professores do PPGT cujos ensinamentos foram enriquecedores para minha formação de técnico e de cidadão. Ainda ao PPGT, não posso deixar de agradecer à Camila pela atenção, paciência e gentileza para me auxiliar em todos os trâmites do mestrado.

Aos meus grandes amigos Rasi, Ingrid, Jorge e Gustavo, agradeço por sempre me ajudarem a construir os meus sonhos, acreditarem em mim e, em especial, por terem sido os meus alicerces para suportar os desafios da pós-graduação. Agradeço a Mari, Dani, Amanda e Rauenya, pela amizade, companhia e parcerias na salinha do PPGT, nos almoços, nas viagens e nos congressos. Aos novos amigos que Brasília me trouxe, e também aos amigos de longe, que apesar da distância física sempre se fizeram presentes.

Por fim, e mais importante, agradeço a Deus e a Nossa Senhora por sempre me abençoarem e iluminarem o meu caminho.

RESUMO

Ao longo das últimas décadas, o sistema de transporte público coletivo das principais metrópoles brasileiras tem observado um declínio na demanda de passageiros, o que coloca em risco não apenas a sua sustentabilidade operacional e financeira, mas também a sua função social de prover acesso a oportunidades urbanas, em especial à população mais vulnerável. Nesse sentido, observa-se uma mudança de paradigma no planejamento de transportes orientada à acessibilidade para enfrentar os desafios urbanos emergentes e que possibilita a inter-relação entre políticas de uso do solo e de transportes. Todavia, embora os indicadores de acessibilidade sejam vistos como uma ferramenta de gestão e planejamento voltada ao desenvolvimento sustentável, na prática, a maioria dos países não os adota no planejamento, como é o caso do Brasil. Desse modo, esta dissertação teve como objetivo geral desenvolver um método de análise para avaliação da disparidade de acessibilidade entre o transporte público urbano por ônibus e o individual por automóvel. Como premissas, buscou-se que o método fosse aplicável ao contexto das cidades brasileiras, bem como de fácil mensuração, interpretação e comunicação dos resultados. Para tanto, foi realizada uma revisão bibliográfica, que norteou o desenvolvimento do método denominado *Accessibility Disparity Evaluation Method* – ADEM (“Método de Avaliação de Disparidade de Acessibilidade”, em português), e um estudo-piloto em Brasília-DF, no qual se avaliou as potencialidades e restrições do método proposto. O método ADEM é baseado em SIG e consiste na avaliação e comparação de medidas de acesso a oportunidades de trabalho e estudo de áreas urbanas por meio do transporte motorizado individual privado, e público coletivo – por ônibus. Como resultado, o estudo de caso demonstrou que em Brasília há competição e desigualdade no acesso a oportunidades de transporte individual motorizado quando comparado com o transporte público por ônibus. Por intermédio de uma proposta de intervenção na ampliação da cobertura de atendimento do transporte público, observou-se uma forte autocorrelação espacial na diminuição da disparidade de acessibilidade entre zonas vizinhas (I de Moran: 0,543815; z-score: 153,58332, p-valor < 0,01%), o que impactou positivamente cerca de 455 mil habitantes e gerou um tecido urbano mais contínuo de acessibilidade por transporte público. Nesse sentido, entende-se que o método ADEM apresentou consistência em razão dos objetivos e premissas propostos para o desenvolvimento e a aplicação do método de avaliação. Além do mais, entende-se que este estudo possa contribuir para a promoção da discussão do planejamento de acessibilidade no contexto brasileiro.

Palavras-chave: acessibilidade; planejamento; transporte público; uso do solo.

ABSTRACT

Over the last decades, the public transportation system in the main Brazilian metropolises has been experiencing a decline in passenger demand. This scenario is putting at risk not only the operational and financial sustainability of the system, but also its social function of providing access to urban opportunities, especially for the most vulnerable population. In order to face the emerging urban challenges, transportation planning is observing a new paradigm shift oriented to accessibility, which allows the land use and transportation policies to interrelate. However, although the use of accessibility indicators is seen as a management and planning tool for sustainable development, most countries do not adopt them into their planning practice, as is the case of Brazil. Therefore, this thesis aimed to develop an analysis method to assess the accessibility disparity between urban public transport by bus and private transport by car. As primary assumptions, the method was designed to be feasible to apply in the context of Brazilian cities and easy to measure, interpret, and communicate its results. For this purpose, a literature review was conducted, which guided the development of the proposed method entitled Accessibility Disparity Evaluation Method (ADEM). A case study in Brasília-DF was carried out to evaluate the potentialities and restrictions of the proposed method. The ADEM is based on a GIS platform and consists of assessing and comparing measures of access to work and study opportunities in urban areas both by individual and by public transportation modes. The case study results demonstrated that in Brasília, there are competition and inequality in access to opportunities when traveling by car is compared to public bus transportation. Given a proposed intervention scenario considering the expansion of the transit service area, a strong spatial autocorrelation was observed in the reduction of accessibility disparity between zones (Moran's I: 0.543815; z-score: 153.58332, p-value < 0.01%), which positively impacted an estimated 455,000 residents and generated a more continuous urban accessibility layout by public transport. In this regard, it is considered that the method proposed by this master thesis (ADEM) has demonstrated consistency with the proposed goals and premises established for the development and application of this assessment tool. Moreover, it is expected that this study may contribute to promoting the discussion on accessibility planning in the Brazilian context.

Keywords: accessibility; planning; public transit; land use.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	2
1.2	OBJETIVOS	5
1.3	JUSTIFICATIVA	6
1.4	METODOLOGIA DA DISSERTAÇÃO	7
1.5	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	9
2	REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1	MENSURAÇÃO DA ACESSIBILIDADE	11
2.2	ACESSIBILIDADE NO PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES E USO DO SOLO	15
2.2.1	Sistemas de Transporte	16
2.2.2	Ambiente Construído	17
2.2.3	Equidade no Transporte Público	17
2.3	INSTRUMENTOS DE ACESSIBILIDADE	19
2.3.1	SNAMUTS	21
2.3.2	GraBAM	23
2.3.3	SAL	25
2.4	TÓPICOS CONCLUSIVOS	27
3	<i>ACCESSIBILITY DISPARITY EVALUATION METHOD (ADEM)</i>	29
3.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS DE APLICAÇÃO DO MÉTODO ADEM	29
3.2	O MÉTODO	30
3.2.1	CARACTERIZAÇÃO E DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	32
3.2.2	PREPARAÇÃO E MONTAGEM DA BASE DO SISTEMA DE USO DO SOLO (SUS)	32
3.2.3	PREPARAÇÃO E MONTAGEM DA BASE DE SISTEMA DE TRANSPORTES (ST)	36
3.2.4	INTEGRAÇÃO DOS SISTEMAS SUS E ST	39
3.2.5	DETERMINAÇÃO DAS MEDIDAS DE ACESSIBILIDADES DO SISTEMA.	41
3.2.6	ACCESSIBILITY DISPARITY INDEX (ADI)	43
3.2.7	MATRIZ DE DECISÃO ADEM	45
3.3	TÓPICOS CONCLUSIVOS	47
4	APLICAÇÃO DO MÉTODO ADEM: O CASO DE BRASÍLIA-DF	48
4.1	CARACTERIZAÇÃO DE BRASÍLIA-DF	48
4.1.1	Estruturação Urbana de Brasília	49
4.1.2	Aspectos Socioeconômicos	51

4.1.3	Características da Mobilidade Urbana	54
4.2	PREPARAÇÃO E MONTAGEM DO SISTEMA DE USO DO SOLO (SUS)	59
4.2.1	Criação da malha regular de áreas urbanizadas	59
4.2.2	Dados espaciais de população e oportunidades.....	60
4.2.3	Atribuição das propriedades espaciais às células	61
4.3	PREPARAÇÃO E MONTAGEM DOS SISTEMAS DE TRANSPORTE (ST).....	63
4.3.1	Rede de vias	63
4.3.2	Sistema de Transporte Público.....	67
4.3.3	Preparação do conjunto de dados de rede	70
4.4	INTEGRAÇÃO DOS SISTEMAS SUS E ST	71
4.5	DETERMINAÇÃO DAS MEDIDAS DE ACESSIBILIDADE PARA CADA ZAA..	73
.....	73
4.6	DETERMINAÇÃO DO ‘ACCESSIBILITY DISPARITY INDEX’ DO DISTRITO	75
FEDERAL.....	75
4.7	MATRIZ DE DECISÃO	76
4.8	TÓPICOS CONCLUSIVOS.....	78
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	80
5.1	ESTUDO DE CASO DE BRASÍLIA-DF	80
5.1.1	Diagnóstico da Área de Estudo	80
5.1.2	Cenário de Fluxo Livre	83
5.1.3	Cenário de Congestionamento Médio	86
5.1.4	Cenário de Congestionamento Crítico	89
5.1.5	Resumo da Análise de Resultados	92
5.2	PROPOSTA DE INTERVENÇÃO DE MELHORIA.....	93
5.2.1	Descrição das propostas	93
5.2.2	Avaliação das propostas de intervenção “Área I”	102
5.2.3	Resumo da Proposta de Intervenção	109
5.3	TÓPICOS CONCLUSIVOS.....	110
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	111
6.1	O MÉTODO ADEM	112
6.2	ESTUDO DE CASO EM BRASÍLIA-DF.....	113
6.3	IMPLICAÇÕES DA DISSERTAÇÃO	114
6.4	SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	114
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
	APÊNDICE 1.....	122
	APÊNDICE 2.....	125
	APÊNDICE 3.....	126

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Fluxograma de pesquisa	8
Figura 2.1: Exemplo de representação visual do SNAMUTS – Melbourne, Austrália	23
Figura 2.2: Exemplo de representação visual do GraBAM – Campania, Itália	24
Figura 2.3: Exemplo de representação visual do SAL – Porto, Portugal	26
Figura 3.1: Etapas de análise método ADEM	31
Figura 3.2: Matriz de Decisão do método ADEM	47
Figura 4.1: Localização do DF.	49
Figura 4.2: Regiões Administrativas do DF	50
Figura 4.3: População urbana por RA	52
Figura 4.4: Renda <i>per capita</i> por RA	53
Figura 4.5: Distribuição espacial do total de empregos em Brasília-DF	54
Figura 4.6: Malha viária geral e eixos dedicados ao transporte coletivo.	55
Figura 4.7: Comparação da extensão das linhas de Brasília, São Paulo e Cuiabá	56
Figura 4.8: Matriz de viagem segundo modo de transporte	57
Figura 4.9: Evolução da população, frota e taxa de motorização no DF, 2011 a 2019.....	57
Figura 4.10: Taxa de congestionamento por hora e dia da semana em 2019 em Brasília-DF.	58
Figura 4.11: Processos de criação da malha hexagonal de áreas edificadas	59
Figura 4.12: Reconfiguração dos setores censitários	61
Figura 4.13: Atribuição de propriedades espaciais às células hexagonais	62
Figura 4.14: Segmentação de arcos da base de vias.....	64
Figura 4.15: Malha viária selecionada	65
Figura 4.16: Rede de Transporte Público.....	69
Figura 4.17: Verificação linear do tempo modelado e observado da rede de transporte público	70
Figura 4.18: Seleção de pontos de parada das linhas selecionadas	72
Figura 4.19: Seleção de ZAA atendidas por transporte público	72
Figura 4.20: ZAA com atendimento de transporte público.....	73
Figura 4.21: Resultado das medidas de acessibilidade por cenário avaliado	74
Figura 4.22: Resultado ADI por cenário avaliado.....	75
Figura 4.23: Resultados da Matriz de Decisão de Brasília-DF	77
Figura 5.1: Distribuição espacial da variável <i>população</i> em Brasília-DF	80
Figura 5.2: Distribuição espacial da variável <i>oportunidades</i> em Brasília-DF	81

Figura 5.3: Rede de Transporte Público Seleccionada em Brasília-DF.....	82
Figura 5.4: Matriz de Decisão método ADEM (fluxo livre).....	83
Figura 5.5: Distribuição espacial das áreas de análise (fluxo livre).....	85
Figura 5.6: Matriz de Decisão método ADEM (congestionamento médio)	86
Figura 5.7: Distribuição espacial das áreas de análise (congestionamento médio)	88
Figura 5.8: Matriz de dispersão de ZAA (congestionamento crítico).....	89
Figura 5.9: Distribuição espacial das áreas de análise (congestionamento crítico)	91
Figura 5.10: Proposta de intervenção na Região Oeste do DF.....	95
Figura 5.11: Proposta de intervenção na Região Sudoeste do DF	97
Figura 5.12: Proposta de intervenção na Região Norte e Nordeste do DF	99
Figura 5.13: Proposta de intervenção na Região Central do DF	101
Figura 5.14: Resultado ADI para proposta de intervenção	103
Figura 5.15: Espacialização da melhoria ADI no DF	104
Figura 5.16: Matriz de dispersão de ZAA (Intervenção – congestionamento médio)	105
Figura 5.17: Distribuição espacial das áreas de análise (Intervenção – congestionamento médio)	107
Figura 5.18: Sobreposição de “Área I” entre cenário-base e intervenção.....	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Verificação de tempo de viagem modelado	69
Tabela 4.2: Resumo descritivo dos atributos das ZAA	76
Tabela 4.3: Número de ZAA por área da matriz e cenário de análise	78
Tabela 5.1: Número de ZAA e População por Área Crítica da Matriz de Decisão (fluxo livre)	84
Tabela 5.2: Número de ZAA e População por Área Crítica da Matriz de Decisão (congestionamento médio)	87
Tabela 5.3: Número de ZAA e População por Área Crítica da Matriz de Decisão (congestionamento crítico)	90
Tabela 5.4: Quantitativo da proposta de intervenção na região Oeste	96
Tabela 5.5: Quantitativo da proposta de intervenção na Região Sudoeste	98
Tabela 5.6: Quantitativo da proposta de intervenção na região Norte e Nordeste.....	100
Tabela 5.7: Quantitativo da proposta de intervenção na Região Central	102
Tabela 5.8: Comparação ZAA e população por área crítica da Matriz de Decisão (congestionamento médio)	105

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1: Medidas de Acessibilidade.....	12
Quadro 2.2: Característica dos instrumentos de acessibilidade voltados ao planejamento de transportes	20
Quadro 3.1: Classificação das ZAA segundo área de dispersão na Matriz de Decisão	46
Quadro 4.1: Estrutura das classes de feições (OSM)	63

LISTA DE SIGLAS

ADEM - *Accessibility Disparity Evaluation Method*
ADI - *Accessibility Disparity Index*
ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres
BRT - *Bus Rapid Transit*
BT - *Balancing Time*
DF - Distrito Federal
DivAct - Índice de Diversidade de Atividades
DOA - Desenvolvimento Orientado a Acessibilidade
DOTS - Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável
DRT - *Demand Responsive Transit*
EMPU - Valor Esperado de Máxima Percepção de Utilidade
GraBAM – *Gravity-Based Accessibility Measures for Integrated Transport-Land Use Planning*
IA - Instrumento de Acessibilidade
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPK - Índice de Passageiros por Quilômetro
ITDP – Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento
LUOS - Lei de Uso e Ocupação do Solo
MAG - *Modal Accessibility Gap*
NTU - Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos
OD - Origem-destino
OSM - *OpenStreetMap*
PDTT - Plano de Desenvolvimento do Transporte Público sob Trilhos
PDTU - Plano Diretor de Transporte Urbano
PIB - Produto Interno Bruto
PMU - Pesquisa de Mobilidade Urbana
PNMU - Política Nacional da Mobilidade Urbana
RA - Região Administrativa
RAIS - Relação Anual de Informações Sociais
SAL – *Structural Accessibility Layer*
SEMOB - Secretaria de Transporte e Mobilidade do DF
SIG - Sistema de Informação Geográfica
SNAMUTS - *Spatial Network Analysis for Multimodal Urban Transport*
ST - Sistema de Transportes
STPC - Sistema de Transporte Público Coletivo
SUS - Sistema de Uso do Solo
SVU - Sistema Viário Único
TAZ - Zonas de Análise de Tráfego
TP - Transporte Público
VLT - Veículo Leve sob Trilhos
ZAA - Zona de Análise de Acessibilidade

1 INTRODUÇÃO

O planejamento de transportes, segundo Litman (2019), tem experimentado uma mudança de paradigma ao longo dos anos, em especial pela forma como os problemas são definidos e as soluções são avaliadas. O autor aponta que essa transformação tem ocorrido, principalmente, na esfera da *performance* dos sistemas de transporte, destacando três perspectivas as quais nortearam e norteiam o planejamento de transportes aos longo dos anos: a perspectiva do tráfego, a perspectiva da mobilidade e a perspectiva da acessibilidade.

Inicialmente, o planejamento de transporte adotava a perspectiva do tráfego, tendo como principal objeto de estudo os veículos automotores e os custos operacionais do sistema. Em um segundo momento, a perspectiva da mobilidade passou a ter maior notoriedade, inserindo como foco de análise os usuários de transporte e os tipos de cargas transportadas. E, mais recentemente, o planejamento de transporte tem adotado uma perspectiva mais integrada, orientada pela acessibilidade, a qual avalia a habilidade de pessoas e negócios de alcançarem serviços e atividades desejadas no contexto urbano por intermédio dos sistemas de transporte (LITMAN, 2019).

Nesse sentido, ao utilizar a perspectiva da acessibilidade no planejamento de transportes, o planejador passa a ter, além da variável *transporte* e suas infraestruturas, outros elementos para compor a análise da problemática, como o adensamento urbano, as atividades econômicas, de lazer e saúde, e o uso do solo. Assim, no planejamento urbano a inter-relação entre políticas de uso do solo e de transporte pode ser avaliada com base na acessibilidade, a qual, segundo Acheampong e Silva (2015), pode ser observada na influência que o sistema de transporte exerce na valorização do solo e também na modificação do comportamento e das viagens de indivíduos com base em aspectos da sua localização, por exemplo.

O planejamento de acessibilidade tem a potencialidade de ser realizado em todas as fases de planejamento: no início do projeto, para estudar os possíveis impactos de soluções de transporte; na implantação do projeto, por meio do monitoramento do sistema com um viés orientado ao usuário; e na fase posterior, a conclusão do projeto, para apresentar a evolução dos cenários. Nesse contexto, Deboosere *et al.* (2018) apresentam o conceito de Desenvolvimento Orientado à Acessibilidade (DOA) como uma estratégia de planejamento que promove o balanço entre oportunidades de emprego e trabalhadores para o desenvolvimento urbano. A

abordagem DOA, segundo os autores, possibilita que planejadores tenham um controle maior acerca dos fenômenos que são influenciados pela acessibilidade, como o tempo de deslocamento de trabalhadores e o desenvolvimento econômico de regiões.

Stewart (2017), por meio da perspectiva da equidade nos transportes, ressalta as vantagens da consideração da acessibilidade nos modelos de previsão de demanda em relação ao número de viagens computadas, uma vez que esta auxiliaria de modo a evitar que políticas públicas desse domínio se afastassem de determinados grupos de usuários que, por questões de barreira histórica, nunca tiveram acesso a determinado destino. Desse modo, Curtis *et al.* (2019) argumentam que, diferentemente dos modelos tradicionais de quatro etapas, que são orientados pela demanda, ferramentas de acessibilidade têm a capacidade de analisar um sistema de transporte também com base em sua oferta.

Nesse sentido, instrumentos de acessibilidade têm surgido como ferramentas para apoio à tomada de decisão em planejamento estratégico de transportes, pois, diferentemente dos modelos de transporte tradicionais, as ferramentas de planejamento de acessibilidade mensuram a facilidade de acesso de determinado grupo populacional às oportunidades disponíveis para atender às suas necessidades de vida diária (CURTIS *et al.*, 2019).

1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Os sistemas de transporte público em centros urbanos rotineiramente desempenham a função social de prover acesso a oportunidades e equidade à população atendida. Segundo Rodrigue (2017), o meio de transporte urbano desses sistemas é percebido por especialistas como o mais eficiente, especialmente em grandes cidades. No Brasil, por exemplo, o planejamento de transportes urbanos é orientado pela Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU), instituída pela Lei n. 12.587, de 3 de janeiro de 2012, a qual traz entre suas principais diretrizes a priorização de projetos de transporte público coletivo como estruturadores do território e indutores do desenvolvimento urbano integrado, assim como a garantia de sustentabilidade econômica das redes de transporte público coletivo de passageiros, de modo a preservar a continuidade, a universalidade e a modicidade tarifária do serviço (BRASIL, 2012).

Entretanto, apesar do respaldo e incentivo legal, nas últimas décadas o ônibus urbano tem transportado cada vez menos passageiros no país, sendo a demanda um dos principais desafios enfrentados pelo setor. No Brasil, o levantamento anual realizado pela Associação Nacional das

Empresas de Transportes Urbanos – NTU (2019) revelou que 12,5 milhões de passageiros equivalentes deixaram de ser transportados em nove capitais brasileiras entre os anos de 2018 e 2019. Essa queda de demanda, no entanto, não é recente. Ainda segundo a NTU (2019), desde o início da realização do estudo tem-se observado uma tendência de queda de demanda, o qual evidenciou, no período de 1994 a 2012, uma redução de 24,4% da demanda de transporte público, e entre os anos 2013 a 2017, uma redução ainda mais acentuada, chegando a 25,9%.

Em Brasília, a quarta região urbana mais populosa do país, o sistema de transporte público coletivo rodoviário apresenta uma estagnação de demanda. Antes da pandemia de Covid-19, no ano de 2019 o sistema apresentou uma taxa de decréscimo de usuários de 0,05% em relação a 2016, transportando aproximadamente 355 milhões de passageiros com um Índice de Passageiros por Quilômetro (IPK) de 1,456 (SEMOB, 2019; IBGE, 2020). Ainda, nessa cidade há uma grande dependência da população por automóveis, visto que aproximadamente 49% das viagens são realizadas por transporte individual motorizado, 24% por transporte público coletivo e 20% por transporte ativo a pé (METRÔ-DF, 2017).

A queda e a estagnação da demanda de transporte público por ônibus não são problemas enfrentado apenas pelo Brasil, mas também por países desenvolvidos, como o caso do Japão. Segundo Sakai (2020), o uso do transporte público tem declinado em cidades interioranas japonesas, onde a escolha dos usuários pelo automóvel privado tem aumentado. O autor ressalta que muitos operadores de ônibus no país comprometeram suas operações ao cair em um ciclo vicioso de queda no número de serviços, motivado pela baixa demanda do sistema.

Diante desse cenário, torna-se evidente que é necessário ao planejamento de transportes avançar na solução de problemas relacionados ao planejamento estratégico, tático e operacional do setor, uma vez que os sistemas de transporte público, em especial, são desafiados a se manterem relevantes para a mobilidade urbana e o desenvolvimento sustentável, ao passo que necessitam aumentar sua participação no mercado e reduzir custos de operação e ampliação da rede (RODRIGUE, 2017).

Estudos da acessibilidade de sistemas de transporte urbano, de modo geral, corroboram para as áreas de planejamento de transporte, geografia urbana e desenvolvimento sustentável (NASSIR *et al.*, 2016). Todavia, apesar de a literatura discorrer amplamente sobre a mensuração e avaliação da acessibilidade, Di *et al.* (2018) apontam que esta, em decorrência da

transdisciplinaridade do planejamento de transportes, é sempre abordada e conceituada sob distintas perspectivas, o que não possibilita uma conceituação sólida acerca da temática. Consequentemente, a acessibilidade não é difundida como uma prática de planejamento.

A utilização de instrumentos de acessibilidade tem maior incidência em países que apresentam como requisito legal ao planejamento (urbano e/ou de transportes) a adoção de medidas de acesso a oportunidades, como é o caso do Reino Unido, da Noruega e da Alemanha (HULL *et al.*, 2012b). A adoção de indicadores de acessibilidade é vista como uma ferramenta de gestão e planejamento para o desenvolvimento sustentável do espaço urbano. Todavia, a maioria dos países ainda não adota a instrumentalização da acessibilidade como política pública, como é o caso do Brasil. No país, embora o acesso às oportunidades urbanas seja um dos objetivos fundamentais do Estatuto das Cidades (BRASIL, 2015), em legislações específicas, como a PNMU (BRASIL, 2012), e cadernos técnicos de referência, como o PlanMob (BRASIL, 2015), não se observa a instrumentalização da acessibilidade como requisito legal para o desenvolvimento de políticas públicas.

No entanto, destaca-se que institutos de pesquisa privados e públicos no Brasil já identificam a relevância da análise de acessibilidade no contexto urbano, como pode se observar no projeto “Acesso a Oportunidades”, iniciado em 2019 e desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e o Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP). Esse projeto tem como objetivo compreender as condições de transporte e de desigualdades de acesso a oportunidades nas cidades brasileiras (PEREIRA *et al.*, 2020). Em seu primeiro relatório, é apresentado um retrato das desigualdades de acesso a oportunidades como empregos, serviços de saúde e educação, a pé e por transporte público nas cidades de São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Recife, Fortaleza, Porto Alegre e Curitiba, no qual se identificou que os padrões de distribuição de atividades no território e a conectividade dos corredores de transporte público criam eixos de alta acessibilidade, ao mesmo tempo que áreas com desertos de oportunidades.

A academia também desempenha esforços na análise da acessibilidade em cidades brasileiras, em que se observa a constância de correlação entre vulnerabilidade socioeconômica, dependência do transporte público e baixo acesso a oportunidades de emprego. Em São Paulo, Slovic *et al.* (2019), por exemplo, observam que regiões com baixo IDH-M (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal) estão associadas também à baixa acessibilidade a

empregos por transporte público, também reforçado por Tomasiello *et al.* (2019) ao analisar a variação da acessibilidade por transporte público nessas regiões ao longo do dia. As desvantagens de populações vulneráveis ao acesso a empregos por transporte público também são observadas em outras regiões metropolitanas do Brasil, como Rio de Janeiro, Curitiba e Recife (BOISJOLY *et al.*, 2020).

Em resumo, destaca-se que os transportes urbanos têm enfrentado os seguintes problemas ao longo dos anos:

- o transporte público coletivo vêm perdendo demanda ao longo dos anos, o que coloca em risco sua operação e o atendimento à função social de prover acesso a oportunidades;
- observa-se uma crescente dependência por automóvel em centros urbanos;
- medidas e instrumentos de acessibilidade não são difundidos na prática do planejamento urbano e de transportes;
- no Brasil, o acesso às oportunidades urbanas é garantido por lei, entretanto, não há instrumentalização da acessibilidade como política pública.

Desse modo, o presente estudo traz como questionamento: como utilizar medidas de acessibilidade aplicáveis ao contexto brasileiro que sejam de fácil mensuração, interpretação e comunicação para auxiliar no desenvolvimento de políticas em planejamento de transporte público urbano?

1.2 OBJETIVOS

Esta dissertação tem como objetivo geral de pesquisa desenvolver um método de análise voltado à avaliação da disparidade de acessibilidade entre o transporte público urbano e individual por automóvel e aplicável ao contexto brasileiro. Para tanto, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- i) identificar as principais dimensões, abordagens, indicadores e aplicações de acessibilidade no planejamento de uso do solo e transportes;
- ii) desenvolver um instrumento de avaliação de acessibilidade de sistemas de transporte público urbano capaz de identificar deficiências de acesso a oportunidades no espaço urbano;

- iii) analisar o método proposto por meio de um estudo-piloto em uma cidade brasileira, identificando potencialidades e limitações da ferramenta proposta.

1.3 JUSTIFICATIVA

O transporte público no Brasil e no mundo demanda soluções de planejamento estratégico cada vez mais completas e integradas para que seja atrativo à população e seu uso minimize as externalidades sociais, econômicas e ambientais causadas pela alta dependência de automóvel nos grandes centros urbanos. Para tanto, diversos autores têm apontado a potencialidade de medidas de acessibilidade na avaliação da interação entre os sistemas de transporte e o uso do solo (GEURS & WEE, 2004; ACHEAMPONG & SILVA, 2015; DEBOOSERE *et al.*, 2018; CURTIS *et al.*, 2019; LITMAN, 2019).

Apesar de o planejamento de acessibilidade estar presente em diversos países desenvolvidos, em especial europeus, observa-se uma carência da instrumentalização da acessibilidade como política pública no contexto de países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil. No país, embora o planejamento urbano e de transportes tenha como um dos pilares a promoção da equidade no acesso às oportunidades urbanas, e sejam observados os esforços da academia e de intuições públicas, a acessibilidade ainda não é incentivada por dispositivos legais como uma ferramenta de tomada de decisão para orientar as políticas públicas no desenvolvimento econômico, social e ambiental das comunidades e tampouco como um instrumento de gestão no desenvolvimento e na operação de sistemas de transporte.

Ainda, no processo de desenvolvimento de uma política pública, é relevante que as ferramentas de acessibilidade sejam tangíveis tanto em seus aspectos técnicos, como disponibilidade de dados e tratamento de variáveis, quanto gerenciais, no âmbito da abordagem e avaliação dos problemas estudados.

Assim, com base no objetivo definido, propõe-se então o desenvolvimento de um método de avaliação de acessibilidade aplicável ao contexto das cidades brasileiras que seja de fácil mensuração, interpretação e comunicação, e que possa servir como um instrumento para potencializar o planejamento e a gestão de sistemas de transporte público urbano por meio de aspectos da oferta e demanda baseados em oportunidades de acesso. Desse modo, espera-se que

o presente estudo possa colaborar com o avanço do planejamento de acessibilidade no contexto urbano brasileiro.

1.4 METODOLOGIA DA DISSERTAÇÃO

A presente pesquisa de dissertação é classificada como pesquisa aplicada com desenvolvimento experimental. Segundo Gil (2017), as pesquisas aplicadas são aquelas voltadas à aquisição de conhecimentos com vistas à aplicação em uma situação específica, enquanto o desenvolvimento experimental se caracteriza como um trabalho sistemático, que utiliza conhecimentos derivados da pesquisa ou experiência objetivando a produção de novos materiais, equipamentos, políticas, entre outros.

Gil (2002) argumenta que estudos de caso são métodos de pesquisa que podem ser explorados a fim de realizar estudos-piloto para esclarecimento e investigação de um fenômeno dentro de seu contexto real. Assim, neste estudo foram adotadas a pesquisa bibliográfica, para a elaboração do referencial teórico, e a pesquisa documental e o estudo de caso, para o delineamento do método de avaliação proposto.

A Figura 1.1 apresenta o fluxograma de pesquisa adotado para o desenvolvimento do trabalho, o qual compreende cinco etapas: plano de trabalho, referencial teórico, delineamento do método, estudo de caso, e discussões e considerações.

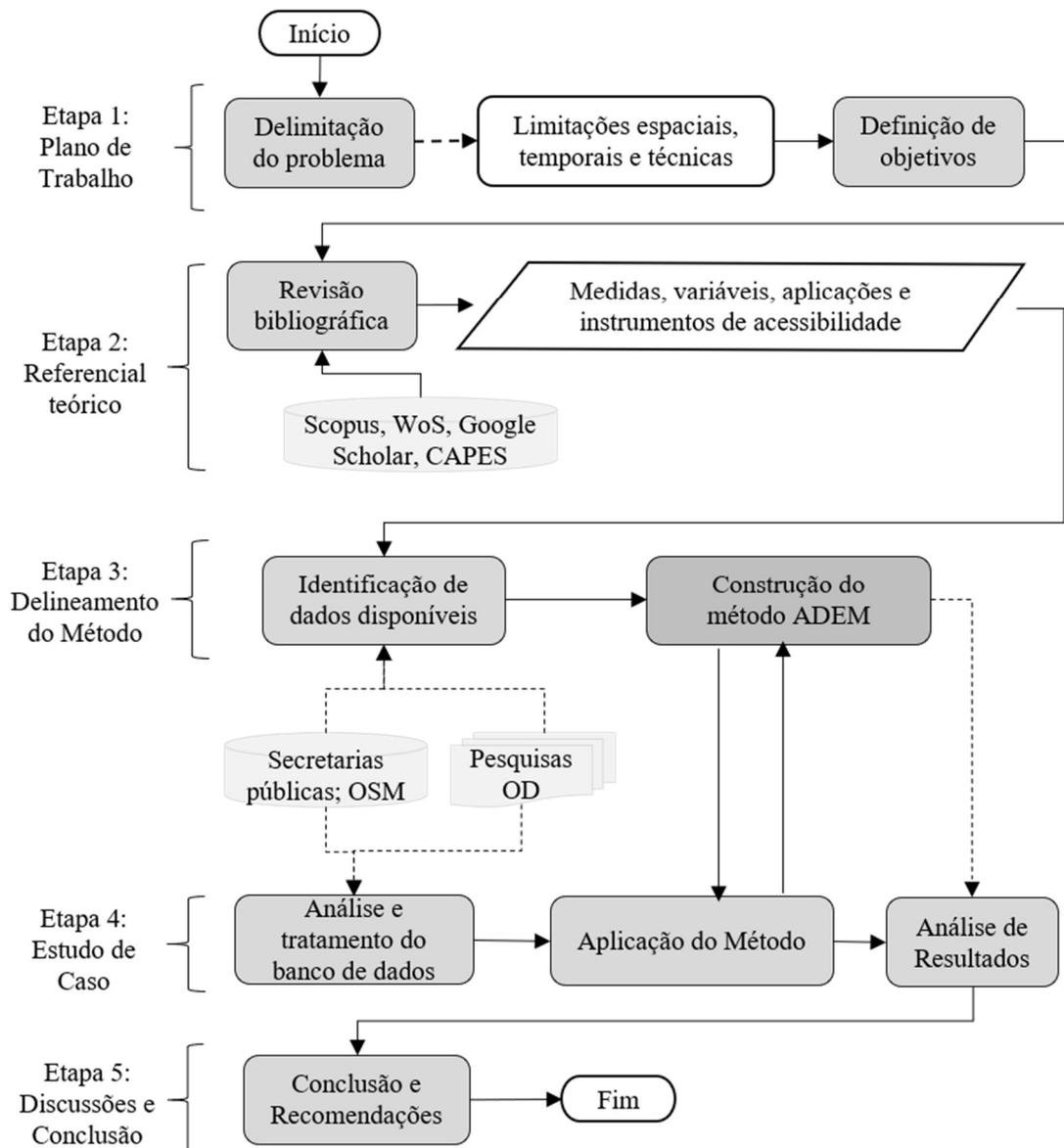


Figura 1.1: Fluxograma de pesquisa
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Na sequência, serão detalhadas as etapas de pesquisa.

Etapa 1 – Plano de trabalho: nessa etapa inicial, é delimitado o problema de pesquisa e são identificadas as limitações quanto aos aspectos espaciais, temporais e técnicos para o levantamento e a análise de dados. Desse modo, são ajustados e definidos os objetivos da pesquisa.

Etapa 2 – Referencial teórico: a segunda etapa compreende a realização de uma revisão bibliográfica de modo a identificar aspectos e técnicas de modelagem de transportes, assim

como os indicadores utilizados para a mensuração da acessibilidade de cada uma das três dimensões abordadas pelo modelo proposto – uso do solo, transporte e atividades. Esse levantamento foi realizado nas principais bases de dados *on-line*, como *Scopus*, *Web of Science*, *Google Scholar* e na base de dissertações e teses da CAPES, e tem o objetivo de apontar os modelos de interação de uso do solo e transportes mais relevantes na literatura que vão ao encontro dos objetivos da pesquisa.

Destaca-se que, como resultado da segunda etapa, foram desenvolvidos dois artigos científicos relacionadas à revisão bibliométrica e sistemática de medidas de acessibilidade no planejamento de transportes e uso do solo. O primeiro artigo, intitulado “Medidas de Acessibilidade a Oportunidades em Estudos Urbanos”, foi publicado na 8.^a edição da revista *Processos Urbanos*, enquanto o segundo artigo, intitulado “*Accessibility in Transportation and Land Use Planning*”, foi aceito para publicação na revista *Baru*.

Etapa 3 – Delineamento do método: a terceira etapa compreende a coleta de dados estatísticos por meio de pesquisa documental em bases e acervos públicos e posterior construção do método proposto segundo os objetivos de pesquisa e as experiências observadas no referencial teórico. Ressalta-se que essa última atividade é realizada de modo interativo com a Etapa 4 do método de pesquisa.

Etapa 4 – Estudo de Caso: a quarta etapa objetiva aplicar o método proposto em um contexto real, sendo, portanto, elaborado um estudo-piloto. Além de verificar a aplicabilidade do método, a análise de resultados do estudo de caso serve como uma ferramenta de *feedback* para a construção e consolidação do método proposto.

Etapa 5 – Discussões e conclusões: por fim, a quinta etapa consiste na avaliação dos resultados e elaboração das conclusões e considerações sobre o estudo.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente produto está estruturado em seis capítulos. O Capítulo 1 apresenta o tema, a caracterização do problema, os objetivos da pesquisa, a justificativa do trabalho e a metodologia de pesquisa. O Capítulo 2 é composto pela revisão de literatura acerca dos principais conceitos que compõem o problema de estudo, como as mensurações e os indicadores de acessibilidade e suas aplicações na área de planejamento de transporte e uso do solo, como também os

principais instrumentos de acessibilidade. O Capítulo 3 consiste na descrição do método de avaliação de acessibilidade proposto, denominado *Accessibility Disparity Evaluation Method – ADEM* (“Método de Avaliação de Disparidade de Acessibilidade”, em português). A aplicação do método proposto em um estudo de caso é abordada no Capítulo 4, enquanto o Capítulo 5 apresenta a análise dos resultados do estudo de caso, uma proposta de intervenção e a análise de aplicação do método. Por fim, o Capítulo 6 apresenta as discussões, considerações e limitações do estudo, assim como as recomendações para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O capítulo de Revisão de Literatura está organizado em três seções. Na primeira seção, discorre-se sobre a descrição e caracterização das distintas medidas e abordagens de mensuração de acessibilidade no âmbito do planejamento de transportes e uso do solo de modo a avaliar a potencialidade e limitação das medidas presentes na literatura. Em seguida, é apresentado como a acessibilidade é tratada nos estudos relacionados ao planejamento de transporte e uso do solo presentes na literatura para, desse modo, orientar variáveis e indicadores a serem avaliados no método proposto, ADEM. Por fim, na terceira seção são apresentados exemplos de instrumento de acessibilidade utilizados no planejamento de transporte e suas características, que nortearão o desenvolvimento do método de avaliação de acessibilidade proposto.

2.1 MENSURAÇÃO DA ACESSIBILIDADE

A acessibilidade representa uma importante característica urbana, estando diretamente relacionada ao planejamento de transporte e uso do solo. Ao longo da evolução dos modelos de integração entre uso do solo e transportes, distintas abordagens do conceito de acessibilidade levaram pesquisadores a utilizarem diferentes componentes. Segundo Geurs & Eck (2001), as medidas de acessibilidade apresentam quatro componentes principais para sua mensuração: i) uso do solo; ii) transporte; iii) fator temporal; e iv) fator individual, sendo descritos a seguir.

- *Uso do solo*: está relacionado à oferta (quantidade, qualidade e distribuição espacial) de oportunidades e à demanda (população) para cada região.
- *Transporte*: consiste no sistema utilizado pelo indivíduo para atender às suas necessidades de deslocamento, sendo expresso em desutilidades dependentes da infraestrutura, localização e características operacionais, as quais são representadas, por exemplo, pelas variáveis tempo (de viagem, de espera e estacionamento), custo e esforço (confiabilidade, conforto, risco etc.) de deslocamento.
- *Fator temporal*: considera a disponibilidade das oportunidades em diferentes horários e dias.
- *Fator individual*: reflete as necessidades (dependente de idade, renda, estrutura familiar etc.), as habilidades (condições físicas) e as oportunidades individuais. Afeta diretamente o nível de acesso da população aos meios de transporte e às oportunidades disponíveis, influenciando fortemente a mensuração agregada total de acessibilidade.

Considerando esses componentes, Geurs & Eck (2001) apontam três perspectivas para a mensuração da acessibilidade: medidas baseadas em infraestrutura; medidas baseadas em atividades; e medidas baseadas em utilidade. Destaca-se que as medidas baseadas em atividades avaliam a distribuição das oportunidades no espaço, podendo ser ainda subclassificadas em quatro aproximações: i) medidas de distância, ii) medidas de contorno, iii) medidas de potencial e iv) medidas derivadas da geografia espaço-tempo. Nesse sentido, o Quadro 2.1 contém a classificação das medidas e suas principais formulações genéricas.

Quadro 2.1: Medidas de Acessibilidade

Medidas	Formulação matemática genérica	Em que:
Infraestrutura (Índice Shimbel)	$A_i = \sum_{j=1}^N d_{ij}$	A_i indica a acessibilidade da localidade i ; d_{ij} é a distância do menor caminho entre o nó i e o nó j ; N é o número de nós da rede.
Atividade (Distância)	$A_i = d_{ij}$	A_i indica a acessibilidade da localidade i ; d_{ij} é a distância do menor caminho entre a localidade i e a localidade j .
Atividade (Contorno)	$A_i = \sum_j O_j W_j$ $W_j = \begin{cases} 1, & \text{se } c_{ij} \leq c_{ij}^* \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$	A_i indica a acessibilidade da localidade i ; O_j , número de oportunidades na zona j ; W_j fator peso para as oportunidades na zona j ; c_{ij} é o custo de viagem da localidade i ; c_{ij}^* é a limitação de custo de viagem a qual as oportunidades podem ser consideradas.
Atividade (Gravitacional)	$A_i = \sum_{j=1}^n O_j f(c_{ij})$ $f(c_{ij}) = e^{-\beta c_{ij}}$	A_i indica a acessibilidade da zona i ; O_j número de oportunidades na zona j ; c_{ij} é o custo de viagem entre i e j ; n é o número de zonas de destino; β é o parâmetro sensível ao custo.
Atividade (Espaço-tempo)	$A_i = \sum_j \delta_{jr} O_j$	A_i indica a acessibilidade da zona i ; O_j número de oportunidades na zona j ; δ_{jr} é o custo de viagem até j na janela temporal r .
Utilidade	$EMPU(o, i) = E[\max_j U_j^i]$ $U_j^i = V_j^i(X_j) + \varepsilon_j^i = \sum \beta_k X_{kj}^i + \varepsilon_j^i$	U_j^i indica a utilidade relacionada ao indivíduo i , dado j alternativas de viagem; V_j^i é a utilidade sistemática da alternativa j de viagem; β_k é o vetor de parâmetros; X_{kj}^i é o vetor de variáveis incluídas para explicar a utilidade da alternativa j para o indivíduo i ; ε_j^i representa o residual da utilidade percebida U_j^i .

Fonte: HANSEN, 1959; INGRAM, 1971; GEURS & ECK, 2001; CURTIS & SCHEURER, 2007; ORTÚZAR & WILLUMSEN, 2011; BEN-AKIVA & LERMAN, 1985 *apud* CASCETTA et al., 2013.

As medidas baseadas em infraestrutura são vistas como medidas de *performance* de um sistema de transporte e mensuram a impedância de viagem entre uma origem e um destino, ou mesmo entre nós de uma rede. Segundo Curtis & Scheurer (2007), as medidas de impedimento podem ser físicas (distâncias euclidianas), distâncias em rede, tempo de viagem e velocidade (por meio de transporte e/ou considerando congestionamento ou fluxo-livre), custo de viagem e qualidade

de serviço (frequência de transporte público). Geurs & Wee (2004) observam que as medidas de infraestrutura são fáceis de se interpretar e comunicar, entretanto, apresentam limitações para o uso na avaliação dos impactos de acessibilidade motivados por planos e políticas de uso do solo e transportes, uma vez que essa medida carece dos componentes de uso do solo e do indivíduo para uma análise holística do fenômeno.

As medidas de distância baseadas em atividade são consideradas medidas de “acessibilidade relativa”, cujas variáveis são o máximo tempo de viagem ou a distância percorrida entre dois pontos (GEURS & ECK, 2001). Ingram (1971) propôs o conceito de acessibilidade relativa, definida como o grau no qual dois lugares (ou pontos) estão conectados em uma mesma superfície. Geurs & Wee (2004) apontam que medidas de distância são usualmente utilizadas no planejamento de uso do solo como parâmetros de padronização voltados a um tempo de viagem ou distância máxima para uma dada localidade. Ainda, as medidas de infraestrutura (tempo de viagem e velocidade média) também podem ser medidas de acessibilidade relativa, entretanto, no âmbito da classificação das medidas baseadas em atividade, o ponto de destino ou origem analisado por essa medida está relacionado com as oportunidades de acesso do indivíduo (empregos, escolas, hospitais) e não diretamente com a *performance* de um determinado sistema de transporte (medidas de infraestrutura).

As medidas de contorno, também denominadas *isócronas* ou *cumulativas*, são derivadas das medidas de distância relativa e se diferenciam por abordarem em sua análise dois ou mais destinos. As medidas de contorno, denominadas assim por Geurs & Eck (2001), consideram como variável o número de oportunidades que podem ser alcançadas dentro de uma restrição de tempo de viagem ou distância (custo fixo), média ou total, necessário para atingir um determinado número de oportunidades fixas (GEURS & ECK, 2001; GEURS & WEE, 2004). Assim como as medidas de distância, as medidas de contorno têm como vantagens sua operacionalização, facilidade de interpretação, comunicação e não demandam uma quantidade expressiva de dados. Entretanto, apresentam limitações por não analisarem de modo conjunto a interação entre os sistemas de uso do solo e transportes, não considerarem fatores de competição, como distribuição espacial de demanda e restrições de capacidade de oportunidades, e, ainda, por desconsiderar as percepções dos indivíduos quanto à disponibilidade de oportunidade e desejo de viagens (GEURS & WEE, 2004).

As medidas gravitacionais são baseadas no modelo gravitacional de Hansen (1959) e estimam a acessibilidade de oportunidades de determinada zona para todas as outras considerando a influência da diminuição da atratividade da zona com o aumento do custo de viagem, tais como tempo, distância, entre outros (GEURS & WEE, 2004). Segundo Dong (2000), as medidas gravitacionais apresentam o componente de atratividade e o componente de impedância representados por uma função de decaimento, cuja formulação resulta em distintas medidas de acessibilidade baseadas no modelo gravitacional. As medidas gravitacionais trazem como vantagens a avaliação simultânea dos elementos de uso do solo e transportes, assim como incorporam as percepções do indivíduo por meio da função de decaimento; entretanto, as gravitacionais apresentam dificuldades relacionadas à sua interpretação e comunicação (GEURS & WEE, 2004).

Por sua vez, as medidas derivadas da geografia espaço-tempo consideram a disponibilidade de atividades em distintos horários do dia e o número de vezes que um indivíduo pode participar de tais eventos. Nessa medida, o uso do solo e o transporte apresentam igual importância (GEURS & ECK, 2001). As medidas de espaço-tempo fazem parte das abordagens desagregadas, possibilitando que características pessoais sejam incorporadas. Cascetta *et al.* (2016), no entanto, apontam que o maior desafio das medidas de espaço-tempo é incorporar atributos comportamentais às suas funções, as quais o fator de atração das oportunidades está voltado, especialmente atributos temporais, como tempo de viagem, horários de funcionamento dos serviços e duração de atividades, por exemplo.

As medidas de utilidade são baseadas na teoria econômica de utilidade, a qual entende a acessibilidade como resultado de um grupo de opções de transporte cuja medida é baseada nos benefícios das pessoas ao acessarem atividades distribuídas no espaço de importância (GEURS & ECK, 2001). Um exemplo desses modelos é a função Valor Esperado de Máxima Percepção de Utilidade (EMPU, em inglês *Expected value of the Maximum Perceived Utility*) que representa um valor de benefício para um determinado usuário dado um conjunto de alternativas de viagens (BEN-AKIVA & LERMAN, 1985 *apud* CASCETTA *et al.*, 2013).

Geurs & Wee (2004) ressaltam que as medidas de acessibilidade baseadas em utilidade capturam a valoração da acessibilidade por indivíduos, fornecendo uma base útil de comparação para avaliações de benefícios de usuários provenientes de investimentos tanto no sistema de uso do solo quanto no sistema de transportes. No entanto, El-Geneidy *et al.* (2016) observam

que, apesar das medidas de utilidade conseguirem incluir uma variedade de custos de viagem, estas são difíceis de serem comunicadas e não apresentam uma interpretação física.

Para Handy & Neimeier (1997) não há uma melhor abordagem para a mensuração da acessibilidade, uma vez que diferentes situações e objetivos demandam diferentes abordagens. Nesse sentido, Geurs (2018), com base em estudos comparativos entre indicadores de acessibilidade, ressalta que as abordagens e os indicadores, quando combinados, representam melhor a realidade estudada. Assim, na sequência, discorre-se sobre as principais aplicações de medidas de acessibilidade na literatura acadêmica em estudos que orbitam o planejamento de transportes urbanos e uso do solo.

2.2 ACESSIBILIDADE NO PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES E USO DO SOLO

No que tange ao planejamento de sistemas de transporte em áreas metropolitanas, Boisjoly & El-Geneidy (2017a) avaliam que, apesar de Planos de Transporte em países da América do Norte, Europa, Oceania e Ásia apresentarem a tendência de incorporar a acessibilidade como objetivo de planejamento, ainda há pouca instrumentalização da acessibilidade por meio de indicadores que auxiliem no desenvolvimento de processo de tomada de decisão. Para avançar na prática de planejamento orientado à acessibilidade, os autores destacam a importância de definir claramente os objetivos da acessibilidade e de diferenciá-la do conceito de mobilidade.

Em um estudo realizado com 343 planejadores de uso do solo e transporte em diferentes regiões do mundo, Boisjoly & El-Geneidy (2017b) observam que existe uma disparidade entre a familiaridade de conhecimentos dos conceitos de acessibilidade e seu uso na prática. Apesar de entenderem a relevância do conceito e do uso da acessibilidade no planejamento de transportes e uso do solo, os respondentes observam que os maiores desafios para não utilizá-las são a falta de conhecimento técnico e de dados disponíveis. Os autores indicam que incluir indicadores de acessibilidade no planejamento é um fator-chave para promover o uso dessas medidas.

De modo a melhor compreender as principais aplicações de acessibilidade presentes na literatura para orientar o desenvolvimento do método de avaliação de acessibilidade, serão explorados na sequência deste capítulo os temas “Sistemas de Transporte”, “Ambiente Construído” e “Equidade no Transporte Público”. O primeiro tema procura investigar como os problemas de acessibilidade são explorados pela ótica dos transportes, enquanto o segundo tema

explora a ótica do uso do solo. Por sua vez, o terceiro tema procura identificar abordagens e aplicações de medidas de acessibilidade na promoção da equidade socioespacial e sua relação com os transportes públicos.

2.2.1 Sistemas de Transporte

Nos Sistemas de Transportes, as principais aplicações de estudos de acessibilidade estão relacionadas à utilização de medidas para a avaliação de desempenho da infraestrutura de transportes, como o impacto de projetos de rodovias e corredores de transporte coletivo, assim como para tomada de decisão de políticas públicas de transporte.

As medidas de acessibilidade são aplicadas, por exemplo, à análise de investimento em sistemas de transporte público para traduzir o retorno monetário da melhora da *performance* por meio de variáveis de desenvolvimento econômico. Bocarejo & Oviedo (2012) argumentam que, ao avaliar e priorizar investimento em projetos de transporte, a acessibilidade pode ser utilizada como uma ferramenta para mensurar e indicar o potencial de contribuição do projeto para a promoção de melhores acessos a oportunidades, em especial para segmentos populacionais mais vulneráveis.

No planejamento de sistemas de transporte público em centros urbanos, medidas de acessibilidade são utilizadas para determinar a abrangência de atendimento por meio de “áreas de serviço”, as quais auxiliam na locação de pontos de parada por meio de distâncias ótimas de caminhada, por exemplo (EL-GENEIDY *et al.*, 2014). Mavoa *et al.* (2012) reforçam ainda que para trazer uma visão mais realista da acessibilidade ao transporte público é necessário que sejam consideradas medidas de infraestrutura, como a frequência de serviços de transporte público.

No que tange ao planejamento de acessibilidade ao transporte público, com base em um estudo realizado no Canadá, Cui *et al.* (2020) apontam que, apesar do planejamento de acessibilidade influenciar positivamente o uso do transporte público para grupos de baixa renda em grandes regiões metropolitanas, aumentar a acessibilidade de uma região para além do 80º percentil promove um efeito adverso de queda do uso de transporte público. Nesse sentido, os autores entendem que o planejamento de acessibilidade em transporte público obedece a uma curva com um ponto ótimo de saturação.

2.2.2 Ambiente Construído

A influência do ambiente construído no padrão do comportamento de viagens de indivíduos é um tópico que vem sendo explorado pela literatura ao longo dos anos. Planejadores de transporte buscam promover um equilíbrio e a otimização do uso do solo de modo a diminuir as distâncias e o tempo de viagem (CERVERO & DUNCAN, 2006). Kitamura & Mokhtarian (1997) ressaltam que medidas de densidade residencial, acessibilidade ao transporte público, uso misto do solo afetam significativamente a geração por modo de transporte.

Para a redução do custo de viagem relacionado à diversificação do uso do solo, novos modelos de desenvolvimento urbano como o Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável (DOTS) são analisados sob a ótica da acessibilidade. O modelo DOTS busca promover o adensamento urbano próximo a infraestruturas de transporte público, aumentando a diversidade de uso do solo, de modo a atrair atividades a esses locais, assim como ampliando a conectividade viária integrada aos modos ativos ao mesmo passo que a conectividade e integração com outros centros adensados seja realizada de maneira rápida e eficaz pelo uso de transporte público (KAMRUZZAMAN *et al.*, 2014). Papa e Bertolini (2015) demonstraram que acessibilidade e DOTS estão diretamente relacionados, embora sejam conceitos distintos, uma vez que medidas de acessibilidade se relacionam a uma condição da perspectiva do usuário, enquanto DOTS se relaciona à forma urbana. Nesse sentido, a acessibilidade se apresenta com uma métrica relevante para a comparação de diferentes áreas urbanas.

No entanto, em estudos da temática, observa-se também que o planejamento urbano deve atentar-se aos impactos adversos da acessibilidade promovida por sistemas de transporte que podem afetar o uso do solo, sendo a valorização imobiliária uma das principais externalidades negativas apontadas. Yang *et al.* (2020) avaliaram como os sistemas de transporte por ônibus convencionais afetam os preços imobiliários em Xiamen, China. Os autores observaram que o número de pontos de ônibus, o tempo de viagem e a frequência tem impactos positivos no preço dos imóveis, sendo que a frequência de ônibus exerce um efeito maior na valorização imobiliária na periferia que na área central.

2.2.3 Equidade no Transporte Público

O planejamento da acessibilidade, quando combinado com princípios de sustentabilidade e equidade, tem potencial para desenvolver políticas públicas que diminuam os efeitos sociais e

espaciais da distribuição da acessibilidade e que ampliem a eficiência global dos sistemas de transporte (GARCIA *et al.*, 2018).

No planejamento de transportes, a equidade social é adotada como um objetivo em longo prazo, sendo geralmente avaliada por duas perspectivas, a equidade horizontal e a vertical. A equidade horizontal, ou equidade espacial, é baseada no princípio filosófico do igualitarismo e objetiva a distribuição uniforme de benefícios para todos os grupos de indivíduos no espaço (KIM & SULTANA, 2015; EL-GENEIDY *et al.*, 2016). Por sua vez, a equidade vertical, ou equidade social, se refere à distribuição de recursos em grupos específicos de diferentes classes socioeconômicas ou com distintas necessidades (DELBOSC & CURRIE, 2011).

Delbosc & Currie (2011) ressaltam que no planejamento de transporte público, no entanto, as perspectivas de equidade horizontal e vertical se contrastam, uma vez que a melhor oferta e cobertura de transporte público para o máximo número de usuários (equidade espacial) tende a impactar também no atendimento à necessidade de grupos sociais vulneráveis (equidade social). Nesse sentido, entende-se que a avaliação de sistemas de transporte público por meio de medidas de acesso a oportunidades pode ser um modo de investigar a equidade socioespacial no espaço urbano.

Outra teoria ética comumente utilizada pela acessibilidade no âmbito da equidade no planejamento de transportes é a do suficientarismo, a qual limita valores de acessibilidade a um mínimo para determinar que indivíduos sejam considerados “socialmente excluídos” (LUCAS *et al.*, 2016). Nesse âmbito, Garcia *et al.* (2018) classificam problemas relacionados, por exemplo, a diferenças nos níveis de acessibilidade por diferentes modos de transporte e ao longo do tempo.

No contexto brasileiro de desigualdade socioespacial, com base em uma proposta de modelagem de rede de transportes que considera a variação de serviços de transporte público e congestionamento viário ao longo do dia, por exemplo, Tomasiello *et al.* (2019) observam que, em São Paulo, regiões pobres periféricas ao núcleo urbano sofrem maior variação de acesso a empregos em razão do transporte público ao longo do dia, o que pode reforçar a situação de vulnerabilidade socioeconômica dessas populações. Os autores apontam que a utilização de redes de transporte multitemporais pode auxiliar na avaliação de demandas de transporte público e de cenários de políticas públicas de uso do solo.

Barboza *et al.* (2021) ressaltam ainda que, ao avaliar a inequidade de acesso a oportunidades de emprego utilizando medidas de acessibilidade, é necessário considerar a competição de postos de trabalho para que os resultados sejam mais consistentes. Para tanto, os autores propõem um novo indicador denominado *Balancing Time* (BT), baseado em medidas de contorno (cumulativas) que incorporam, além das variáveis *tempo de viagem* e *empregos*, a variável *população*. Com base em um estudo de caso realizado no Rio de Janeiro, os autores apontam os avanços encontrados em decorrência da utilização da variável população, assim como a simplicidade dos dados necessários e a facilidade de utilização do indicador para o planejamento de transportes.

2.3 INSTRUMENTOS DE ACESSIBILIDADE

Os Instrumentos de Acessibilidade (IA) são um tipo de sistema de apoio ao planejamento desenvolvido para auxiliar na análise integrada do uso do solo e de transportes. São ferramentas capazes de mensurar, interpretar e/ou modelar a acessibilidade, fornecendo apoio às atividades de pesquisa envolvidas na prática do planejamento, como análise, desenvolvimento, avaliação, monitoramento, entre outras (PAPA *et al.*, 2016). Alguns países, como Reino Unido, Noruega e Alemanha, adotam medidas de acesso a oportunidades como requisito legal no planejamento e desenvolvimento de políticas urbanas e de transporte. Hull *et al.* (2012a) observam que os instrumentos de acessibilidade desenvolvidos nesses países têm um maior foco no desenvolvimento sustentável de comunidades, tendem a ter mais transparência em relação às premissas gerais, assim como dispõem de uma representação visual dos resultados mais desenvolvida.

Apesar da existência de diversos IA na literatura, Hull *et al.* (2012b) ressaltam que estes não são amplamente utilizados na prática como ferramenta de apoio no processo de planejamento urbano. De modo a entender e promover o uso desses instrumentos no planejamento, durante o projeto *COST Action*, Hull *et al.* (2012a) realizaram um levantamento sobre as principais características de IA e identificaram oito instrumentos que buscam, segundo seus desenvolvedores, o planejamento de transporte voltados ao gerenciamento e à priorização de determinado meio de transporte.

O Quadro 2.2 apresenta os oito instrumentos de acessibilidade voltados ao planejamento de transporte e suas principais características, segundo seus desenvolvedores.

Quadro 2.2: Característica dos instrumentos de acessibilidade voltados ao planejamento de transportes

IA	País	Abordagem	Medida de acessibilidade	Motivo de viagem	Tomada de decisão *	Modos de transporte**	Plataforma
SNAMUTS	Austrália	Baseado em atividades	Distância, Contorno, Gravitacional, Infraestrutura	Qualquer	Planejamento estratégico	TP	ArcGIS
ABICA	Dinamarca	Baseado em atividades	Contorno, Gravitacional	Trabalho, Lazer	Planejamento estratégico	Carro, TP, Bicicleta	ArcGIS ou R
PST	Suécia	Sintaxe espacial	Infraestrutura	Qualquer	Apoio de decisão passivo	Qualquer	Place Syntax Tool para MapInfo (biblioteca DLL em C/C++)
PlaSynt	Suécia	(Não informado)	Infraestrutura	Qualquer	Planejamento estratégico	Caminhada, Bicicleta	(Não informado)
GDATI	Polônia	Infraestrutura	Distância, Infraestrutura	Agregado	Suporte cooperativo	Qualquer	(Não informado)
MareSi SC	Noruega	Distância	Gravitacional, Espaço-tempo	Compras	Suporte ativo	Qualquer	ArcGIS
GraBAM	Itália	Baseado em atividades	Gravitacional	Trabalho, Estudo	Suporte ativo	Carro, TP	TransCAD, GIS software
SAL	Portugal	Baseado em atividades	Distância, Contorno	Qualquer	Apoio de decisão passivo	Carro, TP, Caminhada, Bicicleta	ArcGIS, Network Analyst

Notas: * Apoio a decisão passivo: auxilia no processo de decisão, mas não traz sugestões ou soluções explícitas; Suporte Cooperativo: possibilita que o tomador de decisão modifique, complete ou refine as sugestões apresentadas pelo sistema, antes de enviá-las de volta para validação; Suporte ativo: fornece sugestões e soluções.
 ** TP = Transporte Público

Fonte: adaptado de Hull *et al.* (2012a)

Observa-se, com base no Quadro 2.2, que entre os instrumentos apresentados, quatro deles têm maior proximidade com os objetivos da presente dissertação, sendo eles: SNAMUTS, ABICA, GraBAM e SAL. Esses instrumentos apresentam abordagem de acessibilidade baseada em atividades, consideram diversas motivações de viagem, em especial viagens a trabalho, e possibilitam a avaliação de sistemas de transporte público. Em contrapartida, os instrumentos PST, PlaSynt, GDATI e MareSi SC apresentam características divergentes da proposta de estudo, seja por distintas abordagens de mensuração, por considerarem apenas os modos de transporte ativos (PlaSynt), por terem as viagens motivadas por compras como objeto de análise (MareSi SC), ou ainda, por não terem motivos de viagens segregados (GDATI).

Entretanto, destaca-se que a ferramenta dinamarquesa *Activity Based Indicators of Connections and Access Needs* (ABICA), conforme Nielsen & Næss (2012), não tem a instrumentalidade que o nome sugere, embora possa ser aplicada tanto no contexto de planejamento quanto no científico. O ABICA é tido como uma ferramenta de visualização e ilustração dos padrões de

interação e necessidades de acesso com base em dados de comportamento espacial. Para os autores, uma importante limitação da ferramenta é a falta de causalidade ou explicações, sendo relevante que a visualização das conexões e do acesso a necessidades seja acompanhada de discussões acerca das possíveis interpretações (NIELSEN & NÆSS, 2012).

Desse modo, na sequência serão apresentadas e descritas as principais características dos seguintes instrumentos de acessibilidade:

- SNAMUTS – *Spatial Network Analysis for Multimodal Urban Transport Systems*;
- GraBAM – *Gravity-Based Accessibility Measures for Integrated Transport-Land Use Planning*;
- SAL – *Structural Accessibility Layer*.

2.3.1 SNAMUTS

O *Spatial Network Analysis for Multimodal Urban Transport Systems* (SNAMUTS) é um instrumento de acessibilidade australiano desenvolvido para avaliar e quantificar a *performance* de redes de transporte público no contexto urbano. Inicialmente, foi desenvolvido com o objetivo de analisar a acessibilidade metropolitana por transporte público em três centros da Grande Perth, Austrália. Dada a potencialidade, em 2010, foi então utilizado para dar suporte ao governo local nas tomadas de decisões para a reestruturação da região metropolitana e o desenvolvimento das estratégias políticas de investimento em serviços de transporte público e novas infraestruturas no horizonte de 20 anos. Atualmente, a ferramenta já foi aplicada em mais de 27 cidades globais na análise de cenários futuros em estudos de uso do solo e de transportes (CURTIS *et al.*, 2012, 2019).

O SNAMUTS é uma ferramenta baseada em Sistema de Informação Geográfica (SIG) que analisa a relação entre a *performance* de redes de transporte público, com base em padrões mínimos de serviço e configuração da rede, e o uso do solo, definidos com base em nós de atividade. A rede de transportes avaliada é composta apenas pelas linhas de serviço que atendem a um padrão mínimo de serviço estabelecido pelo modelo, com base na frequência mínima de 20 minutos durante a semana no entropico (entre 10 e 15 horas) e de 30 minutos nos finais de semana e feriados. Por meio da rede de transportes são identificados os nós de atividades, que são locais que apresentam importantes concentrações de atividades, definidos por documentos de planejamento estratégico local, ou nós da rede com representatividade de transferências e

corredores de alta-frequência de transporte público. Para cada nó de atividade é realizada uma medida de contorno considerando residentes e empregos localizados a 800 metros de estações de trem/metrô e 400 metros de VLT/ônibus, de modo que cada residente e emprego seja associado a apenas um nó de atividade, sendo realizadas distribuições proporcionais quando necessário. Em relação à impedância da rede, o SNAMUTS considera o tempo de viagem e a frequência de serviços de cada segmento, sendo o custo de viagem entre dois nós de atividade a soma das impedâncias dos segmentos e das penalidades de transferência (CURTIS *et al.*, 2012).

De modo a definir um índice composto de acessibilidade, seis indicadores são considerados pelo SNAMUTS (CURTIS *et al.*, 2012):

- centralidade de proximidade: descreve a facilidade de movimentação na rede em termos de velocidade e frequência;
- grau de centralidade: mensura as transferências mínimas entre dois nós de atividade;
- medidas de contorno: determina quantos residentes e empregos podem ser atingidos dentro de uma área de caminhada com base em nós de atividade alcançados com até 30 minutos de viagem de transporte público;
- comparação de velocidade: mensura a competitividade do transporte público com o automóvel por meio da razão entre os tempos médios de viagem (para automóveis em condições típicas de congestionamento);
- centralidade de intermediação: identifica as rotas de transporte que serão mais utilizadas entre diferentes pares;
- conectividade nodal: captura a adequação dos nós de atividade ao fazerem transferências ou pausas de viagem com mínimas interferências no fluxo.

Ainda, duas outras medidas podem ser levantadas por meio da base de dados do SNAMUTS para se aplicar na análise da rede e facilitar a comparação entre cidades, como a intensidade de serviço e a cobertura da rede. A intensidade de serviço se refere ao número de veículos para cada meio de transporte em operação durante o período analisado, o que pode indicar as mudanças no padrão de acessibilidade com base no aumento ou diminuição do serviço de transporte. Já a cobertura de rede é calculada por meio do percentual de empregos e residentes atendidos pelos nós de atividade em comparação com o total de população e empregos, o que pode ilustrar a expansão ou redução do atendimento da rede de transporte público na região

(CURTIS *et al.*, 2012). Na Figura 2.1, ilustra-se o resultado visual do SNAMUTS em um caso aplicado à cidade de Melbourne, na Austrália.

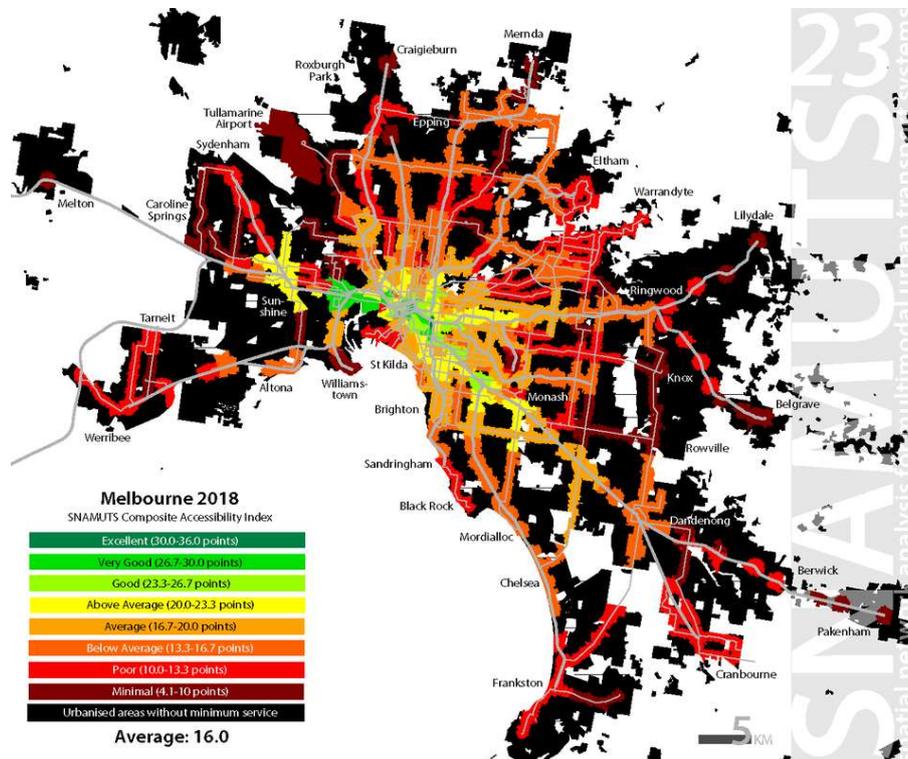


Figura 2.1: Exemplo de representação visual do SNAMUTS – Melbourne, Austrália
Fonte: SNAMUTS ¹

Em estudo realizado na cidade de Gotemburgo, na Suécia, com o uso do SNAMUTS, Curtis *et al.* (2019) apontam que medidas de acessibilidade são instrumentos de apoio efetivos na análise de padrões de demanda de transporte público, sendo um elemento-chave para a eficiente alocação de recursos finitos no desenvolvimento e na operação desses sistemas. Para os autores, as novas ferramentas de acessibilidade, como o SNAMUTS, quando combinados com outros dados (incluindo demanda de viagem), podem desempenhar um papel-chave no planejamento de sistemas de transporte sustentáveis e no desenvolvimento urbano.

2.3.2 GraBAM

O *Gravity-Based Accessibility Measures for Integrated Transport-Land Use Planning* (GraBAM) foi desenvolvido para o contexto de planejamento de transportes na Itália com o objetivo de avaliar e mensurar os benefícios nas mudanças tanto no uso do solo quanto nos

¹ Disponível em: <http://www.snamuts.com/uploads/2/1/8/1/21813274/melbourne-2018-page-1_orig.png>. Acesso em 20 mai. 2020.

sistemas de transportes, como um indicador de *performance* no planejamento integrado de uso do solo e de transportes (PAPA & COPPOLA, 2012). Para tanto, o GraBAM adota medidas do tipo gravitacional, ativa e passiva, segundo modelo de Hansen (1959).

A acessibilidade ativa representa o potencial de atividades que uma população de determinada localidade pode alcançar, enquanto a acessibilidade passiva indica o potencial de público de todas as localidades a que uma área de oportunidades pode atingir. A acessibilidade, portanto, considera zonas de análise de tráfego (TAZ) e é dada por meio da soma do custo generalizado de viagem entre as próprias zonas e outras da área de estudo, ponderado por um fator de atratividade que representa tanto as oportunidades a serem atingidas nas outras zonas (acessibilidade ativa) quanto o potencial de “público” de uma oportunidade localizada em determinada zona (acessibilidade passiva) (PAPA & COPPOLA, 2012). Assim, o GraBAM define os dois indicadores de acessibilidade como:

- acessibilidade ativa de residentes para áreas de trabalho; e
- acessibilidade passiva de atividades econômicas em relação ao número de residentes.

De acordo com Papa & Coppola (2012), os dados necessários para a utilização do instrumento GraBAM são pesquisas de origem-destino (OD) para o cálculo dos custos e do tempo de viagem, dados demográficos e socioeconômicos (como distribuição de empregos) para cada zona e os arquivos geográficos dos limites das zonas. Na Figura 2.2, é apresentado um exemplo de representação dos indicadores do GraBAM na região de Campania, Itália.

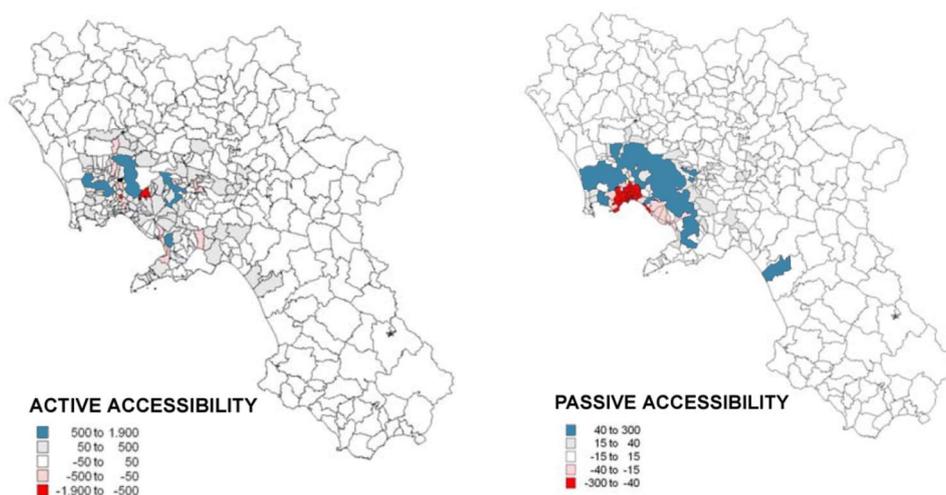


Figura 2.2: Exemplo de representação visual do GraBAM – Campania, Itália
Fonte: Papa & Coppola (2012)

Como principais vantagens, Papa & Coppola (2012) apontam que o modelo apresenta uma sólida base teórica, a qual é muito valorizada na área de planejamento de transportes. Ainda, o instrumento pode ser facilmente integrado a ferramentas SIG para geração de mapas, criação de banco de dados georreferenciados e execução de variadas análises espaciais, proporcionando uma fácil comunicação e interpretação para autoridades, investidores e planejadores.

2.3.3 SAL

O *Structural Accessibility Layer* (SAL) foi desenvolvido em Portugal de modo a avaliar como determinadas políticas de transporte e uso do solo afetam a escolha de viagem dos habitantes. O SAL é uma representação geográfica da comparação de acessibilidade entre diferentes modos de transporte para diferentes tipos de oportunidades geradoras de viagem. O instrumento, então, tem como foco entender quais escolhas de modos de transporte são facilitadas por meio da estrutura urbana, em contraste com as tradicionais pesquisas que procuram entender como a estrutura urbana afeta o comportamento de viagem (SILVA, 2012).

O SAL considera duas medidas de acessibilidade: o índice de diversidade de atividades (DivAct) e o agrupamento de acessibilidade. O índice de diversidade de atividades mensura o nível de acessibilidade de cada meio de transporte (não motorizado, transporte público e automóvel) por meio de medidas de contorno em relação ao tipo e número de atividades potenciais que podem ser atingidas de uma dada origem, dado um custo e o tempo de viagem. Os tipos de atividades devem estar segregados em, pelo menos, emprego, escola, lazer, compras, saúde, entre outros. Já o agrupamento de acessibilidade são as medidas comparativas resultantes das diferentes combinações do indicador DivAct por meio de transporte (SILVA, 2012).

O agrupamento de acessibilidade é desenvolvido com base nos resultados do DivAct e organizado em sete diferentes combinações de acordo com as opções de meio de transporte:

- Grupo I – modos não motorizados;
- Grupo II – modos não motorizados e transporte público;
- Grupo III – todos os modos;
- Grupo IV – modos não motorizados e automóvel;
- Grupo V – transporte público;

- Grupo VI – transporte público e automóvel;
- Grupo VII – carro.

Para a análise, o SAL requer dados georreferenciados como população, emprego, atividades, infraestrutura de transportes, nível de serviço (capacidade, velocidade, frequência etc.), custo de viagem, assim como outros dados de comportamento de viagem, como volume de viagens por motivo, tempo de viagem por meio de transporte e matriz OD (SILVA, 2012).

De acordo com Silva (2012), o uso de determinado meio de transporte é considerado favorável pela estrutura urbana quando uma gama aceitável de atividades pode ser alcançada com o seu uso em comparação com outros modos, por exemplo. As informações resultantes dos mapas de diversidade podem apontar desigualdades espaciais no acesso a oportunidades, em especial em regiões nas quais a população tem apenas o carro como opção de deslocamento. Na Figura 2.3, exemplifica-se a aplicação do instrumento para a região de Porto, em Portugal.

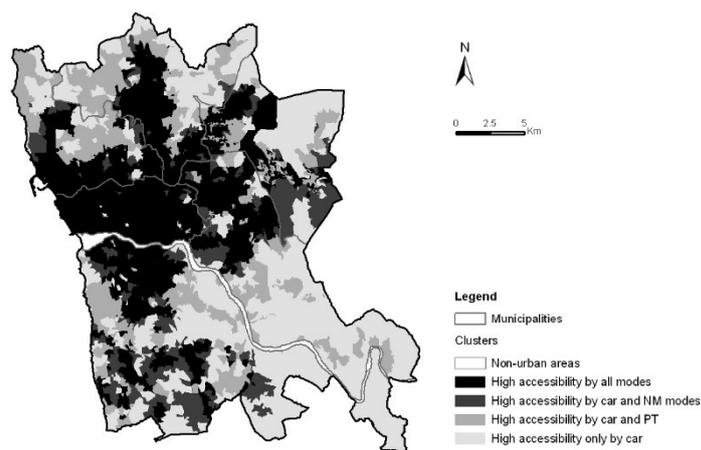


Figura 2.3: Exemplo de representação visual do SAL – Porto, Portugal
Fonte: Silva (2012)

As principais vantagens do SAL apontadas por especialistas são a facilidade de uso, compreensão e comunicação da ferramenta e a coerência das medidas, que garantem ao instrumento uma capacidade de síntese como ferramenta de diagnóstico e a habilidade de testar diferentes cenários. Todavia, as limitações do instrumento estão relacionadas ao dilema entre rigor e relevância. A adoção da perspectiva regional na metodologia de análise não possibilita a identificação de variações em menores escalas, ocasionando a perda de detalhamento de informações. Ainda, embora as medidas de contorno sejam de fácil interpretação, a ferramenta não considera a complexidade da acessibilidade quanto às distâncias de decaimento e efeitos de competitividade (SILVA, 2012).

2.4 TÓPICOS CONCLUSIVOS

O referencial teórico apresentou um panorama geral das medidas de acessibilidade e suas aplicações no contexto do planejamento de transportes, em especial o público. Desse modo, a primeira seção possibilitou identificar as principais dimensões, abordagens e indicadores utilizados na literatura, em especial, a abordagem por atividades, que traz a análise simultânea dos sistemas de transporte e de uso do solo.

A segunda seção apresentou como as medidas de acessibilidade são abordadas na prática científica de planejamento de transportes, destacando as principais esferas dos sistemas de transporte em que a medida é utilizada, a sua relação com o ambiente construído e o impacto no uso do solo para políticas de desenvolvimento urbano sustentável, e, especialmente, a relação entre o transporte público e a promoção da equidade por meio de medidas de acessibilidade.

Na terceira seção, observa-se ainda que os Instrumentos de Acessibilidade baseados em atividade e voltados ao planejamento de transportes tendem a utilizar medidas de potencial gravitacional, a priorizar o transporte público, e utilizam, em sua maioria, plataformas de SIG, tais como o ArcGIS, como plataforma de modelagem. Entre os três instrumentos detalhados, cabe ressaltar as principais características que nortearam a proposição do método de análise da presente dissertação:

- SNAMUTS apresenta como pontos positivos seus critérios operacionais bem definidos para a seleção do serviço a ser analisado. No entanto, a ferramenta possibilita a avaliação apenas do modo de transporte público;
- A ferramenta GraBAM considera em sua modelagem zonas de análise de tráfego (TAZ) e duas medidas de acessibilidade comparativas, as quais podem ser facilmente integradas a sistemas SIG comerciais. Entretanto, assim como o modelo SNAMUTS, os resultados do instrumento não possibilitam a comparação direta entre modos de transporte público e privado;
- Por sua vez, o SAL traz a equidade como princípio, tendo como produto a representação espacial da comparação de acessibilidade entre diferentes modos de transportes para diferentes tipos de oportunidades motivadoras de viagem. Todavia, a autora aponta que o método não aborda a competitividade por oportunidades e a impedância dada por distâncias de decaimento.

Assim, com base no referencial teórico, foi desenvolvida a proposta de método para avaliação de sistemas de transporte público por ônibus pela abordagem da acessibilidade denominado método *Accessibility Disparity Evaluation Method* - ADEM (Método de Avaliação de Disparidade de Acessibilidade, em português), sendo apresentado no capítulo a seguir.

3 ACCESSIBILITY DISPARITY EVALUATION METHOD (ADEM)

Nas seções a seguir, são apresentados o método ADEM e suas considerações acerca da aplicação, bem como as fundamentações teóricas de cada uma das etapas de análise, de maneira que esse método possa ser replicado em demais contextos urbanos.

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS DE APLICAÇÃO DO MÉTODO ADEM

No atual contexto de planejamento urbano de transportes, a avaliação de medidas de acessibilidade se torna cada vez mais relevante, podendo ser aplicada a distintas análises. Apesar de a comparação entre medidas de acessibilidade de diferentes sistemas de transporte urbanos já ter sido amplamente abordada pela literatura, o método aqui proposto apresenta, além da mensuração da restrição e competitividade de acesso a oportunidades de transporte público no espaço urbano, a sua interpretação por meio de produtos gráficos e um sistema de classificação de áreas prioritárias para intervenções na área de estudo.

A medida de acessibilidade é avaliada para o transporte rodoviário urbano. A acessibilidade por meio da rede viária por automóvel é aqui entendida como uma representação de potencial de oportunidades a que determinada população está exposta. Isso visto que no contexto urbano, em especial para cidades latino-americanas, o transporte rodoviário é o de maior infraestrutura, apresentando maior extensão de malha viária e investimentos públicos. Por sua vez, a medida de acessibilidade da rede de transporte público visa avaliar o potencial de oportunidades com base no uso exclusivo desse meio de transporte para o deslocamento no espaço urbano.

As medidas de acessibilidade no método são calculadas por zona de análise, sendo, portanto, uma propriedade atribuída ao sistema de uso do solo. A comparação entre as medidas de acessibilidade pela rede viária e pela rede de transporte público resultam no denominado *Accessibility Disparity Index* – ADI (“Índice de Disparidade de Acessibilidade”, em português) para cada uma das zonas de análise, seguindo a análise MAG de Kwok & Yeh (2004).

Para a interpretação dos resultados, o método ADEM utiliza uma matriz de decisão que considera, além do indicador ADI, a densidade populacional da respectiva zona como variável de competitividade da demanda por oportunidades. Assim, por meio desse método é possível identificar zonas em que o atendimento por transporte público é carente e apresenta potencial para expansão de mercado, bem como zonas em que sua oferta já está estabelecida e sua

demanda é cativa, sendo viável para a consolidação da demanda a manutenção da qualidade de serviço. No entanto, ressalta-se que a análise do serviço de transporte público no método é modelada no nível da rede de atendimento, não sendo detalhado o itinerário, a capacidade dos veículos e a frota operante por linhas de serviço.

Entre as abordagens de acessibilidade, o método ADEM utiliza medida gravitacional, de infraestrutura e de contorno. Emprega, ainda, dados relacionados a aspectos geográficos (características de uso do solo, localização de atividades e residentes), demográficos (densidade populacional) e de transporte (rede viária, rede de transporte público, características de operação), podendo a área ser avaliada segundo a malha viária em escala de bairro, município e regiões metropolitanas. São usados como variáveis o tempo de viagem, o número de oportunidades e a população. Destaca-se ainda que a avaliação é realizada de modo temporal estático, ou seja, não é considerada a variação de acessibilidade ao longo do dia ou da semana.

Ressalta-se que o método foi desenvolvido para ser uma ferramenta que utiliza plataforma SIG, sendo de relativa facilidade sua mensuração e interpretação, de modo a tornar-se acessível a planejadores, gestores e pesquisadores para complementar sua tomada de decisão em processos de planejamento estratégico de transportes.

3.2 O MÉTODO

Na Figura 3.1, ilustra-se o método de avaliação de disparidade de acessibilidade proposto, incluindo cada uma das suas sete etapas e procedimentos correspondentes.

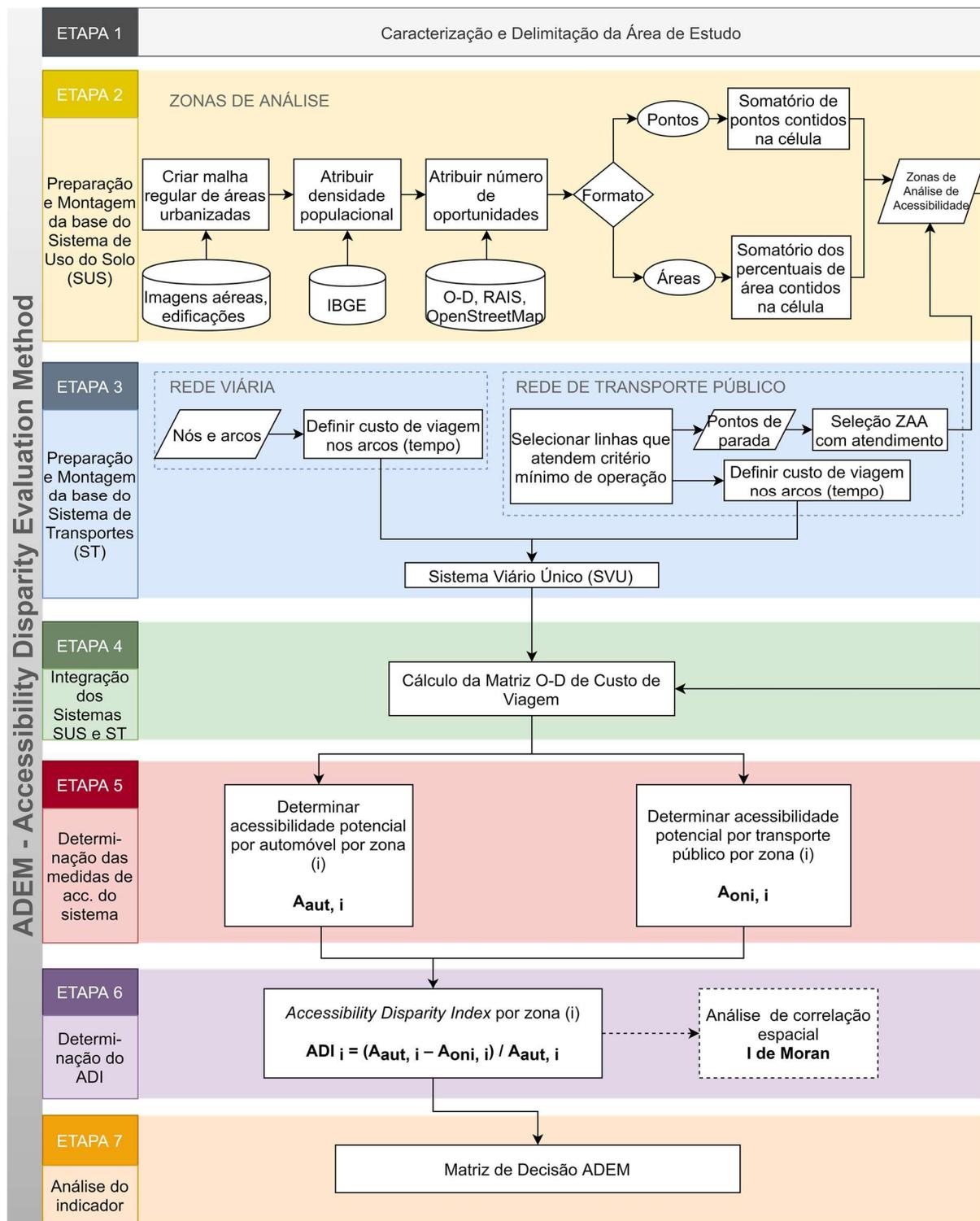


Figura 3.1: Etapas de análise método ADEM
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Na sequência, serão descritas cada uma das etapas de análise, bem como sua fundamentação teórica e suas formulações matemáticas.

3.2.1 CARACTERIZAÇÃO E DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A demanda de um serviço de transporte no meio urbano é altamente qualitativa e diferenciada segundo horários, dias da semana, motivos de viagem, entre outros. Desse modo, a caracterização da área de estudo compreende a identificação preliminar da dinâmica dos sistemas de transporte e de uso do solo de um local, levando em consideração os limites geopolíticos de atuação das políticas públicas.

Em relação ao sistema de uso do solo, cabe identificar a distribuição das oportunidades e demandas no espaço, com a avaliação das áreas destinadas à ocupação residencial, comercial, industrial, lazer, uso misto, entre outras. A utilização de instrumentos legais, como a Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS), possibilita a identificação das estratégias de desenvolvimento local, como o estabelecimento de áreas de concentração de atividades (oportunidades) e áreas de concentração de pessoas (demanda). Ainda, faz-se relevante observar as peculiaridades do tecido urbano, como as segregações promovidas por barreiras naturais, artificiais e culturais. Por sua vez, a caracterização preliminar do sistema de transporte objetiva coletar informações acerca da operação do sistema de transporte público na área de estudo, assim como características de movimentação da população no espaço urbano, como distribuição de hora pico, polos geradores de viagens, oferta de serviços e principais problemáticas de transporte.

Destaca-se, ainda, que cabe entender os aspectos históricos de urbanização, distribuição e segregação socioespacial da região, uma vez que essa compreensão possibilitará uma melhor abordagem da problemática, interpretação dos resultados e análise de propostas de intervenção para a área de estudo.

3.2.2 PREPARAÇÃO E MONTAGEM DA BASE DO SISTEMA DE USO DO SOLO (SUS)

Em modelos computacionais de análise espacial, o sistema de uso do solo é representado por meio de zonas de análise, as quais são obtidas pelo processo de zoneamento da área de estudo. O zoneamento é um processo de agregação/desagregação de dados espaciais, devendo o sistema de zoneamento ser o mais homogêneo possível em sua composição de uso do solo e/ou população (ORTÚZAR & WILLUMSEN, 2011).

No planejamento urbano, é comum que o zoneamento adote delimitações administrativas, como bairros e setores censitários. Entretanto, a utilização de zoneamentos predeterminados por polígonos irregulares pode trazer consequências como distorções na correta determinação de geração de viagens (produção e atração), em que tipos e intensidade de uso do solo variam. Nesse sentido, a utilização de sistemas de zoneamento com malha regular de polígonos pode trazer melhores resultados com menor perda de informação em estudos de planejamento de transporte (MARTÍNEZ, 2006).

Malhas regulares de polígonos podem ser compostas apenas por polígonos que possibilitam a repetição de sua forma geométrica de modo uniforme e que não crie vazios entre suas arestas. Nesse sentido, apenas triângulos equiláteros, quadrados e hexágonos são polígonos regulares que podem ser utilizados, sendo os dois últimos os mais comuns (ESRI, 2020). Birch *et al.* (2007) apontam que utilização de quadrados é geralmente a mais preferida por ser uma forma simétrica e ortogonal, o que oportuniza a simplificação de cálculos e transformações na malha, como em estudos que utilizam o formato *raster* em análise hierárquica. Entretanto, a interação entre células vizinhas fica restrita apenas às quatro células fronteiriças, apresentando, assim, inconsistência especialmente em estudos de conectividade. Em contrapartida, hexágonos apresentam uma forma mais circular, o que possibilita uma interação mais simples e simétrica com células vizinhas. Desse modo, por apresentar uma distância entre centroides igual em seis direções, a utilização de malha com hexágonos é mais indicada para estudos que envolvem análise de conectividade e menores caminhos, como menor custo de distância, por exemplo (BIRCH *et al.*, 2007).

Em estudos de acessibilidade, Burdziej (2019) aponta que a utilização de malhas hexagonais promove uma melhor distribuição de amostras espaciais, entendidas como os centroides das zonas de análise, por serem de fácil ajuste de dimensão. Ainda, segundo o autor, uma malha hexagonal apresenta uma redução de aproximadamente 30% no número de células quando comparada com uma distribuição com quadrados, o que pode trazer maior eficiência e produtividade em termos de recursos computacionais necessários para o processamento de dados.

Nesse sentido, Ortúzar & Willumsen (2011) ressaltam que no processo de zoneamento o tamanho das zonas deve ser determinado de modo que o erro causado pela agregação de atividades no centroide não seja tão grande.

Assim, a segunda etapa do método ADEM consiste no zoneamento e atribuição dos aspectos geográficos de análise de acessibilidade do sistema de uso do solo da área de estudo. Para tanto, devem ser realizados quatro passos de análise: i) determinação da malha regular de áreas urbanizadas; ii) atribuição da densidade populacional; iii) atribuição dos números de oportunidades; e iv) geração das zonas de análise. Na sequência, será descrito cada um dos passos que compõem a segunda etapa do método em questão.

3.2.2.1 Criação da malha regular de áreas urbanizadas

O sistema de representação do sistema de uso do solo adotado pelo método ADEM consiste na criação de uma malha regular de polígonos, sendo escolhida a forma de células hexagonais para sua composição por apresentar um melhor ajuste quanto à amostragem espacial e otimização de processamento (BIRCH *et al.*, 2007; BURDZIEJ, 2019).

Para o método ADEM, o ajuste da malha de polígonos regulares considerará imagens aéreas para a determinação da dimensão das células, sendo ainda consideradas como zonas de análise apenas as células que contenham em seu interior áreas edificadas (habitações, escolas, empresas, indústrias, hospitais), excluindo-se áreas verdes e logradouros públicos (jardins, avenidas, passeios, praças, largos etc.). Desse modo, espera-se que haja uma melhor homogeneização da distribuição populacional e de atividades nas células de análise, em especial em áreas de urbanização dispersa, como em periferias das cidades.

Em resumo, o zoneamento da área de estudo para o método ADEM deve considerar:

- criação de malha regular com células hexagonais;
- dimensão das células compatíveis com a concentração espacial de oportunidades;
- consideração apenas de células que contenham áreas edificadas para a computação de atributos (população e oportunidades).

3.2.2.2 Dados espaciais de população e oportunidades

Por meio da criação da malha regular de polígonos das áreas edificadas, é necessário que sejam atribuídas para cada uma das células hexagonais os atributos do sistema de uso do solo

relacionados à acessibilidade. Para o método ADEM, considera-se como atributos, ou variáveis de análise, a população (demanda) e as atividades (oportunidades).

No método ADEM, a população representa uma variável de análise de competitividade, a qual possibilitará avaliar em termos quantitativos o potencial de demanda latente ou cativa que o sistema de transporte público apresenta na área de estudo. Sugere-se considerar, também, o perfil da população, uma vez que, com base em pesquisas de comportamento de viagem, pode ser melhor avaliada a tomada de decisão quanto ao planejamento estratégico de transporte na região. Assim, devem ser coletados dados que propiciem quantificar e, se possível, caracterizar a população residente. No Brasil, podem ser utilizados dados de número de habitantes ou densidade populacional de setores censitários, segregando os dados por faixa etária e perfil socioeconômico, por exemplo. Os dados podem ser obtidos por agências oficiais de Estado, como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Por sua vez, a variável de análise *oportunidades* está relacionada às atividades de motivação de viagem dos indivíduos. Embora o método ADEM possa ser adaptado para quaisquer análises de motivação de viagens, o presente estudo focará nas atividades de trabalho e estudo, as quais geram os maiores volumes de deslocamento de viagens regulares e pendulares no contexto urbano. Assim, deve-se quantificar o número de oportunidades a trabalho e estudo que a área de estudo apresenta. Fontes oficiais contêm dados com maior riqueza de detalhamento, como é o caso da base de dados de Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), que possibilita identificar e classificar o número de empregos por região (bairro ou setor) e faixa salarial. Todavia, na indisponibilidade desses dados, outras abordagens podem ser adotadas, como a quantificação de estabelecimentos comerciais disponível em bases de dados livres ou pesquisas OD.

3.2.2.3 *Atribuição das propriedades espaciais para as zonas de análise de acessibilidade*

Por meio da coleta dos dados de análise relacionados à população e ao número de oportunidades para a área de estudo, é necessário que sejam criados os atributos na malha regular de áreas urbanas com as respectivas propriedades espaciais. No entanto, a atribuição dos dados dependerá de seu formato vetorial, apresentando-se dois casos:

- a) *pontos*: caso os dados de análise estejam em formato vetorial de pontos, a atribuição para a malha regular de polígonos se dá pela contagem e somatório do número de elementos inscritos em cada uma das células;
- b) *polígonos*: estando os dados em formato vetorial de polígonos, a atribuição dos valores à malha de polígonos regulares se dá pela distribuição do percentual de área do vetor de dados que está contida dentro de cada uma das células de análise.

Ao final do procedimento de atribuição das propriedades espaciais do sistema de uso do solo à malha de polígonos regulares, cada uma das células da malha será uma Zona de Análise de Acessibilidade (ZAA) para a área de estudo.

3.2.3 PREPARAÇÃO E MONTAGEM DA BASE DE SISTEMA DE TRANSPORTES (ST)

A prática de modelagem de redes de transporte é realizada por meio de um sistema de nós e arcos conectados, sendo que a maior parte dos nós corresponde a interseções, enquanto os arcos representam trechos de ruas ou vias homogêneas entre interseções. Os arcos recebem os atributos da rede, como comprimento, velocidade, tempo de deslocamento, capacidade máxima, sentido etc. (ORTÚZAR & WILLUMSEN, 2011).

No modelo de acessibilidade, os sistemas de transporte representam o meio pelo qual as necessidades de deslocamento são atendidas, o que pode facilitar ou restringir o acesso às oportunidades espacializadas na área de estudo que foi identificada no sistema de uso do solo. Assim, de modo a realizar essa análise, é necessário que exista a integração entre ambos os sistemas em ambiente virtual, os quais ocorrem por elementos de subsistemas da rede de transportes.

Na sequência, serão descritos os procedimentos para a preparação da rede viária e de transporte público para a avaliação do método ADEM, conforme ilustrado na Figura 3.1.

3.2.3.1 Rede Viária

Em Sistemas de Informação Geográfica, as redes de vias são constituídas por vetores georreferenciados do tipo linha, cujos elementos representam os eixos das vias. Dada a ampla

utilização de dados georreferenciados para o planejamento territorial e abertamente disponibilizados por agências e órgãos públicos e plataformas virtuais *open source*, o método ADEM utiliza como base dados georreferenciados que representem a malha viária da área de estudo e que contenham, no mínimo, os seguintes atributos primários:

- latitude e longitude;
- comprimento de arcos;
- sentido de vias; e
- velocidade regulamentada.

A partir de então, nessa etapa do modelo, deverão ser atribuídos os custos de viagem associados aos arcos. Para tanto, o método ADEM considera como custo de viagem os tempos de deslocamento nos arcos da rede. Sendo assim, serão considerados três tempos de viagem: i) fluxo livre; ii) velocidade média de percurso; e iii) caminhada.

O tempo de viagem, considerando fluxo livre, se dá por meio da relação entre os atributos de extensão do arco e a velocidade regulamentada (máxima permitida), a qual pode ser obtida por meio da seguinte equação:

$$T_i^f [min] = \frac{C_i [km]}{V_{r,i} [\frac{km}{h}]} \times 60 \quad (3.1)$$

Em que:

- T_i^f indica o tempo de viagem de fluxo livre para o arco i em minutos;
- C_i é o comprimento do arco i em quilômetros;
- $V_{r,i}$ é a velocidade regulamentada do arco i em quilômetros por hora.

Já o tempo médio de percurso atribui penalidade ao custo de viagem do tempo de fluxo livre, em especial o fator congestionamento. De modo a simplificar o processo de análise, a penalidade de congestionamento será considerada de modo global como um fator de redução da velocidade nos arcos da rede, conforme equação (3.2).

$$T_i^p = T_i^f \times \alpha_c \quad (3.2)$$

Em que:

T_i^p indica o tempo de viagem médio de percurso para o arco i ;
 T_i^f é o tempo de viagem de fluxo livre para o arco i ;
 α_c é o fator de redução de velocidade na rede.

Por fim, o tempo de caminhada dos arcos corresponde ao custo de viagem associado ao acesso aos pontos de parada, propiciando o embarque às linhas de transporte público e o desembarque para acessar as oportunidades. Similar ao tempo de fluxo livre, o tempo de deslocamento por caminhada em cada um dos arcos da rede pode ser obtido pela relação de comprimento dos arcos e a velocidade média de caminhada. Para um adulto, a velocidade média de caminhada corresponde a aproximadamente 4 km/h (FRANSEN *et al.*, 2015). Desse modo, com base na equação (3.3) pode-se obter o tempo de caminhada para os arcos da rede viária.

$$T_i^w [min] = C_i [km] \times 15 \quad (3.3)$$

EM que:

T_i^w indica o tempo de caminhada para o arco i em minutos;
 C_i é o comprimento do arco i em quilômetros.

3.2.3.2 Rede de Transporte Público

Assim como a rede viária, a rede de transporte público é constituída de elementos de nós e arcos. No entanto, apresenta dois conjuntos de dados vetoriais: as linhas de transporte público e os pontos de parada. As linhas de transporte correspondem aos itinerários de serviços que atendem à área de estudo, enquanto os pontos de parada representam a interação entre os sistema de uso do solo (demanda e oportunidades) e o sistema de transporte.

As linhas de transporte público são elementos vetoriais que devem apresentar no mínimo os seguintes atributos:

- extensão;
- tempo de viagem programado;
- frequência (pico e entre pico).

Uma vez que a avaliação do método ADEM é temporalmente estática, ou seja, não é realizada uma simulação ao longo de um período de tempo, mas sim em uma fração temporal específica, será adotado um padrão de serviço mínimo baseado no IA SNAMUTS, conforme apresentado no item “2.3.1 SNAMUTS”. Desse modo, serão avaliadas apenas as linhas de transporte público que apresentam um serviço com frequência mínima nos dias úteis de 20 minutos no pico-horário e 30 minutos no entrepico. Destaca-se que o filtro de linhas com base na frequência objetiva minimizar possíveis distorções que a agregação de análise temporal possa ocasionar.

Para cada um dos arcos da rede de linhas de transporte público, deve ser atribuído o custo de viagem *tempo de percurso* associado. Para tanto, deve-se obter inicialmente a velocidade média de operação das linhas de transporte público, a qual considera de modo global os custos associados aos tempos de parada e de congestionamento. Quando não disponível de modo direto, recomenda-se estimar a velocidade média por meio da extensão do itinerário da linha e do tempo de viagem programado, o qual pode ser obtido também pela tabela horária. Assim, com base na velocidade média de operação é possível obter o tempo de percurso para cada um dos arcos conforme a equação (3.4):

$$T_i^{PuT,j} [min] = \frac{C_i [km]}{V_{m,j} [\frac{km}{h}]} \times 60 \quad (3.4)$$

Em que:

- $T_i^{PuT,j}$ indica o tempo de percurso de transporte público da linha j no arco i em minutos;
- C_i é o comprimento do arco i em quilômetros;
- $V_{m,j}$ é a velocidade média da linha j em quilômetros por hora.

Os segmentos de via que não contemplam o atendimento por linhas de transporte público regular receberão como atributo a velocidade de caminhada, de modo que a integração entre elementos seja realizada considerando-se deslocamentos a pé.

3.2.4 INTEGRAÇÃO DOS SISTEMAS SUS E ST

Por meio da preparação e atribuição dos dados de análise nas camadas de zonas de análise (sistema de uso do solo) e redes viárias e de transporte público (sistema de transporte), se faz possível a integração entre os sistemas.

Para o método ADEM, a integração entre os sistemas se dá por meio da obtenção dos custos de viagem em minutos entre cada possível par de Zonas de Análise de Acessibilidade. Em *softwares* SIG, como o ArcGIS, é possível obter a matriz custo de viagem por meio da ferramenta *Network Analyst*, a qual, por meio de atributos da rede de vias, extrai automaticamente o custo de deslocamento entre dois pontos georreferenciados. Desse modo, serão realizadas duas integrações em paralelo, a primeira referente ao sistema viário e a segunda ao sistema de transporte público.

A análise de acessibilidade pela rede viária objetiva avaliar o potencial de viagens pelo modo de transporte individual motorizado de cada uma das zonas. Sendo um modo de transporte *door-to-door*, será considerado que o deslocamento por veículo ocorrerá do centroide da zona, ou seja, a análise de deslocamento em microescala terá como ponto de origem e destino o nó da rede compartilhado pelo conector do centroide da zona de análise.

Por sua vez, a estrutura das redes de transporte público é constituída por pontos de acesso à rede, como pontos de parada e estações, e pelas linhas de transporte, nas quais os usuários se deslocam entre pontos de origem e destino. De modo a avaliar o acesso a oportunidades pela rede de transporte público, o método ADEM considera que está vinculada à infraestrutura de pontos de parada da rede de transporte. Assim, a interação entre o sistema de uso do solo e o sistema de transporte se dá por meio pontos de acesso à rede, os quais estarão relacionados tanto às zonas de análise quanto à rede de transporte público.

A integração às zonas de análise será realizada mediante identificação de centroides de zonas atendidos por cada um dos pontos de parada por meio de uma medida de contorno. Nesse sentido, será considerada uma área de cobertura a começar dos pontos de parada. Assim, caso um centroide de uma zona de análise esteja dentro da área de cobertura (contorno) de um ponto de parada, essa zona será considerada uma zona atendida pelo sistema de transporte público regular e suas medidas de acessibilidade potencial serão consideradas para o cálculo do indicador ADI (*Accessibility Disparity Index*). Para tanto, será considerada uma distância de caminhada nos *links* viários de 400 metros, a qual é baseada na distância de caminhada dos nós de atividade do método SNAMUTS (CURTIS *et al.*, 2012).

3.2.5 DETERMINAÇÃO DAS MEDIDAS DE ACESSIBILIDADES DO SISTEMA

O método ADEM considera duas medidas de acessibilidade com base nos sistemas de uso do solo e das redes de transporte. A primeira medida é uma medida de potencial de acessibilidade para cada uma das zonas de análise, por meio do automóvel; já a segunda é também uma medida de potencial das zonas de análise, porém por meio da rede de transporte público.

Na sequência, serão descritas as equações utilizadas por cada uma das medidas de acessibilidade que compõem o método ADEM.

3.2.5.1 Acessibilidade Potencial do Transporte Individual Motorizado

A acessibilidade potencial por zona de análise para a rede viária tem como objetivo mensurar a acessibilidade a que uma área está exposta considerando a utilização de veículo individual motorizado, uma vez que é o meio de transporte que apresenta maior infraestrutura no contexto urbano, em especial o brasileiro. Ressalta-se que, sendo um modelo baseado em atividades, serão consideradas as oportunidades referentes às motivações de viagens a trabalho e estudos.

Para tanto, adota-se a medida do tipo gravitacional de Hansen (1959), que adiciona a impedância de viagem ao cálculo de oportunidades acessíveis, o chamado *modelo de decaimento de distância*. Como fator de impedância, será considerado o tempo como fator de custo de viagem; nesse sentido, as oportunidades localizadas espaço-temporalmente mais distantes da zona de origem terão suas atratividades reduzidas pela equação (3.5) do tipo exponencial negativa (ver BOCAREJO & OVIEDO, 2012; KAROU & HULL, 2014; CASCETTA *et al.*, 2016), a qual está representada na equação a seguir:

$$A_{aut,i} = \sum_j^{c_{ij} \leq 30} O_j f(c_{ij}) \quad (3.5)$$

$$f(c_{ij}) = e^{-\beta \cdot c_{ij}}$$

Em que:

$A_{aut,i}$ indica a acessibilidade potencial da zona i por automóvel;

O_j é o número de oportunidades na zona j ;

$f(c_{ij})$ é a função exponencial negativa de impedância;

c_{ij} é o custo de viagem mínimo entre i e j em minutos;

β é o parâmetro sensível do custo.

O parâmetro β é um parâmetro de calibração da função de custo de viagem, que reduz ou aumenta a atratividade de viagens à zona de destino segundo o tempo de viagem. Para o modelo de acessibilidade proposto, o parâmetro β varia entre 0 e 1, de modo que, quanto maior o seu valor, maior é a influência negativa do tempo de viagem no acesso às oportunidades de determinada zona.

Quando se tem uma matriz de viagens da área de estudo, o parâmetro β pode ser estimado conforme o método de Hyman (ORTÚZAR & WILLUMSEN, 2011 p. 30). Em outros casos, pode-se adotar como estimativa do parâmetro de impedância estudos realizados por outros autores. A exemplo, pesquisadores brasileiros consideram o modelo de Sanches (1996) citado por Raia Jr. (2000) e Menezes (2015), cuja formulação para avaliação do desempenho de sistemas de transporte coletivo e por automóvel na cidade de Matão-SP estima $\beta = 0,11$.

3.2.5.2 Acessibilidade Potencial do Transporte Público

A medida de acessibilidade potencial do transporte público por zona de análise busca fornecer uma medida de comparação com a acessibilidade potencial de cada zona por transporte motorizado individual. Nesse sentido, adota-se também uma medida de acessibilidade baseada em atividade do tipo gravitacional exponencial negativa de Hansen (1959), similar à equação (3.5), para mensuração da acessibilidade potencial por transporte individual motorizado. O fator de impedância será considerado como o tempo de viagem entre as Zonas de Análise atendidas pelo Sistema de Transporte Público regular, sendo avaliada pela equação (3.6):

$$A_{oni,k} = \sum_j^{c_{kj} \leq 30} O_j f(c_{kj}) \quad (3.6)$$

$$f(c_{kj}) = e^{-\beta \cdot c_{kj}}$$

Em que:

- $A_{oni,k}$ indica a acessibilidade potencial do transporte público da zona k;
- O_j é o número de oportunidades na zona j;
- $f(c_{kj})$ é a função exponencial negativa de impedância;
- c_{kj} é o custo de viagem mínimo entre k e j em minutos;
- β é o parâmetro sensitivo do custo.

Conforme apresentado no item 3.2.5.1, o parâmetro β é um parâmetro de calibração da função de custo de viagem e seu valor varia entre 0 e 1. Para o método ADEM, pode ser estimado pelo

método de Hyman (ver ORTÚZAR & WILLUMSEN, 2011 p. 30), ou, quando não disponíveis os dados para tal procedimento, pode-se adotar valores de referência, como o valor $\beta = 0,1$ de Karou e Hull (2014).

3.2.6 ACCESSIBILITY DISPARITY INDEX (ADI)

Por meio da etapa de mensuração das medidas de acessibilidade da área de estudo, realiza-se a avaliação comparativa entre as medidas de acessibilidade potencial por meio de transporte individual motorizado e transporte público coletivo para cada uma das zonas de análise. Essa avaliação compõe o denominado *Accessibility Disparity Index – ADI* (“Índice de Disparidade de Acessibilidade”, em português), o qual indicará a discrepância relativa de atendimento em termos de acesso à oportunidade para cada uma das zonas de análise entre os modos de transporte motorizados individual e coletivo.

O indicador ADI segue o indicador *Modal Accessibility Gap* (MAG), proposto por Kwok & Yeh (2004). O MAG é definido como a diferença das medidas de acessibilidade entre os modos transporte público e transporte privado com valores variando de -1 a 1 . As medidas de acessibilidade utilizadas do MAG são ponderadas pela população zonal, sendo que, quando o indicador MAG for positivo e mais próximo de 1 , mais competitivo é o transporte público em termos de acesso a oportunidades na região analisada (KWOK & YEH, 2004).

Para o indicador ADI, no entanto, adotou-se um valor normalizado entre 0 (zero) e -1 (menos um), obtido para cada zona de análise i por meio da seguinte equação:

$$ADI_i = \frac{(A_{oni,i} - A_{aut,i})}{A_{aut,i}} \quad (3.7)$$

Em que:

ADI_i é o *Accessibility Disparity Index* da zona i , variando entre 0 e -1 ;

$A_{aut,i}$ indica a acessibilidade potencial da zona i por automóvel;

$A_{oni,i}$ indica a acessibilidade potencial por transporte público da zona i .

Assim, quanto menor o valor do indicador ADI, menos atrativo será o potencial de acesso à oportunidade pelo modo de transporte público para os indivíduos residentes na zona em análise (demanda). Do mesmo modo que, quanto mais próximo de zero, mais igualitário é o acesso às oportunidades, evidenciando-se assim uma melhor competitividade do transporte público em relação ao transporte individual em termos de atendimento aos desejos de viagem.

Ressalta-se que as ZAA que não têm acesso à rede de transporte público com atendimento considerado mínimo recebem valor ADI de -1 , indicando que os deslocamentos por transporte público a contar dessa zona não apresentam competitividade.

3.2.6.1 *Análise de Correlação Espacial*

Entre os principais testes estatísticos para avaliar a similaridade de áreas está o índice global I de Moran. Segundo Silva (2006), o teste de I de Moran tem como objetivo verificar se, quando o desvio de uma área é grande ou pequeno, os desvios das áreas vizinhas também seguem essa tendência. O índice I de Moran varia entre -1 e $+1$, em que valores próximos a 0 indicam ausência de autocorrelação espacial, próximos a $+1$ indicam autocorrelação positiva, e, próximos a -1 , autocorrelação negativa.

O I de Moran pode ser definido conforme a equação (3.8) (SILVA, 2006):

$$I_i = \frac{z_i \sum_{j=1}^n w_{ij} z_j}{\sum_{i=1}^n z_i^2 / n} \quad (3.8)$$

Em que:

- z_i , é o *Accessibility Disparity Index* da zona i , variando entre 0 e -1 ;
- w_{ij} , indica a acessibilidade potencial da zona i .

De modo a avaliar a correlação espacial do I de Moran, é necessário analisar sua significância. Para tanto, será utilizada a ferramenta *Spatial Autocorrelation (Global Moran's I)* do software ArcGIS, que calcula para uma base de dados o indicador I de Moran e os valores z-score e p-valor de significância do indicador. Por ser uma ferramenta de inferência estatística, é adotada como hipótese nula em que os atributos (localização e valor das feições) analisados têm distribuição aleatória na área de estudo (ESRI, 2021).

Quando o p-valor é estatisticamente significativo, a hipótese nula é rejeitada, indicando que existe autocorrelação espacial. Se a hipótese nula for rejeitada e os valores z-score forem positivos, a distribuição espacial dos valores (altos ou baixos) das feições apresentam uma

configuração mais agrupada, enquanto valores z-score negativos indicam uma distribuição mais dispersa que a esperada (ESRI, 2021).

3.2.7 MATRIZ DE DECISÃO ADEM

A análise do indicador ADI para cada uma das zonas se dá por meio de uma matriz de decisão, a qual considera de modo desagregado, além do valor ADI, a população residente em cada uma das zonas. Considerar a população se faz importante para identificar áreas com potencialidade de uma maior demanda para o sistema de transporte de massa.

O indicador ADI é dado por um valor normalizado entre -1 e 0 , em que -1 indica uma maior deficiência à oferta de acesso a oportunidades para o sistema de transporte público quando comparados os deslocamentos de até 30 minutos por transporte individual motorizado. Já valores próximos a 0 indicam que a competitividade entre o transporte público por ônibus e o transporte individual se dá de maneira mais igualitária.

Por sua vez, a concentração de população na Zona de Análise de Acessibilidade indica a potencialidade para captação de demanda para o transporte público, tornando-as assim áreas prioritárias para melhorar a cobertura de atendimento.

A matriz de decisão do método ADEM apresenta, portanto, em seu eixo horizontal a distribuição das zonas segundo a sua população. Recomenda-se a utilização de escala logarítmica nesse eixo de análise para melhor visualização de áreas mais densamente habitadas. As zonas são então classificadas em cinco categorias, sendo elas:

- muito baixa: estrato com limite superior ao primeiro quartil (Q1) do atributo população da área de estudo;
- baixa: estrato entre o primeiro quartil (Q1) e o segundo quartil (Q2) do atributo população da área de estudo;
- média baixa: estrato entre o segundo quartil (Q2) e a média aritmética (\bar{x}) do atributo população da área de estudo;
- média alta: estrato entre a média aritmética (\bar{x}) e o terceiro quartil (Q3) do atributo população da área de estudo;
- alta: estrato com limite inferior ao terceiro quartil (Q3) do atributo população da área de estudo.

No eixo vertical da matriz de decisão, está a distribuição das zonas de análise segundo o indicador ADI, o qual é normalizado para o valor da “Acessibilidade Potencial”, dada pelo transporte individual motorizado. A variável ADI também está estratificada em cinco categorias, sendo elas:

- muito baixo: estrato ADI entre -1 e $-0,80$;
- baixo: estrato ADI entre $-0,79$ e $-0,60$;
- médio: estrato ADI entre $-0,59$ e $-0,40$;
- alto: estrato ADI entre $-0,39$ e $-0,20$
- muito alto: estrato ADI entre $-0,19$ e 0 ;

A análise conjunta desses dois indicadores (população e ADI) possibilita a classificação das Zonas de Análise segundo sete áreas, conforme caracterizadas no Quadro 3.1.

Quadro 3.1: Classificação das ZAA segundo área de dispersão na Matriz de Decisão

	Combinação ADI / População	Característica
Área I	Muito baixo /Alta	Péssimo atendimento, altíssima população, apresenta potencial de demanda.
Área II	Muito baixo / Média alta Baixo / Alta ou Média alta	Mau atendimento, média-alta população, oportunidade para melhorar atendimento regional.
Área III	Muito baixo ou Baixo / Média baixa	Mau atendimento, baixa população, oportunidade para melhorar atendimento local.
Área IV	Muito baixo ou Baixo / Baixa	Mau atendimento, baixa população, oportunidade de serviços alternativos.
Área V	Muito baixo ou Baixo / Muito baixa	Mau atendimento, população muito baixa, oportunidade de serviços especiais.
Área VI	IDA Médio	Médio atendimento, oportunidade para melhorar atratividade por meio da qualidade do serviço.
Área VII	IDA Alto ou Muito alto	Bom atendimento, manter serviço.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 3.2, ilustra-se a Matriz de Decisão do método ADEM, segundo estratos de análise.

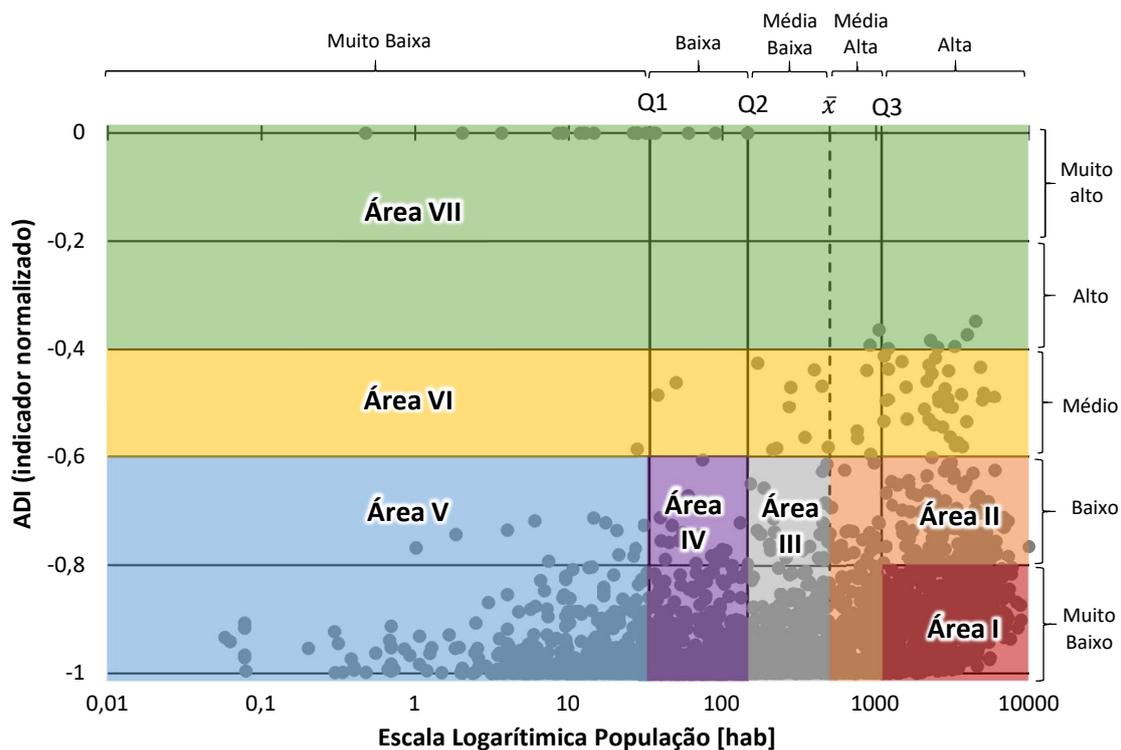


Figura 3.2: Matriz de Decisão do método ADEM
 Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3 TÓPICOS CONCLUSIVOS

O método proposto se caracteriza por ser um instrumento de mensuração e avaliação das medidas de acessibilidade comparativas entre transporte individual motorizado e transporte público coletivo por ônibus no espaço urbano. Ainda, o método ADEM possibilita a interpretação por meio de produtos gráficos e um sistema de classificação de áreas prioritárias para intervenções na área de estudo.

Por meio de medidas de acessibilidade baseadas em atividade, o método incorpora em sua mensuração critérios operacionais estabelecidos pelo instrumento SNAMUTS, assim como conceitos comparativos de acessibilidade apresentados pelos instrumentos SAL e GraBAM e o indicador MAG.

De modo a avaliar as potencialidades e aplicabilidade do método proposto, na sequência é realizado um estudo-piloto de avaliação da disparidade de acessibilidade em Brasília-DF.

4 APLICAÇÃO DO MÉTODO ADEM: O CASO DE BRASÍLIA-DF

Gil (2002) argumenta que estudos de caso são métodos de pesquisa que podem ser explorados a fim de realizar estudos-piloto para esclarecimento e investigação de um fenômeno dentro de seu contexto real. Nesse sentido, para identificar e analisar as potencialidades e restrições do método ADEM, apresenta-se neste capítulo sua aplicação na região de Brasília, Distrito Federal. Além de ser uma das principais regiões metropolitanas da América Latina, o processo de urbanização de Brasília se caracteriza por condicionar a dependência do transporte individual motorizado sobre outros meios de transporte. Assim, o desenvolvimento de uma análise comparativa de acesso a oportunidades de transporte público, por ônibus, na região possibilitará identificar possíveis consequências do modelo de planejamento territorial adotado e apontar oportunidades de promoção da acessibilidade por meio da oferta de sistemas de transporte público.

Na sequência, é apresentada a aplicação das etapas do método ADEM, sendo elas:

- Etapa 1: Caracterização de Brasília-DF;
- Etapa 2: Preparação e montagem da base do Sistema de Uso do Solo (SUS);
- Etapa 3: Preparação e montagem da base dos Sistemas de Transporte (ST);
- Etapa 4: Integração dos sistemas SUS e ST;
- Etapa 5: Determinação das medidas de acessibilidade;
- Etapa 6: Determinação do *Accessibility Disparity Index* em Brasília-DF;
- Etapa 7: Matriz de Decisão ADEM.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DE BRASÍLIA-DF

O Distrito Federal tem como limites naturais o rio Preto, a leste, e o rio Descoberto, a oeste. Ao norte e ao sul, é limitado por linhas retas que definem o quadrilátero correspondente à sua área (CODEPLAN, 2020). Localizado na região Centro-Oeste do Brasil, faz divisa com os estados de Goiás (a Sul, Oeste, Norte e Leste) e Minas Gerais (a Sudoeste), conforme é ilustrado na Figura 4.1.

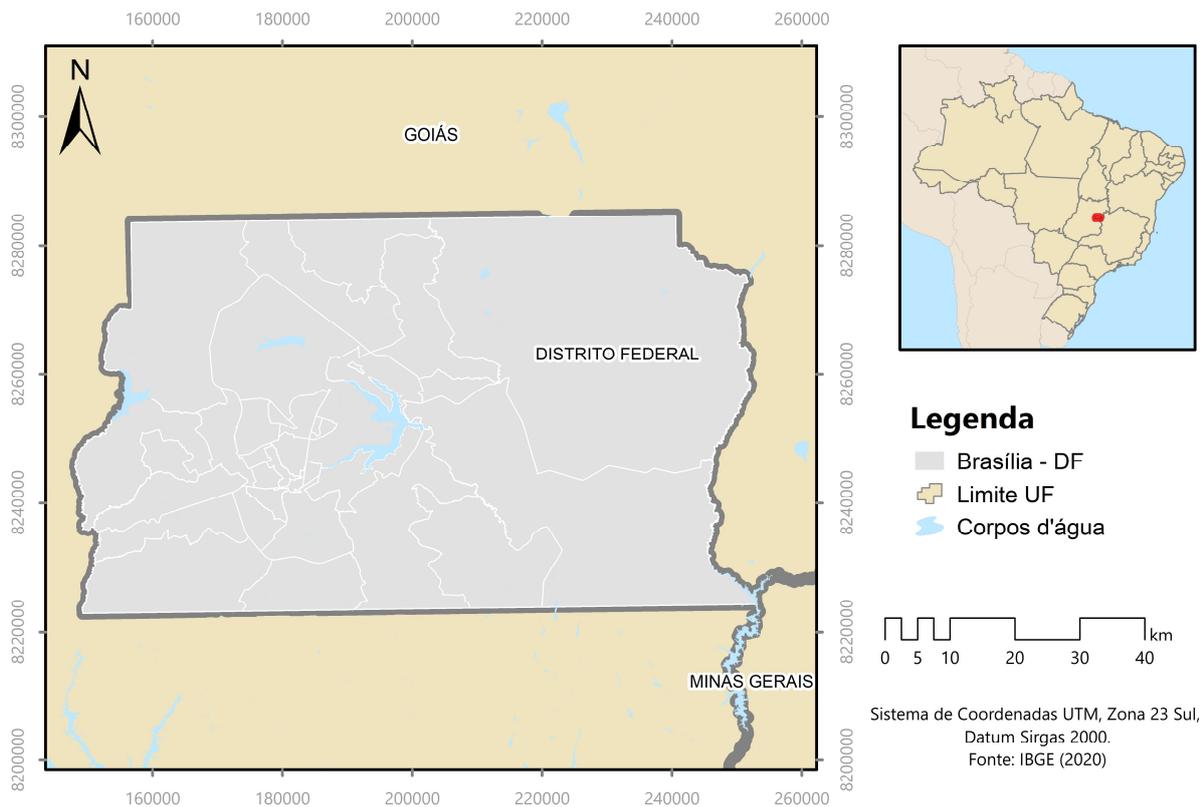


Figura 4.1: Localização do DF.

Fonte: Elaboração própria com dados do IBGE (2020)

Com área de 5.779 km², o Distrito Federal é o menor território autônomo do Brasil e é composto pela capital federal, Brasília, bem com suas 33 Regiões Administrativas (RA). Para o presente estudo, Brasília é compreendida como o conjunto de Regiões Administrativas (RA) que compõe os limites geopolíticos do Distrito Federal.

Na sequência, serão apresentados os principais aspectos no que se refere à evolução e estruturação do espaço urbano de Brasília, os aspectos populacionais e econômicos da população e as características relacionadas à mobilidade urbana da região de análise.

4.1.1 Estruturação Urbana de Brasília

A concepção de Brasília, dada por Lúcio Costa, considerava inicialmente um modelo de urbanização de cidades dispersas baseado numa cidade central, o Plano Piloto, que deveria ser ampliada pelo acréscimo de novos núcleos urbanos distintos, as chamadas *cidades-satélites* (BRITO, 2009).

Inicialmente, a capital do Brasil havia sido planejada para comportar cerca de 500 a 700 mil habitantes, entretanto, em razão das obras de construção da cidade, muitos migrantes foram atraídos para a região e acabaram se estabelecendo em núcleos urbanos descentralizados fora dos limites do Plano Urbanístico de Lúcio Costa, forçando assim o desenvolvimento precoce das cidades-satélites, como Taguatinga, Sobradinho e Gama (BRITO, 2009; MARTINS & NETO, 2015).

Por determinação constitucional, o Distrito Federal está dividido em Regiões Administrativas delimitadas pela Lei Complementar n. 958, de 20 de dezembro de 2020 (CODEPLAN, 2020) conforme mostrado na Figura 4.2.

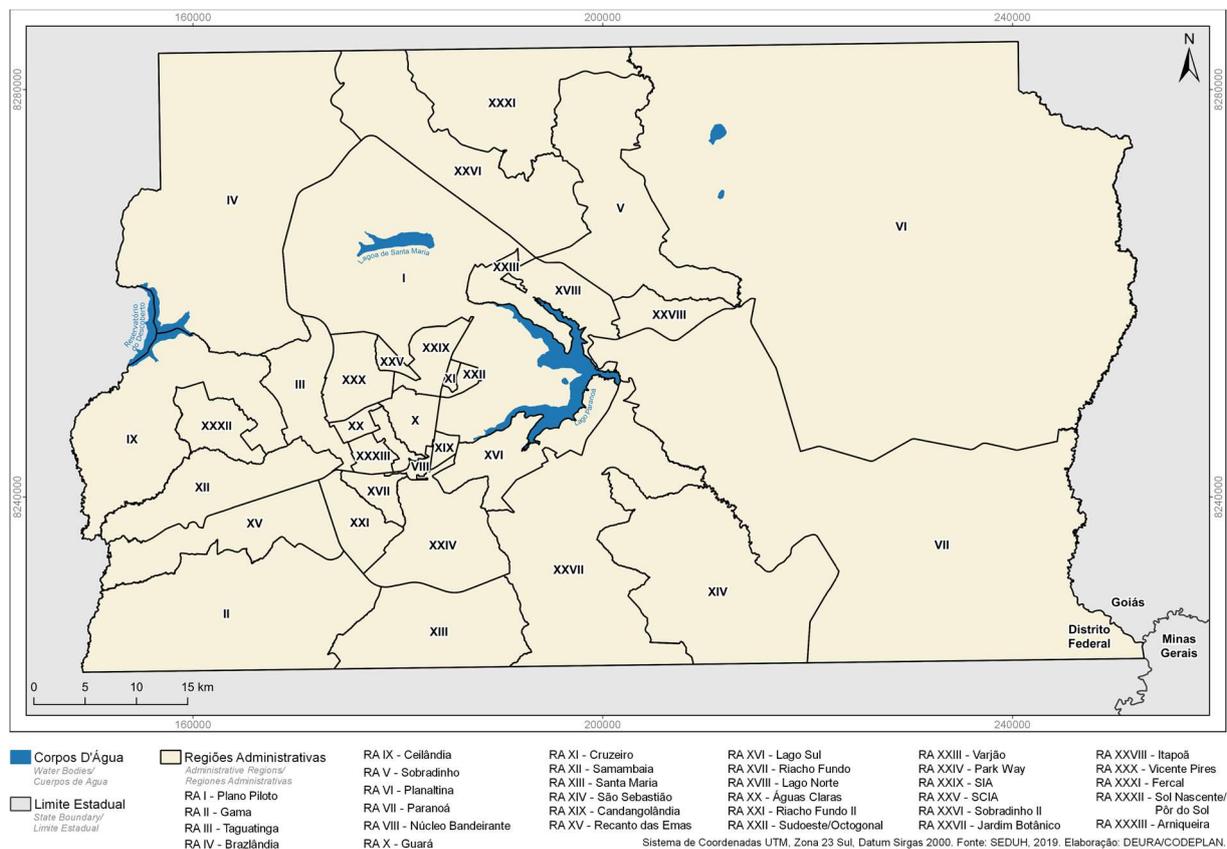


Figura 4.2: Regiões Administrativas do DF
Fonte: CODEPLAN (2020)

Brito (2009) argumenta que ainda em meados da década de 1960 e início dos anos 1970, Brasília passou a sinalizar a mudança de seu modelo de crescimento urbano descontínuo por uma modelagem de crescimento do tecido urbano contínuo com o surgimento de Guará e Ceilândia, os quais não mantinham o distanciamento do centro urbano exigido pela modelagem polinucleada. A expansão em tecido contínuo objetivava a estruturação da mancha urbana de modo a preencher vazios e promover um processo de conurbação. No entanto, embora novos

núcleos urbanos tenham surgido a partir dos anos 1980, como Samambaia, Riacho Fundo e as Quadras Econômicas, o modelo ocupacional excessivamente disperso permaneceu nos dias atuais sem a total interligação dos núcleos urbanos de Brasília.

Martins & Neto (2015) sugerem que a concentração de empregos no Plano Piloto, as diretrizes da política habitacional e a ampliação de capacidade do sistema viário são fatores que continuam a estimular a expansão da mancha urbana de Brasília e intensificar a dependência do automóvel em sua estrutura regional descentralizada que se mantém até o momento.

4.1.2 Aspectos Socioeconômicos

Segundo dados do IBGE (2020), Brasília tem uma população estimada de 3.055.149 habitantes em 2020, sendo a quarta cidade mais populosa do país. Quanto à ocupação do território, Ceilândia é a RA que apresenta a maior população urbana, seguida do Plano Piloto, Taguatinga e Samambaia (Figura 4.3).

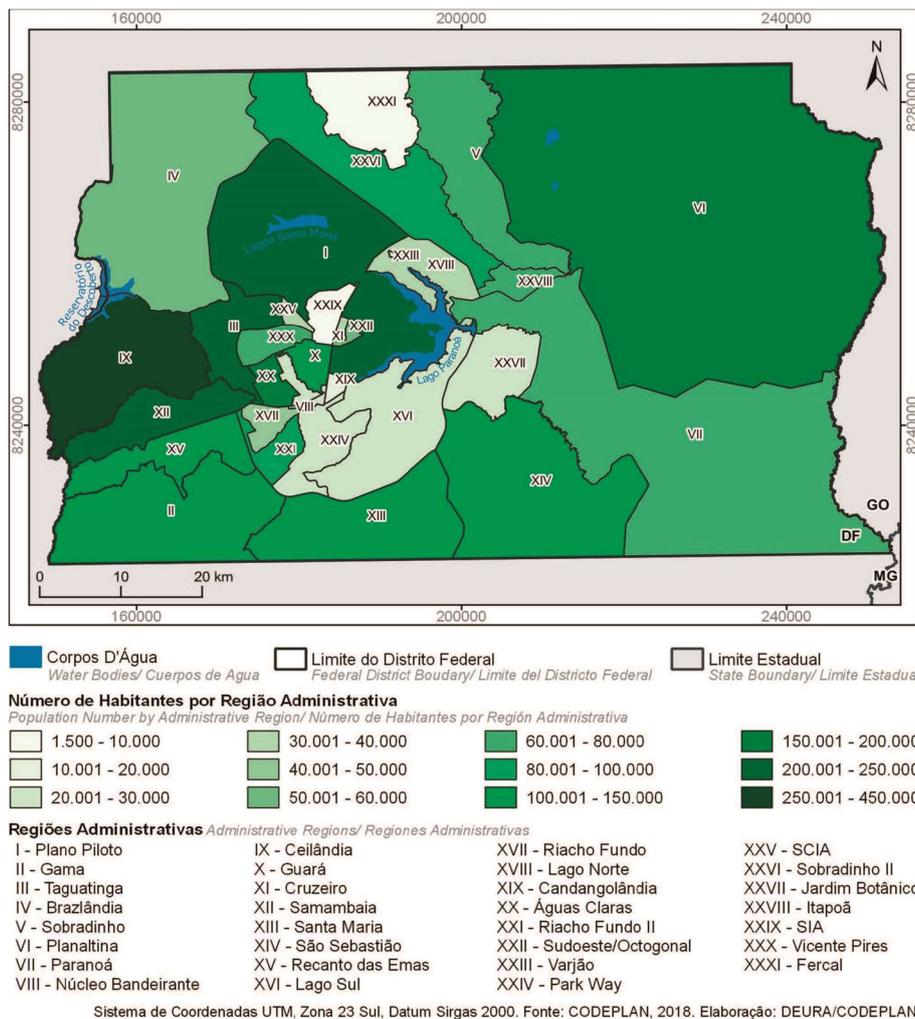


Figura 4.3: População urbana por RA
Fonte: CODEPLAN (2020)

O Distrito Federal apresenta o maior PIB *per capita* entre as federações do Brasil, cujo rendimento médio domiciliar *per capita* é de R\$ 2.460, sendo aproximadamente 61% a taxa de participação da população economicamente ativa em 2018. Por sua função administrativa, o setor de serviços é de grande importância, abrangendo a maior participação no PIB e ocupando a maioria da população economicamente ativa (95,7%), sendo destaques as atividades de administração, educação, saúde, pesquisa e desenvolvimento público, defesa e seguridade social (CODEPLAN, 2020). Em contraste à concentração populacional, a RA que apresenta a maior renda *per capita* é o Lago Sul, seguida das regionais do entorno do Plano Piloto (Figura 4.4).

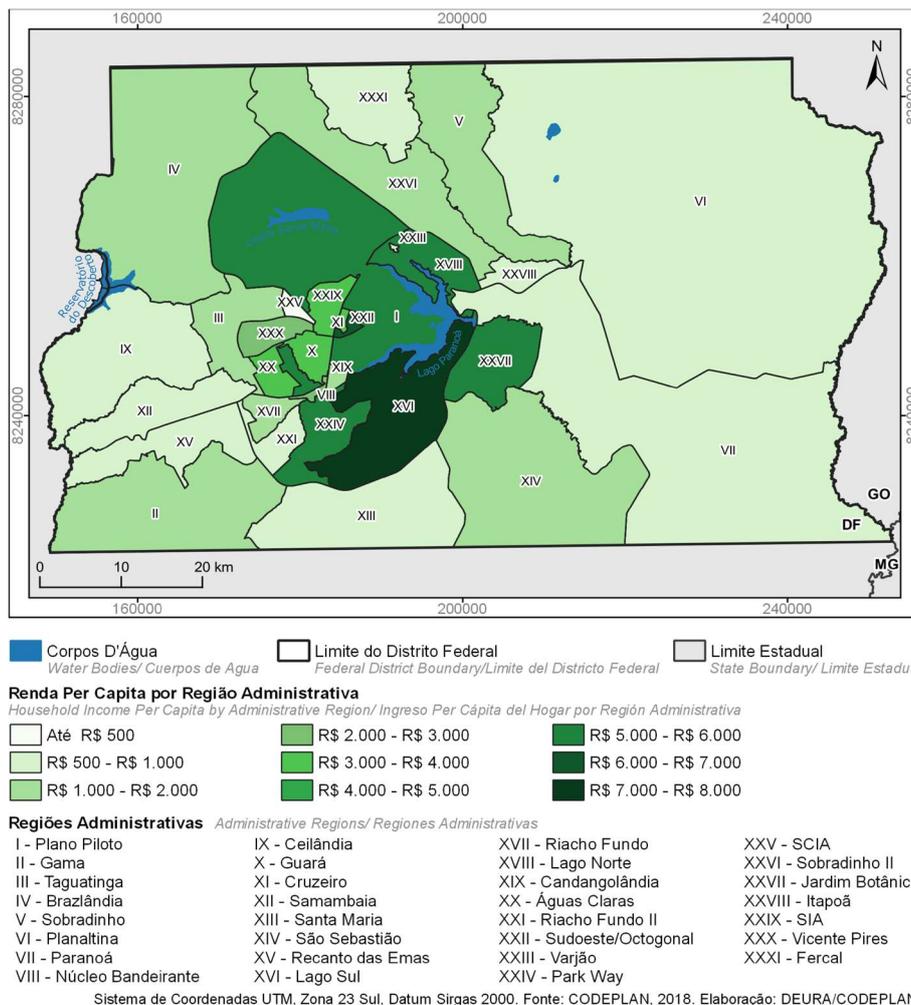


Figura 4.4: Renda per capita por RA
Fonte: CODEPLAN (2020)

Segundo informações apresentadas pelo Plano de Desenvolvimento do Transporte Público sobre Trilhos do Distrito Federal (PDPTT/DF) do Metrô-DF (2017), com base nos dados obtidos na Relação Anual de Informações Sociais – RAIS 2015, aproximadamente 50% dos empregos estão concentrados no Plano Piloto, seguido por Taguatinga (7%), SAI (5%) e Águas Claras (5%). A distribuição espacial dos empregos pode ser observada na Figura 4.5.

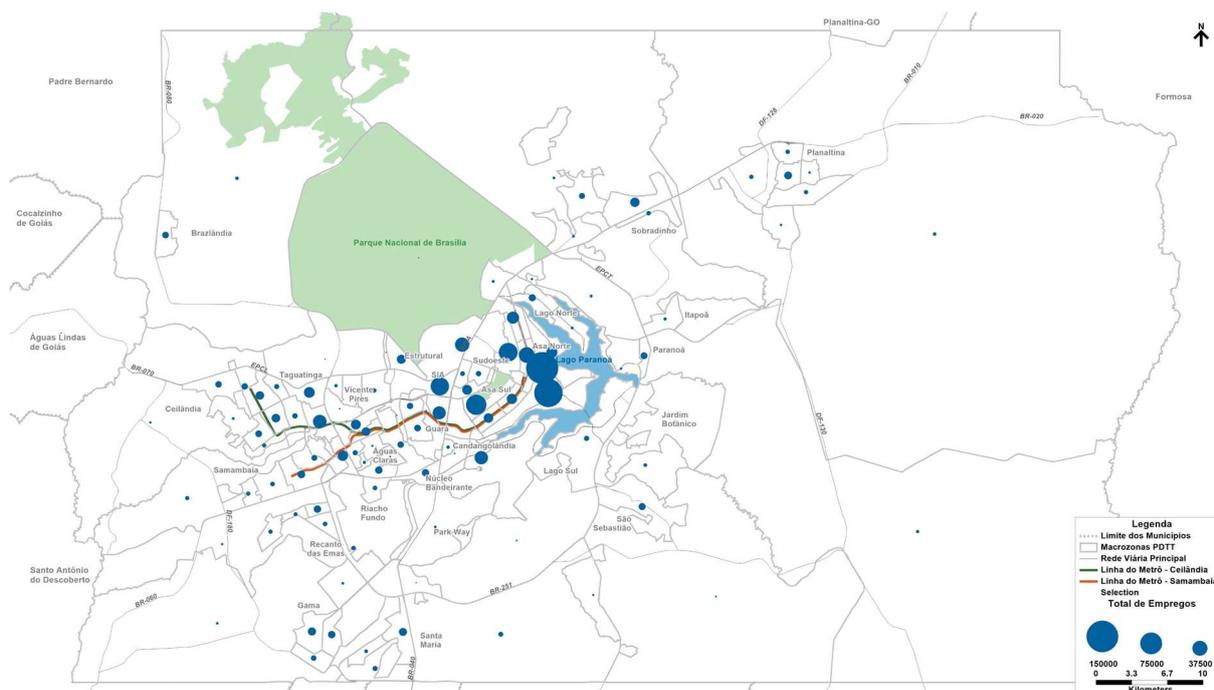


Figura 4.5: Distribuição espacial do total de empregos em Brasília-DF
 Fonte: PD TT (2018) com dados RAIS 2015

Para melhor entendimento acerca dos aspectos de mobilidade urbana em Brasília, no item a seguir serão abordadas as principais características das infraestruturas de transportes da região e o padrão de mobilidade da população.

4.1.3 Características da Mobilidade Urbana

Em Brasília, a malha viária utilizada para o tráfego geral tem aproximadamente 15.220 km de extensão, sendo composta por vias de trânsito rápido, arteriais, coletoras e locais. Além das vias para tráfego geral, Brasília apresenta ainda vias exclusivas para o transporte coletivo, que são o sistema metroviário, trechos exclusivos para a circulação do sistema *Bus Rapid Transit* (BRT) e faixas reservadas para o fluxo de ônibus e rede cicloviária (METRÔ-DF, 2017). Na Figura 4.6, é ilustrada a rede viária geral, assim como os eixos dedicados ao transporte coletivo em Brasília.

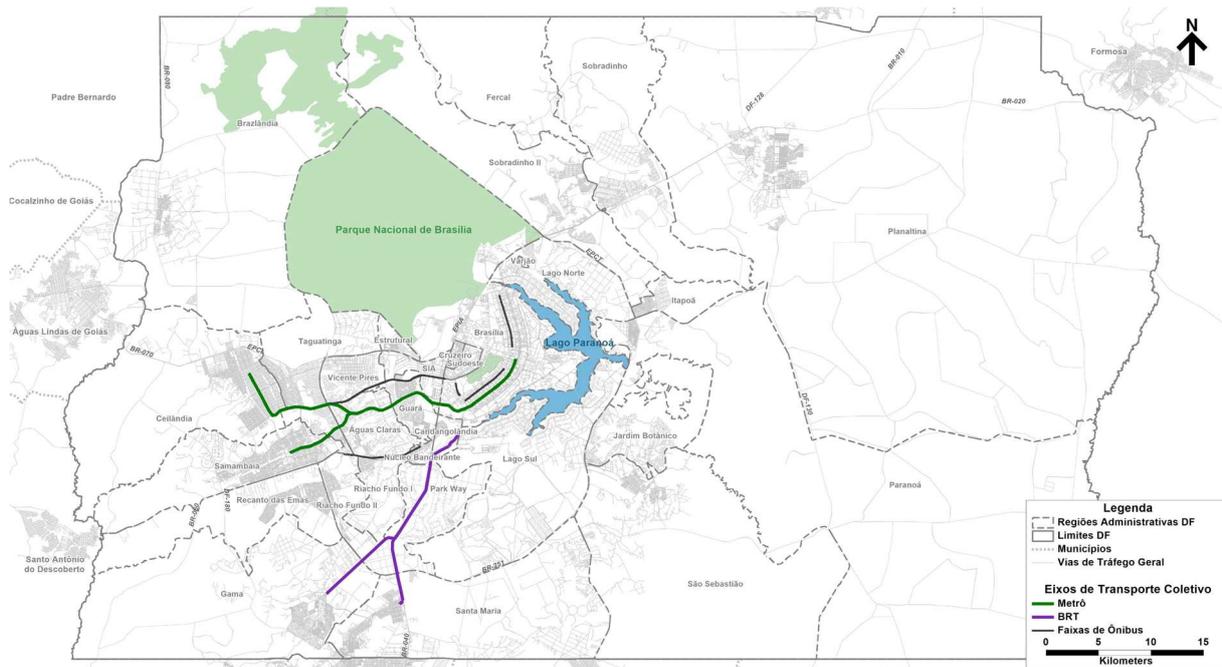


Figura 4.6: Malha viária geral e eixos dedicados ao transporte coletivo.
Fonte: PDTT (2018)

O Sistema de Transporte Público Coletivo do DF (STPC/DF) é composto por duas categorias, o sistema rodoviário e o metroviário, os quais têm os serviços urbanos interurbanos (a partir de 2021) regulados pela SEMOB, e o sistema metroviário regulado pelo Metrô-DF.

O sistema metroviário tem uma extensão de 42,28 km, os quais conectam o Plano Piloto a Águas Claras e Ceilândia Norte por meio de duas linhas e 24 estações. O sistema tem operação em “Y”, cujo intervalo médio entre composições no pico da manhã é de 10,5 minutos no ramal de Samambaia e de 5,25 minutos no ramal de Ceilândia, gerando um intervalo médio combinado de 3,5 minutos no ramal compartilhado. Em relação ao número de passageiros transportados, o sistema metroviário de Brasília apresenta uma média de 173 mil passageiros transportados por dia, número abaixo de sistemas de igual ou menor dimensão como de Porto Alegre (200 mil pax/dia) e Belo Horizonte (230 mil pax/dia) (METRÔ-DF, 2017).

Já o sistema rodoviário é classificado em dois serviços: o básico e o complementar. O serviço complementar visa atender a segmentos específicos de usuários, como áreas rurais, transporte executivo e de vizinhança. Por sua vez, o serviço básico, o mais importante e significativo, utiliza veículos do tipo micro-ônibus e convencional, alongado, padronizado e articulado. O sistema rodoviário apresenta um total de 2.921 veículos alocados e é composto por 860 linhas classificadas segundo suas características de operação. Em 2019, o STPC/DF transportou um

total de 355.194.807 passageiros com Índice de Passageiros por Quilômetro (IPK) de 1,456, apresentando uma taxa de crescimento de usuários de 0,7264% em relação ao período anterior, e uma queda de -0,0514% em relação ao ano de 2016 (SEMOB, 2019). Ainda, dadas as características de ocupação territorial dispersa do DF, a extensão das linhas do STPC/DF é muito superior a outras capitais brasileiras, conforme ilustrado na Figura 4.7.

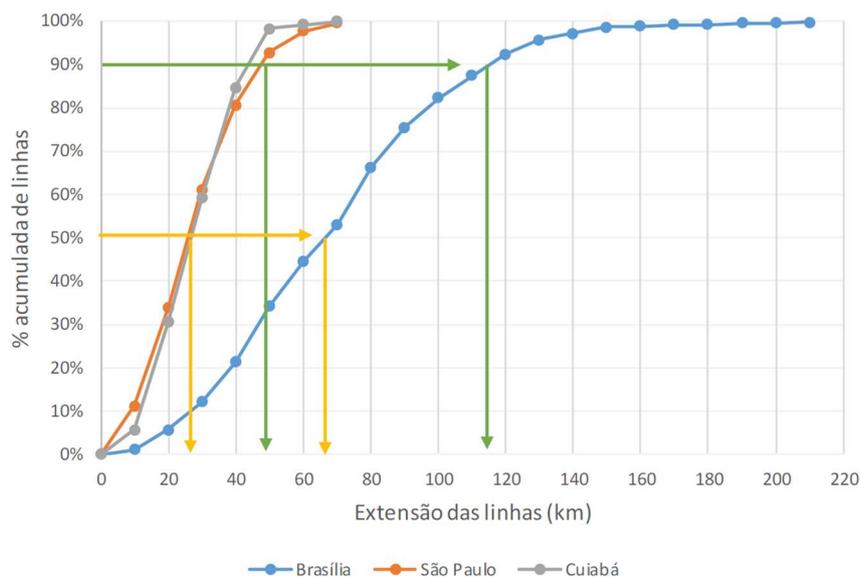


Figura 4.7: Comparação da extensão das linhas de Brasília, São Paulo e Cuiabá
Fonte: PDTT (2018)

Segundo dados do Metrô-DF (2017), enquanto 50% das linhas de transporte público de São Paulo tinham extensão inferior a 30 km, nas de Brasília esse valor está acima de 60 km. Ainda, destaca-se que 10% das linhas de Brasília têm extensão superior a 110 km, enquanto que, para Cuiabá e São Paulo, esse valor fica abaixo de 50 km de extensão.

No que tange à distribuição de viagens por modo (Figura 4.8), dados de pesquisa domiciliar origem-destino realizada em 2016 pelo Metrô-DF apontam que aproximadamente 49% das viagens são realizadas por transporte individual motorizado, seguido por 24% de transporte público coletivo e 20% de transporte ativo a pé (METRÔ-DF, 2017).

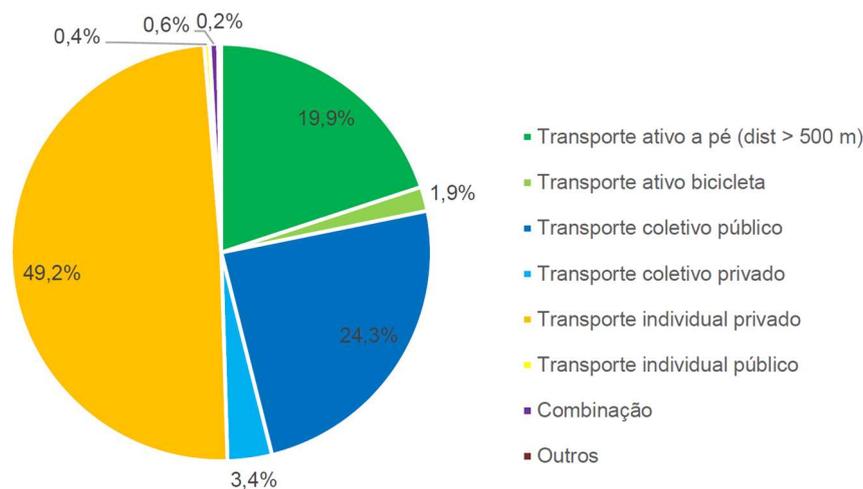


Figura 4.8: Matriz de viagem segundo modo de transporte
Fonte: PDTT (2018)

Nota-se que o perfil de viagens no DF é marcado pelo modo de transporte motorizado individual. Nesse sentido, observa-se ao longo da última década um aumento no número de veículos (automóveis e motocicletas) registrados na cidade. Na Figura 4.9, ilustra-se a evolução dos indicadores de frota, população e taxa de motorização de Brasília, que em 2019 apresentou 50,1 veículos a cada 100 habitantes.

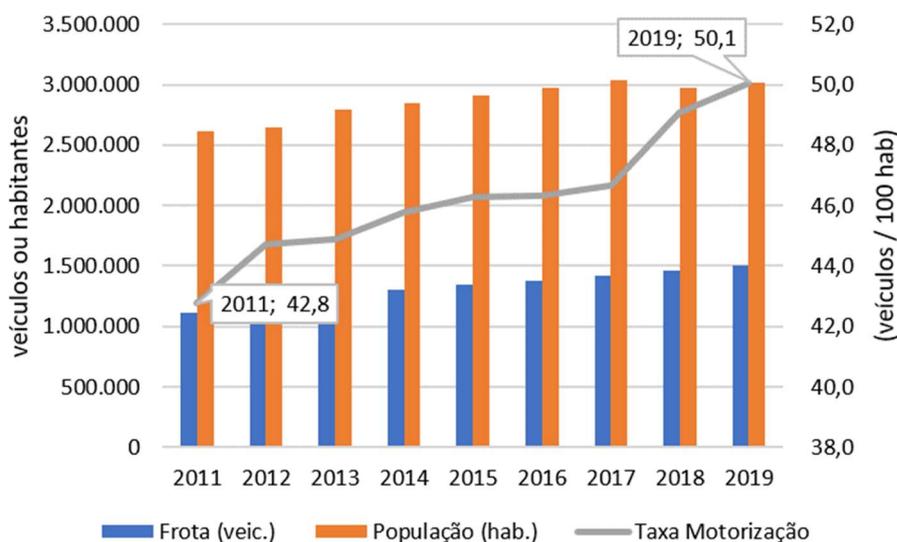


Figura 4.9: Evolução da população, frota e taxa de motorização no DF, 2011 a 2019
Fonte: Elaboração própria com dados do IBGE (2019) e Detran-DF (2020).

Elevadas taxas de motorização e deslocamento por transporte individual motorizado tendem a saturar o sistema viário e ocasionar impactos como congestionamento, aumento de acidentes e poluição atmosférica e sonora. No âmbito do congestionamento, segundo diagnóstico do PDTU (2016), o elevado número de veículos em circulação ocasiona congestionamento nas principais

vias do DF, em especial nos corredores de ligação das Regiões Administrativas com o Plano Piloto.

Segundo dados da empresa TomTom de desenvolvimento de sistemas de navegação para automóveis, em 2019, Brasília apresentou uma taxa de congestionamento média de 21% para todos os dias e horários da semana e de 57% para o período de quinta-feira entre 18h e 19h (TOMTOM, 2020). A taxa de congestionamento indica o acréscimo de tempo no deslocamento em viagens de 30 minutos quando comparadas com a situação de fluxo livre, nesse sentido, Brasília apresentou uma média de 17,1 minutos de tempo extra nas viagens de 30 minutos no pico da tarde às quintas-feiras. Na Figura 4.10, são apresentadas as taxas de congestionamento médias por dia e horário no ano de 2019 em Brasília.

	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat
12:00 AM	5%	2%	3%	2%	3%	3%	5%
	3%	1%	2%	1%	2%	2%	3%
02:00 AM	3%	2%	3%	2%	2%	2%	3%
	3%	1%	2%	3%	1%	2%	2%
04:00 AM	2%	0%	0%	0%	0%	0%	1%
	2%	0%	1%	0%	0%	0%	0%
06:00 AM	0%	18%	19%	18%	18%	19%	1%
	1%	34%	37%	36%	35%	34%	5%
08:00 AM	2%	28%	33%	33%	31%	29%	7%
	4%	19%	24%	25%	24%	22%	9%
10:00 AM	5%	13%	15%	16%	16%	15%	12%
	6%	11%	13%	13%	14%	14%	15%
12:00 PM	7%	15%	17%	17%	17%	21%	17%
	6%	17%	19%	19%	19%	21%	13%
02:00 PM	4%	17%	18%	19%	18%	20%	10%
	4%	16%	17%	17%	17%	19%	10%
04:00 PM	6%	18%	18%	20%	19%	26%	10%
	7%	32%	34%	36%	36%	40%	11%
06:00 PM	11%	49%	53%	55%	57%	55%	16%
	11%	35%	39%	43%	44%	42%	15%
08:00 PM	9%	19%	20%	24%	25%	25%	12%
	7%	11%	11%	13%	14%	16%	10%
10:00 PM	6%	7%	8%	9%	9%	11%	9%
	4%	5%	6%	6%	6%	8%	7%

Figura 4.10: Taxa de congestionamento por hora e dia da semana em 2019 em Brasília-DF
Fonte: TOMTOM (2020)

No âmbito legal, ressalta-se que Brasília dispõe de importantes instrumentos que objetivam orientar o planejamento e desenvolvimento dos sistemas de transporte urbanos na região, como o Plano Diretor de Transporte Urbano e Mobilidade do Distrito Federal de 2011 (PDTU) instituído pela Lei Distrital n. 4.566, de 4 de maio de 2011, e o Plano de Desenvolvimento do Transporte Público sobre Trilhos do Distrito Federal (PDPTT/DF), finalizado em 2018.

4.2 PREPARAÇÃO E MONTAGEM DO SISTEMA DE USO DO SOLO (SUS)

Na segunda etapa do estudo de caso, conforme o método ADEM, prosseguiu-se com a preparação e montagem do Sistema de Uso do Solo (SUS) com o objetivo de gerar as Zonas de Análise (ZA). Desse modo, os procedimentos adotados são apresentados e ilustrados nos itens a seguir. Ressalta-se que, como ferramenta, foi utilizado o *software* ArcMap versão 10.3.

4.2.1 Criação da malha regular de áreas urbanizadas

Para a criação da malha regular de polígonos foram utilizados os seguintes dados georreferenciados:

- limite político do Distrito Federal disponível na base de dados GeoPortal ²;
- polígonos de edificações disponíveis na base de dados do GeoPortal.

O primeiro passo correspondeu à importação dos elementos georreferenciados para a área de trabalho do ArcMap. A partir de então, gerou-se uma grade de hexágonos regulares de 400 metros de diâmetro sobre os limites do DF, a qual foi sobreposta à camada de “Edificações”. Por meio de uma ferramenta de seleção por localização, foram selecionadas apenas as células que estavam sobrepostas às áreas edificadas. As células hexagonais finais resultaram na malha de polígonos regulares de áreas urbanizadas (Figura 4.11).

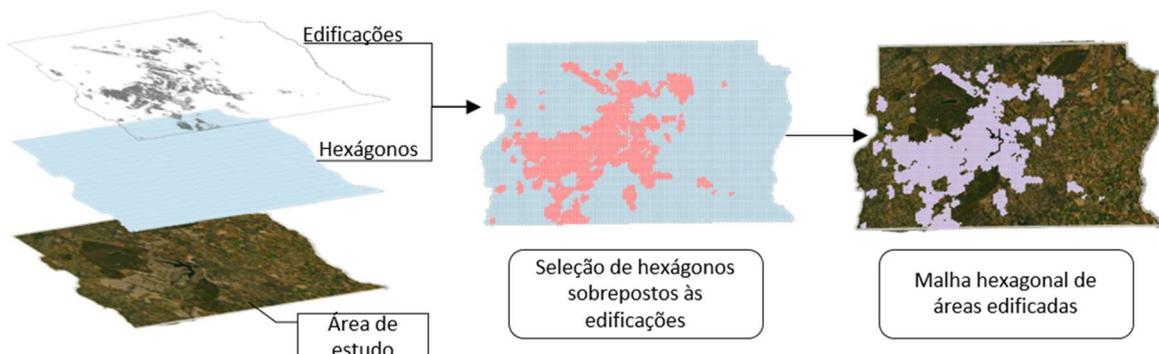


Figura 4.11: Processos de criação da malha hexagonal de áreas edificadas

Fonte: Elaborado pelo autor.

² GeoPortal é uma plataforma virtual de acesso público da Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação (Seduh) do Governo do Distrito Federal (GDF), a qual oportuniza a consulta e extração de dados georreferenciados de Brasília. A ferramenta está disponível em: <<https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/mapa/>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

Para criar a grade de polígonos foi utilizado o pacote “*Create Hexagon Tessellation*” desenvolvido por Tim Whiteaker da Universidade do Texas, em Austin, e disponibilizado gratuitamente para *download*³. A ferramenta gera uma camada com grade de hexágonos segundo diâmetro pré-estabelecido sobreposta a uma camada de polígonos de entrada.

Foi considerada a dimensão de 400 metros de diâmetro para as células hexagonais, uma vez que essa medida corresponde à distância de caminhada considerada para o atendimento dos pontos de transporte público do método ADEM. Dessa forma, a distância entre o centroide de uma célula a outra estaria a uma distância de caminhada equivalente à área de atendimento do transporte público.

4.2.2 Dados espaciais de população e oportunidades

Foram utilizados os seguintes dados disponíveis publicamente:

- limites e estatísticas dos setores censitários do DF, disponível na base Geoportal;
- dados da Pesquisa de Mobilidade Urbana (PMU/DF) de 2016, disponíveis no *site* do Metrô-DF⁴:
 - zoneamento da PMU em formato *shapefile*;
 - dados de viagem da pesquisa domiciliar de origem-destino (2016).

A população dos setores censitários foi considerada aquela apontada pelo Censo Demográfico realizado em 2010 pelo IBGE, a qual é apresentada como atributo da camada de área. Por sua vez, os dados relacionados a oportunidades foram obtidos com base na Pesquisa de Mobilidade Urbana realizada em 2016 no DF.

No presente estudo de caso, as oportunidades correspondem às viagens motivadas por estudo e/ou trabalho que foram atraídas para determinada zona conforme o fator de expansão da viagem calculada pelo PMU/DF 2016. Como os dados da Pesquisa Origem-Destino estão

³ O *download* da ferramenta está disponível em: <<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=03388990d3274160afe240ac54763e57>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

⁴ Dados e relatórios da Pesquisa de Mobilidade Urbana (PMU/DF 2016) e do Plano de Desenvolvimento do Transporte Público sobre Trilhos do DF (PDTT/DF 2018) estão disponíveis publicamente em: <http://www.metro.df.gov.br/?page_id=40044>. Acesso em: 28 nov. 2020.

apresentados em formato de diário de viagem, de modo a não superestimar o número de oportunidades de trabalho foram filtradas ainda as viagens que coincidem o morador, a zona de origem, o destino e o motivo, eliminando assim as viagens do pico-almoço do tipo “trabalho-casa-trabalho”. Ainda, excluiu-se da análise as viagens com zona de destino para fora do DF. O número de viagens a trabalho e/ou estudo atraídas por cada uma das zonas foi atribuído às feições de polígono do zoneamento da pesquisa PMU.

4.2.3 Atribuição das propriedades espaciais às células

O último processo para a montagem do SUS corresponde à atribuição das variáveis *população* e *oportunidades* às *células hexagonais de áreas edificadas*.

Para tanto, inicialmente foi realizada uma sobreposição e recorte da cobertura total de áreas hexagonais edificadas de modo a reconfigurar os elementos das áreas de setores censitários e zonas PMU que não estavam em sua totalidade pertencentes à cobertura de áreas edificadas, conforme é ilustrado na Figura 4.12.

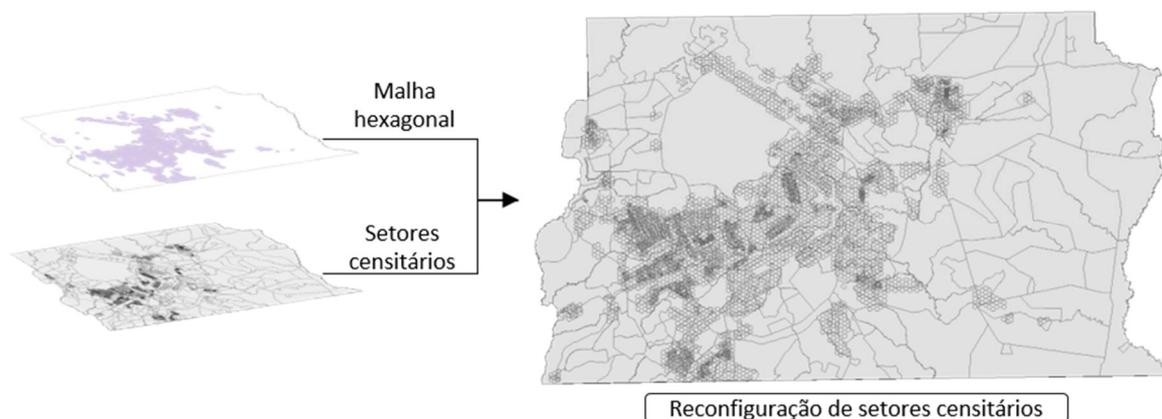


Figura 4.12: Reconfiguração dos setores censitários

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por meio da desagregação das variáveis nos setores censitários e zonas PMU reconfiguradas, foi atribuída a cada um dos novos polígonos uma referência de sua zona de origem, de modo que fosse identificada a área edificada (por meio das Zonas de Análise selecionadas) de cada uma das variáveis. Assim, a população ou as oportunidades que estavam distribuídas em zonas maiores seriam compactadas não sob todo o território, mas apenas nas áreas edificadas.

Com a reconfiguração do zoneamento das variáveis em áreas edificadas, foi então realizado um cálculo de densidade da variável (população ou oportunidade) por quilômetro quadrado concentrado nas áreas edificadas. Assim, por procedimento de cálculo inverso foi possível estimar a população residente e as oportunidades em cada um dos polígonos reconfigurados de áreas edificadas.

Para a determinação da quantidade de população e oportunidades que cada Zona de Análise de Acessibilidade (ZAA) apresenta, foi realizado um procedimento de reagrupamento de dados. Para tanto, cada um dos polígonos de zonas reconfiguradas foi convertido em uma feição de ponto, o centroide da área. Os centroides foram então ligados à malha hexagonal das ZAA por sua localização. Os atributos de população e oportunidades de cada um dos centroides contidos nos hexágonos foram somados, conforme é mostrado na Figura 4.13. Assim, foram geradas as ZAA de áreas edificadas com as variáveis *população* e *oportunidades* como atributos.

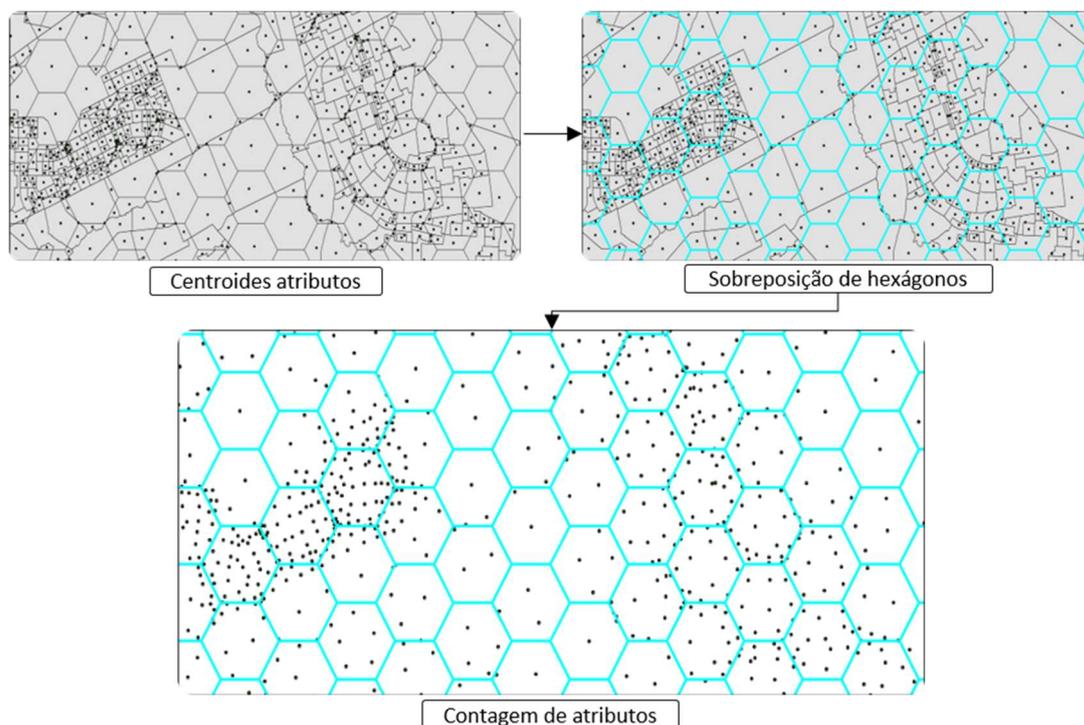


Figura 4.13: Atribuição de propriedades espaciais às células hexagonais
Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao final do procedimento, foram determinadas 2.756 ZAA para representar o sistema de uso do solo.

4.3 PREPARAÇÃO E MONTAGEM DOS SISTEMAS DE TRANSPORTE (ST)

Os sistemas de transporte correspondem à preparação da rede viária e de transporte público, a qual será utilizada para estimar o custo de viagem entre cada uma das zonas de análise. Nesse sentido, serão apresentados na sequência a preparação da rede viária e do sistema de transporte público por ônibus em Brasília.

4.3.1 Rede de vias

A rede de vias do DF foi obtida com base nos dados da plataforma OpenStreetMap (OSM), da qual foi extraído o conjunto de dados da camada *Roads*. O arquivo de malha viária contém, além de códigos, identificadores, entre outros elementos, os seguintes atributos para cada uma das feições desenhadas:

- *fclass*: apresenta o nome da classe da feição;
- *name*: nome da feição – por exemplo, “nome da via”;
- *oneway*: indica se pela feição pode-se viajar apenas em sentido único ou em ambos os sentidos;
- *maxspeed*: indica a velocidade máxima permitida na via em km/h.

O atributo *fclass* apresenta uma divisão de 27 classes. No entanto, para o presente estudo foram consideradas 10 classes de vias, as quais correspondem às vias principais e a locais de fluxo de veículos conforme seguinte classificação apresentada no Quadro 4.1.

Quadro 4.1: Estrutura das classes de feições (OSM)

Código	Fclass	Descrição
5111	<i>motorway</i>	Rodovias
5112	<i>trunk</i>	Vias importantes, tipicamente divididas.
5113	<i>primary</i>	Vias primárias, tipicamente nacional.
5114	<i>secondary</i>	Vias secundárias, tipicamente regional.
5115	<i>tertiary</i>	Vias terciárias, tipicamente local.
5122	<i>residential</i>	Vias em áreas residenciais.
5131	<i>motorway link</i>	Vias que conectam uma via a outra de igual ou menor categoria.
5132	<i>trunk link</i>	
5133	<i>primary link</i>	
5134	<i>secondary link</i>	

Fonte: Adaptado de Ramm (2020). Tradução nossa.

Por meio da seleção de feições segundo o atributo *fclass* no DF, foi realizado um procedimento de segmentação das feições nos vértices de modo a converter alguns elementos, como rotatórias, em arcos únicos, o que possibilita que seja estabelecido para cada desenho de poli linha um ponto inicial e final, conforme ilustrado na Figura 4.14. Para tanto, foi utilizada a ferramenta de feição “Quebrar Linha nos Vértices”, disponível no ArcGIS.

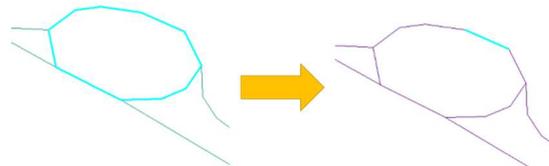


Figura 4.14: Segmentação de arcos da base de vias
Fonte: Elaborado pelo autor.

Como resultado, a malha viária considerada para análise foi composta por 262.494 elementos de linha e está representada na Figura 4.15.

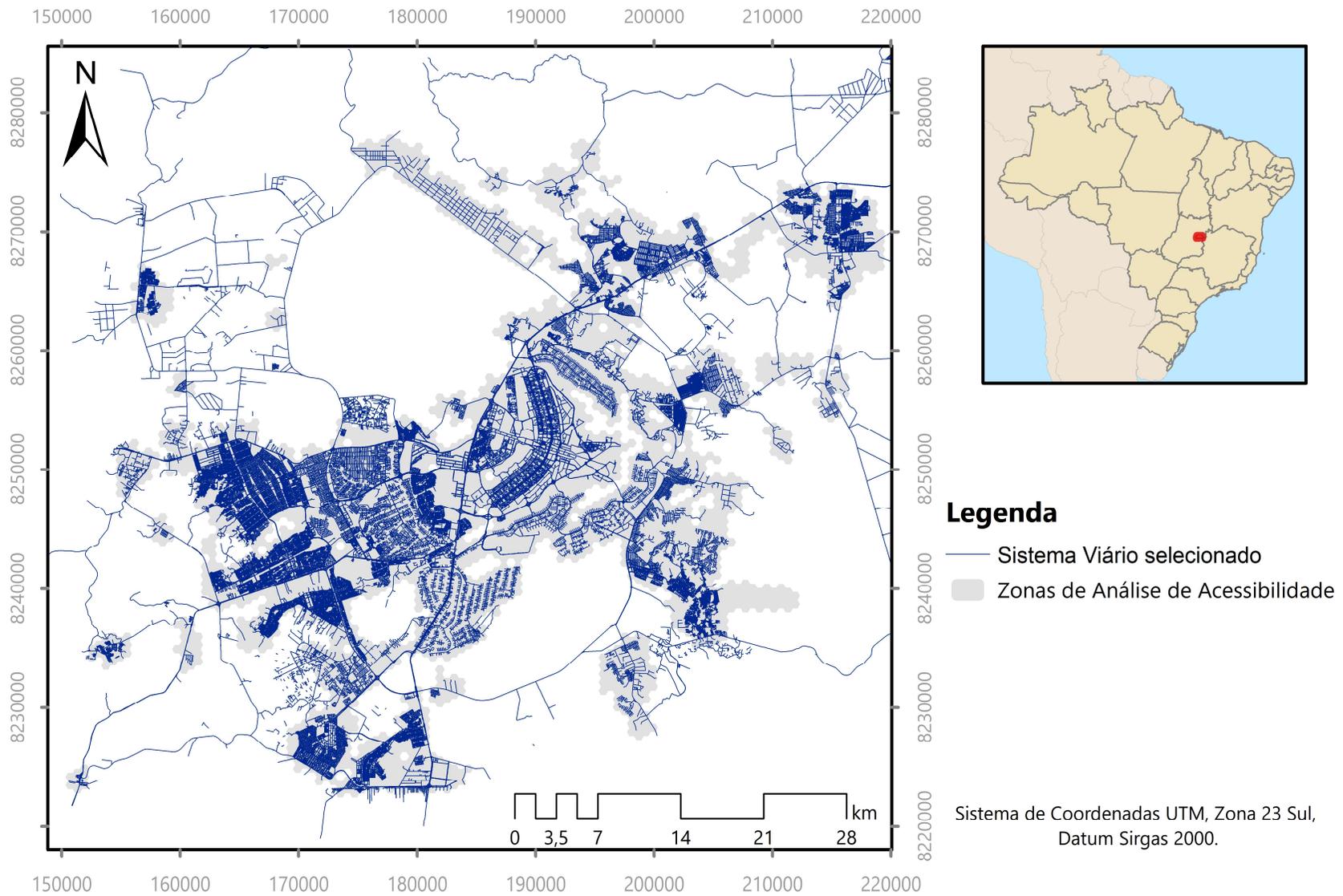


Figura 4.15: Malha viária selecionada
 Fonte: Elaborado pelo autor com dados do OSM (2020).

Após a criação de novos elementos de linha na base de vias resultantes do procedimento anterior, foi atribuído um novo campo de atributo referente à extensão de cada um dos elementos em quilômetros (km).

Ainda, por meio de análise preliminar da base de dados das vias, foi observado que algumas feições tinham atributos de velocidade máxima como nulo. Assim, foi atribuído um valor de velocidade máxima de 40 km/h para as feições que não apresentavam esse atributo incorporado.

Por fim, foram inseridos quatro novos atributos à base de vias correspondente ao tempo de viagem em minutos necessário para percorrer cada elemento da base, sendo estes o tempo de viagem em fluxo livre considerando congestionamento médio, taxa crítica de congestionamento e tempo de caminhada, conforme descrito nos itens a seguir.

4.3.1.1 Tempo de fluxo livre

O tempo de fluxo livre para percorrer os elementos de vias da base OSM (2020) foi identificado com base na equação (3.1) anteriormente apresentada. Foram considerados como dados de entrada o atributo de velocidade máxima da via e a extensão em quilômetros.

4.3.1.2 Tempo em congestionamento médio

Foi adotada uma taxa de congestionamento médio de 21% em todos os segmentos de vias, que corresponde à taxa de congestionamento identificada pela empresa TomTom, em Brasília, no ano de 2019, conforme apresentado no item “4.1.3. Características da Mobilidade Urbana”.

Para o cálculo do atributo foi considerada a equação (3.2), sendo $\alpha_c = 1,21$.

4.3.1.3 Tempo em congestionamento crítico

Para o congestionamento crítico, foi considerado o maior valor de congestionamento, de 57%, correspondente ao pico tarde das quintas-feiras nas vias do DF, conforme apresentado no item “4.1.3. Características da Mobilidade Urbana”.

Para o cálculo do atributo foi considerada a equação (3.2), sendo $\alpha_c = 1,57$.

4.3.1.4 Tempo de caminhada

O tempo de caminhada também foi atribuído a todos os elementos da rede de vias com base na equação (3.3), a qual considera uma velocidade média de 4 km/h.

4.3.2 Sistema de Transporte Público

A rede de transporte público por ônibus de Brasília foi obtida da ferramenta GeoPortal, com dados georreferenciados da Secretaria de Transporte e Mobilidade (SEMOB) do Distrito Federal. Para tanto, foram utilizados na preparação do sistema de transporte público por ônibus os seguintes dados:

- georreferenciamento do itinerário das linhas de transporte público em formato *shapefile*, disponível no GeoPortal;
- atributo de tabela horária em dias úteis para cada uma das linhas, disponíveis no GeoPortal;
- tempo de volta e extensão das linhas selecionadas, disponíveis no portal DFnoPonto⁵.

A preparação da rede foi realizada por meio de três procedimentos: seleção das linhas que atendem ao critério mínimo de operação; análise da velocidade média de operação das linhas selecionadas; e preparação da rede em SIG. Na sequência, será detalhado cada um dos procedimentos realizados.

4.3.2.1 Seleção das linhas de transporte público

A seleção das linhas de transporte público foi realizada segundo os critérios apontados no item “3.2.3.2. Rede de Transporte Público” do método ADEM, sendo eles:

- pico horário com frequência mínima de 20 minutos (3 ou mais partidas);
- entropico com frequência mínima de 30 minutos (2 ou mais partidas).

⁵ DFnoPonto é um portal da Secretaria de Transporte e Mobilidade do DF (SEMOB) o qual apresenta informações operacionais do sistema de transporte público de Brasília, disponível em: <<https://dfnoponto.semob.df.gov.br/>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

Para tanto, foi utilizada a tabela do dia típico de quinta-feira, sendo considerado como hora pico o intervalo entre 7:15 e 8:15 da manhã (METRÔ-DF, 2017), enquanto como entrepico o intervalo entre 9:30 e 10:30 da manhã. Assim, de um total de 734 linhas disponibilizadas na base de dados da SEMOB no GeoPortal, foram selecionadas 105 linhas (14,31%) (ver APÊNDICE 1).

4.3.2.2 *Análise da velocidade média das linhas de transporte público*

Com base na seleção das linhas, foram levantadas no portal DFnoPonto seus tempos de ciclo, assim como suas extensões em quilômetros. Com essas informações foi possível calcular a velocidade média de operação de cada uma das linhas e do sistema segundo as linhas selecionadas. A velocidade média global da rede de linhas selecionadas foi de 24,54 km/h (ver APÊNDICE 1).

4.3.2.3 *Preparação da rede em SIG*

As linhas desenhadas em formato *shapefile*, obtidas no GeoPortal, não contemplavam o atributo relacionado ao sentido de vias, tampouco estavam segregadas conforme pontos de parada. Logo, esses fatos não possibilitaram que a rede fosse tratada de forma isolada e os deslocamentos entre Zonas de Análise pudessem ser analisados de modo satisfatório. De modo a contornar esse empecilho, foi realizada uma adaptação em relação ao método ADEM proposto, em que foram consideradas as vias da base viária que apresentam atendimento de linhas de transporte público e a elas foi atribuída a velocidade média de 24,54 km/h da rede de transporte público, conforme apontado no APÊNDICE 1, enquanto para as demais vias foi atribuída a velocidade de caminhada de 4 km/h.

Para a seleção das vias do sistema viário que são atendidas por transporte público, foi realizado um *buffer* de 30 metros a contar das linhas de transporte público selecionadas, e então atribuídas às vias um atributo de identificação de atendimento da rede. Na Figura 4.16, ilustra-se a comparação entre o desenho de linhas e a seleção de vias do sistema viário.

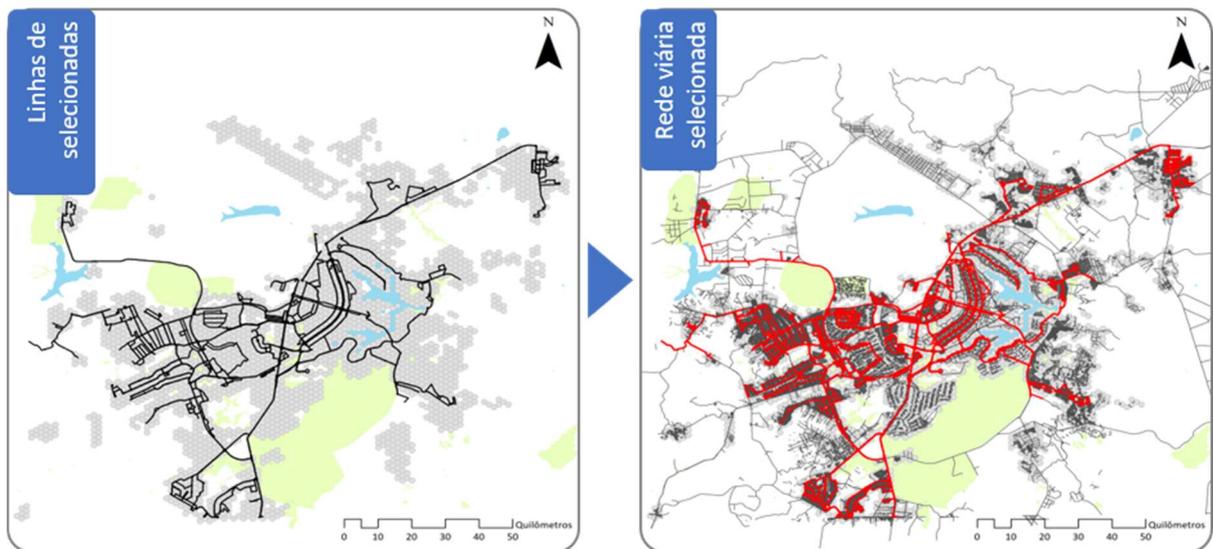


Figura 4.16: Rede de Transporte Público

Fonte: Elaborado pelo autor.

De modo a avaliar o ajuste da rede de vias com atributos do sistema de transporte público, foram realizadas verificações de tempo de viagem entre pontos aleatórios da rede modelada e comparada ao menor tempo de viagem indicada pela plataforma Moovit, conforme é apresentado na Tabela 4.1. Ressalta-se que na plataforma Moovit foi simulada uma viagem em uma quinta-feira com saída às 7:30 da manhã.

Tabela 4.1: Verificação de tempo de viagem modelado

Coordenada Origem	Coordenada Destino	RA Origem	RA Destino	Tempo Modelo (min)	Tempo Moovit (min)	Desvio Padrão
15°49'24.88"S 47°55'1.36"O	15°45'50.94"S 47°52'45.98"O	Asa Sul	Asa Norte	34	39	3,62
15°49'24.88"S 47°55'1.36"O	15°49'7.94"S 48° 6'16.48"O	Asa Sul	Ceilândia	65	58	5,08
15°49'24.88"S 47°55'1.36"O	15°37'17.63"S 47°39'8.21"O	Asa Sul	Planaltina	123	106	11,92
15°45'50.94"S 47°52'45.98"O	15°49'24.88"S 47°55'1.36"O	Asa Norte	Asa Sul	36	39	1,96
15°45'50.94"S 47°52'45.98"O	15°49'7.94"S 48° 6'16.48"O	Asa Norte	Ceilândia	85	80	3,28
15°45'50.94"S 47°52'45.98"O	15°37'17.63"S 47°39'8.21"O	Asa Norte	Planaltina	106	101	3,20
15°49'7.94"S 48° 6'16.48"O	15°49'24.88"S 47°55'1.36"O	Ceilândia	Asa Sul	66	65	0,64
15°49'7.94"S 48° 6'16.48"O	15°45'50.94"S 47°52'45.98"O	Ceilândia	Asa Norte	82	76	4,18
15°49'7.94"S 48° 6'16.48"O	15°37'17.63"S 47°39'8.21"O	Ceilândia	Planaltina	158	153	3,65
15°37'17.63"S 47°39'8.21"O	15°45'50.94"S 47°52'45.98"O	Planaltina	Asa Norte	105	103	1,69
15°37'17.63"S 47°39'8.21"O	15°49'24.88"S 47°55'1.36"O	Planaltina	Asa Sul	122	120	1,30
15°37'17.63"S 47°39'8.21"O	15°49'7.94"S 48° 6'16.48"O	Planaltina	Ceilândia	158	141	12,34

Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico apresentado na Figura 4.17 ilustra o ajuste linear da verificação dos tempos da rede de transporte público.

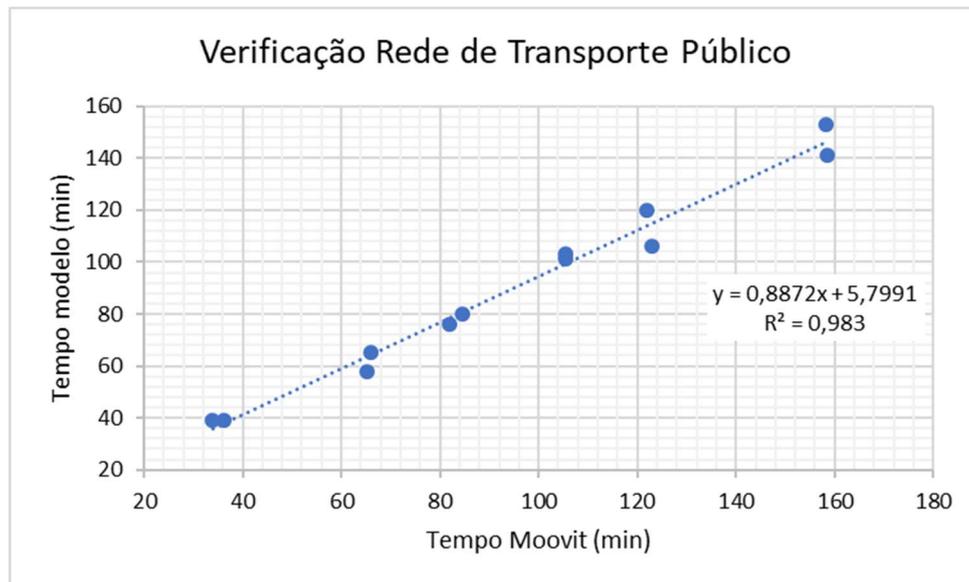


Figura 4.17: Verificação linear do tempo modelado e observado da rede de transporte público
Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que os dados de tempo modelado em SIG e o tempo observado na plataforma Moovit apresentaram uma alta correlação linear ($R^2 = 0,983$). Assim, considerou-se que a solução dada ao ajuste da base de rede de transporte público está consistente e atende o estudo de caso.

4.3.3 Preparação do conjunto de dados de rede

Ao final dos ajustes, obteve-se uma rede de vias única, denominado Sistema Viário Único (SVU). Com base no SVU, foi gerado um conjunto de rede em que foram inseridos como custo de viagem os seguintes atributos em minutos:

- tempo de viagem em fluxo livre;
- tempo em congestionamento médio (21%);
- tempo em congestionamento crítico (57%);
- tempo de caminhada;
- tempo de viagem em transporte público.

4.4 INTEGRAÇÃO DOS SISTEMAS SUS E ST

A integração dos sistemas SUS e ST se dá pela extração das matrizes origem-destino de custo de viagem entre as Zonas de Análise por intermédio do Sistema Viário Único.

Nesse sentido, por meio do conjunto de dados da rede cujos custos de viagem já estavam identificados em seus atributos, foram realizadas as alocações de cada uma das Zonas de Análise de Acessibilidade (ZAA) tanto como origem quanto como destino a serem alcançadas na análise de rede. Por meio da ferramenta *Network Analyst* do ArcMap, foram então extraídas as matrizes origem-destino de custo de viagem limitado ao percurso de 30 minutos para os cenários de: i) fluxo livre, ii) congestionamento médio de 21%, iii) congestionamento crítico de 57% e iv) viagem em transporte público.

Ainda, nessa etapa foram também identificadas as Zonas de Análise que são atendidas pelo sistema de transporte público por ônibus. Para tanto, foi utilizado o seguinte dado:

- Pontos de parada do sistema de transporte público por ônibus em formato *shapefile*, disponível no GeoPortal.

Foram então realizados dois procedimentos: a identificação dos pontos que atendem às linhas de ônibus selecionadas e; a identificação das Zonas de Análise que apresentam centroides localizados em um raio de 400 metros de cobertura dos pontos de parada. Para o primeiro procedimento, foi realizado um *buffer* de 20 metros a contar das linhas de ônibus e selecionados os pontos de parada dentro dessa cobertura, conforme ilustrado na Figura 4.18.



Figura 4.18: Seleção de pontos de parada das linhas selecionadas
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Por sua vez, o segundo procedimento foi realizado de forma similar ao primeiro, entretanto, foram selecionadas as ZAA cujos centroides estivessem em um *buffer* de 400 metros de cobertura a contar dos pontos de parada selecionada, conforme ilustrado na Figura 4.19.

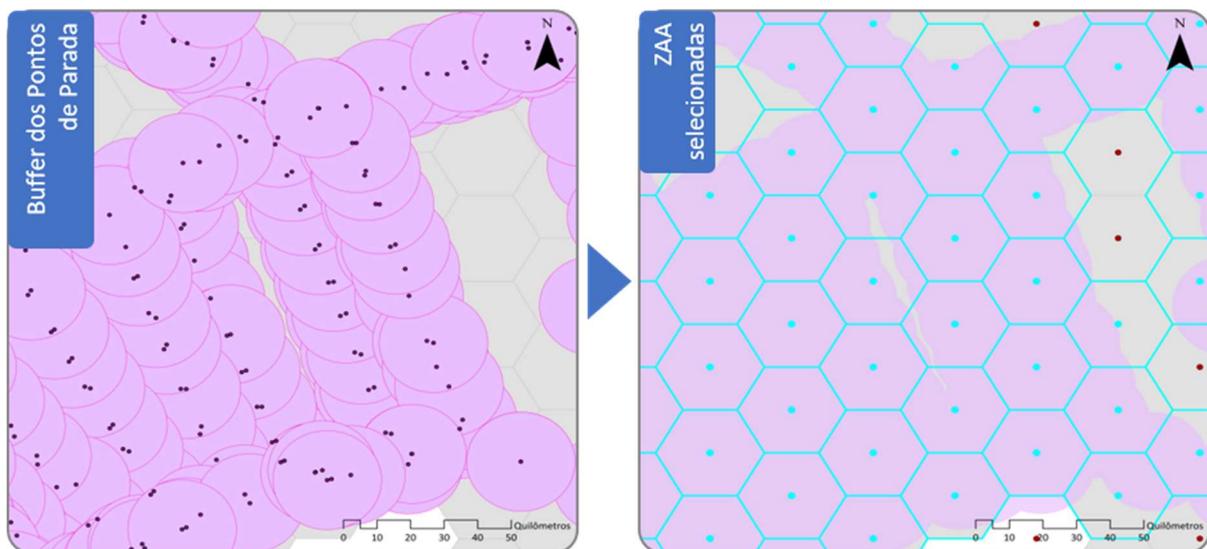


Figura 4.19: Seleção de ZAA atendidas por transporte público
 Fonte: Elaborado pelo autor.

As ZAA dentro dessa seleção final estão identificadas na Figura 4.20.

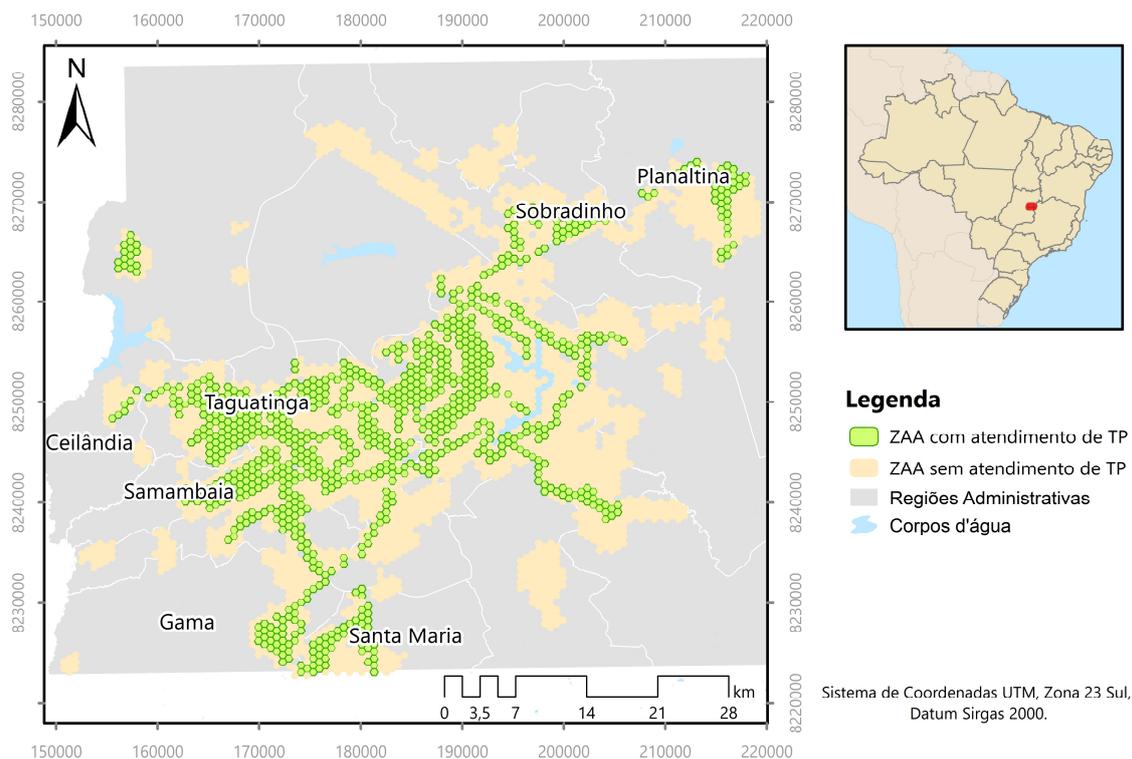


Figura 4.20: ZAA com atendimento de transporte público

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5 DETERMINAÇÃO DAS MEDIDAS DE ACESSIBILIDADE PARA CADA ZAA

Com base na determinação das matrizes origem-destino de custo de viagem, foram então calculadas as medidas de acessibilidade para cada uma das Zonas de Análise de Acessibilidade (ZAA) em cada um dos quatro cenários avaliados.

Para o cálculo da medida de acessibilidade, foi adotada a equação (3.5), sendo $\beta = 0,1$. A medida de acessibilidade resultante das viagens por transporte público foi identificada como *acessibilidade por ônibus da ZAA i* ($A_{oni,i}$), sendo as medidas obtidas pelo custo de viagem em fluxo livre, congestionamento médio de 21% e congestionamento crítico de 57% identificadas como *acessibilidades por automóvel da ZAA i* ($A_{aut,i}$).

Destaca-se que, nesse processo, as ZAA que não tem atendimento por ponto de parada de transporte público, conforme identificado na etapa anterior, tiveram atribuído o valor zero de acessibilidade por viagem de transporte público.

Na Figura 4.21, são ilustrados os resultados de acessibilidade gravitacional obtidos para cada uma das zonas e para cada uma das medidas de acessibilidade calculadas.

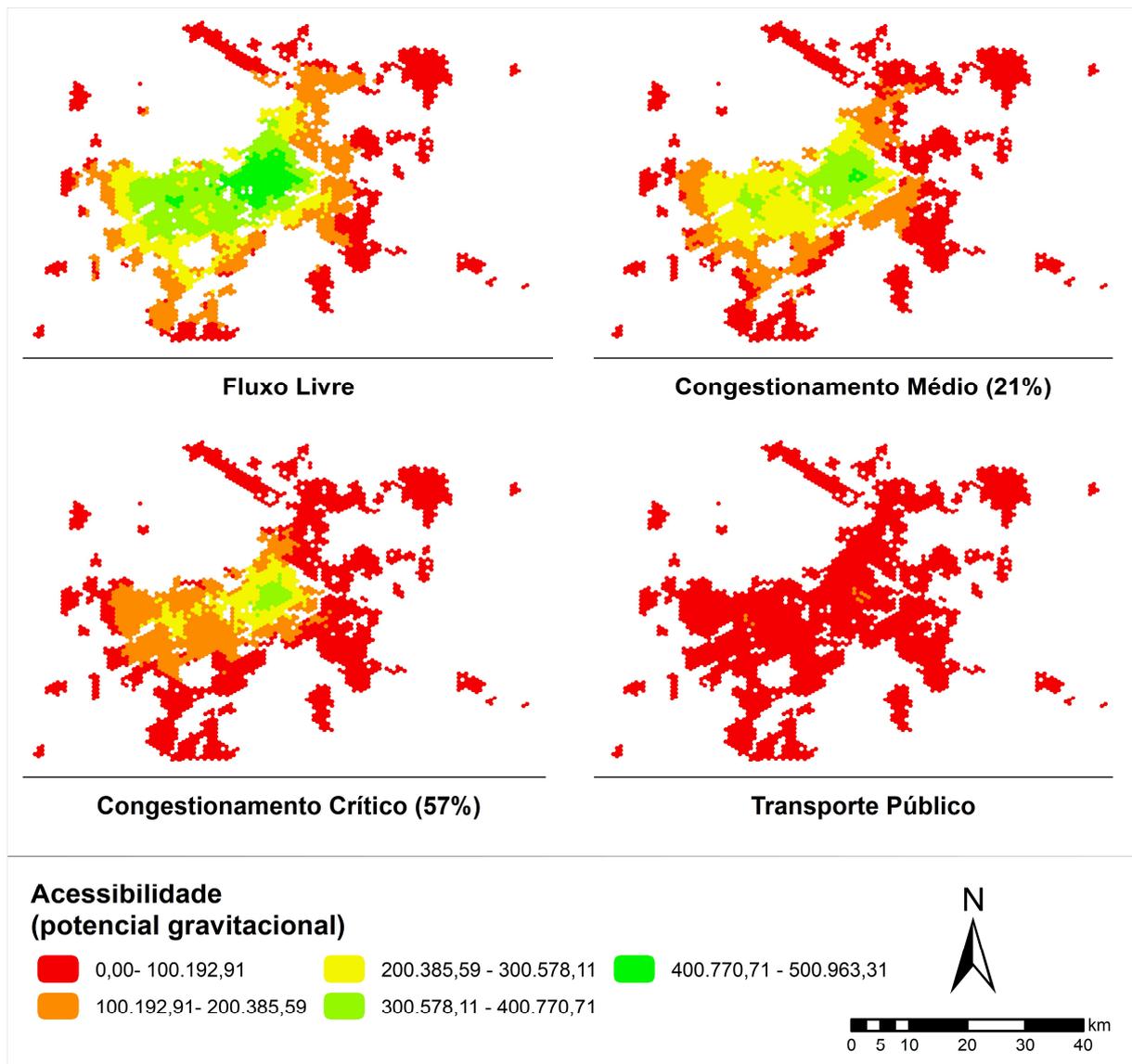


Figura 4.21: Resultado das medidas de acessibilidade por cenário avaliado
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme observado na Figura 4.21, observa-se que a acessibilidade por automóvel no DF apresenta uma configuração radial, destacando-se a região central de Brasília como a de maior acessibilidade para esse meio de transporte. Por sua vez, nota-se que, em relação ao transporte público por ônibus, todo o DF apresenta um baixo acesso a oportunidades, mesmo na região central, na qual estão concentradas as oportunidades na área de estudo.

4.6 DETERMINAÇÃO DO ‘ACCESSIBILITY DISPARITY INDEX’ DO DISTRITO FEDERAL

Tendo os valores de acessibilidade por transporte público ($A_{oni,i}$) e demais cenários ($A_{aut,i}$) calculados para cada uma das zonas, foi possível então ser determinado o *Accessibility Disparity Index* (ADI) para cada uma das ZAA por meio da equação (3.7).

De acordo com os cenários de congestionamento avaliados como acessibilidades potenciais, foram obtidos três valores ADI normalizados segundo sua comparação com o custo de viagem em fluxo livre, com taxa de congestionamento média de 21% e taxa de congestionamento crítica de 57%. Foi ainda avaliada a correlação espacial do indicador ADI por meio do Índice de Moran (I de Moran), sendo os resultados ilustrados na Figura 4.22.

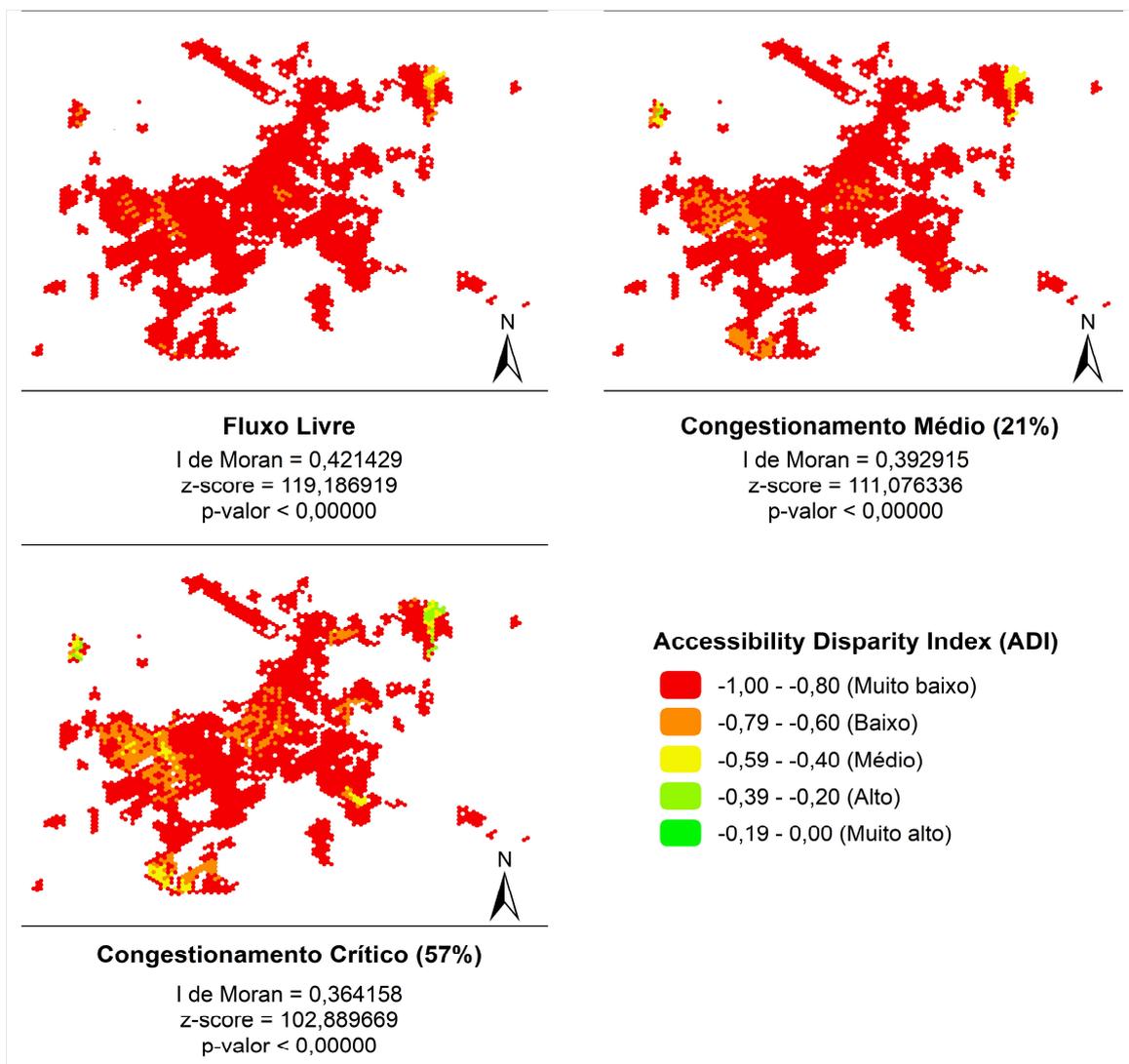


Figura 4.22: Resultado ADI por cenário avaliado
Fonte: Elaborado pelo autor.

Para todos os cenários de congestionamento, com um *p-valor* menor que 0,01%, observa-se que a variável ADI apresentou significativa correlação espacial, sendo expressado o padrão espacial agrupado (I de Moran positivo) para todos os cenários avaliados. Essa análise possibilita interpretar que zonas com baixo valor ADI tendem a impactar zonas vizinhas, o que aumenta o nível de segregação espacial no que tange à desigualdade de acesso a oportunidades entre os modos de transporte automóvel e ônibus. Ressalta-se, ainda, a observação de que a taxa de congestionamento apresenta impacto no nível de segregação, sendo o cenário com fluxo livre (z-score: 119,186919) o de maior segregação quando comparado ao cenário de congestionamento médio (z-score: 111,076336) e ao de congestionamento crítico (z-score: 102,889669), conforme apresentado na Figura 4.22.

4.7 MATRIZ DE DECISÃO

Com base nos resultados ADI e no atributo população por ZAA, cada uma das zonas foi classificada segundo uma das sete áreas de análise presentes na matriz de decisão. Na Tabela 4.2 a seguir, é apresentado o resumo descritivo dos atributos de População e Oportunidades da área de estudo.

Tabela 4.2: Resumo descritivo dos atributos das ZAA

	População	Oportunidades
Média	913,08	571,93
1.º Quartil	33,69	13,97
2.º Quartil	146,17	79,47
3.º Quartil	1.085,43	578,17
Total	2.516.459,36	1.576.231,06

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme pode ser observado na Tabela 4.2, nas ZAA no estudo de caso a população média é de 913,08 habitantes e a média de oportunidades é de 571,93 por ZAA. Observa-se ainda que 50% das zonas apresentam média populacional inferior a 146,17 habitantes e 79,47 oportunidades de emprego e estudo, ao passo que 25% das zonas concentram mais de 1.085,43 habitantes e 578,17 oportunidades ou mais. Isso indica uma característica de adensamento populacional e de oportunidades nas áreas urbanizadas de Brasília.

Em relação à classificação das ZAA nas áreas de análise da matriz de decisão, na Tabela 4.3 é indicado um resumo quantitativo por cenário avaliado, enquanto a distribuição espacial das zonas é apresentada na Figura 4.23 a seguir.

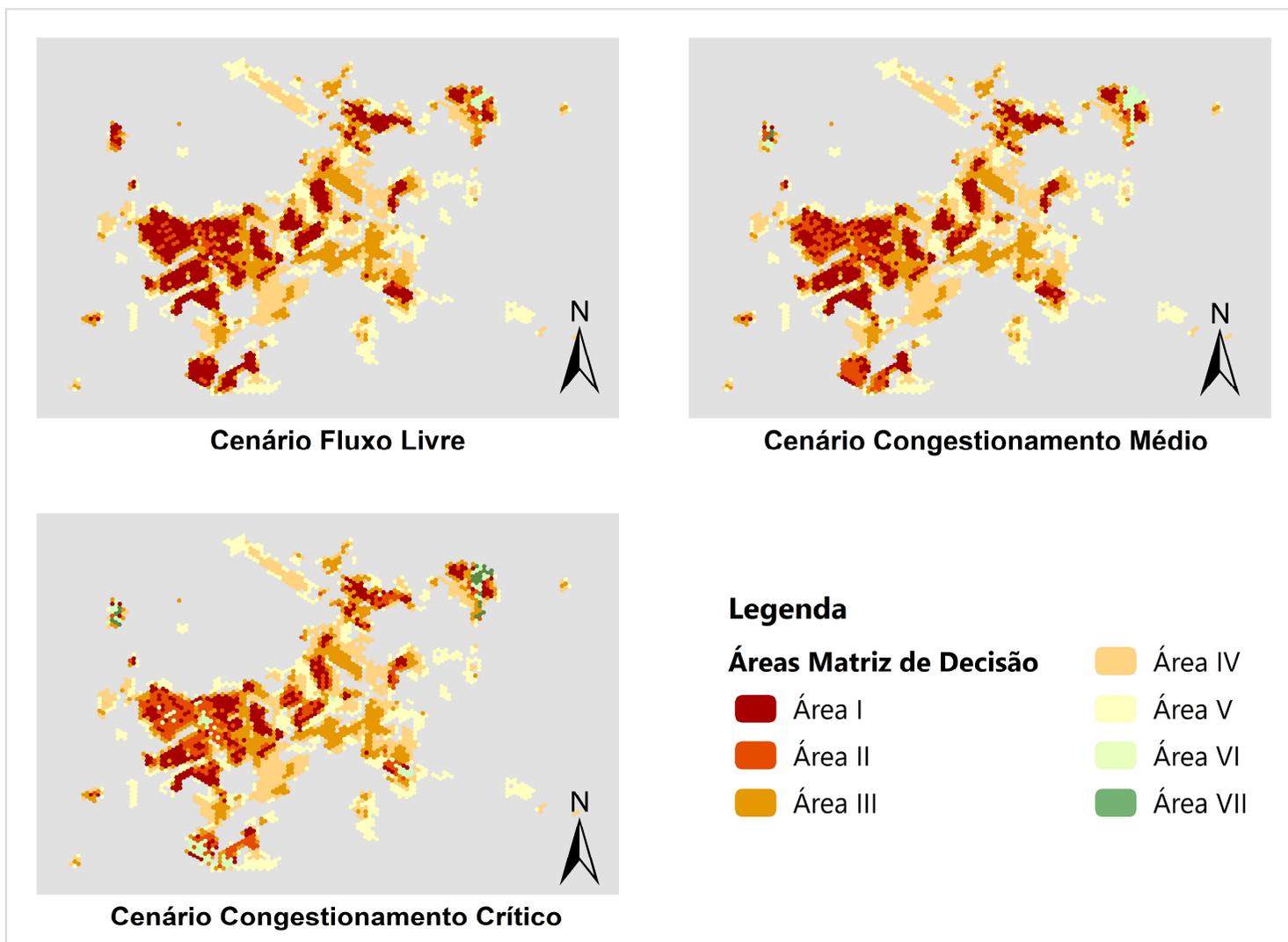


Figura 4.23: Resultados da Matriz de Decisão de Brasília-DF
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4.3: Número de ZAA por área da matriz e cenário de análise

	ADI Fluxo livre	ADI Congestionamento 21%	ADI Congestionamento 57%
Área I	627	519	376
Área II	113	200	284
Área III	622	618	615
Área IV	689	689	687
Área V	689	689	687
Área VI	16	38	81
Área VII	0	3	26
Total	2.756	2.756	2.756

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nos três cenários de congestionamento avaliados, o desempenho da acessibilidade por transporte público se mostrou competitivo apenas em um pequeno número de ZAA (áreas VI e VII), enquanto sua grande maioria (média 689 zonas) está classificada como áreas IV e V. As zonas IV e V se caracterizam por zonas com indicador ADI e população baixo ou muito baixo, sinalizando que há um mau atendimento por transporte público na região. Entretanto, em decorrência da baixa população, serviços alternativos e especiais devem ser considerados. Por sua vez, para os cenários de “Fluxo Livre” e “Congestionamento 21%”, há uma significativa quantidade de zonas na área crítica da matriz de decisão (Área I), a qual indica um potencial de demanda para o transporte público em razão de sua atual baixa competitividade com o transporte individual para o atendimento dos potenciais desejos de viagem da região.

4.8 TÓPICOS CONCLUSIVOS

O objetivo deste capítulo foi apresentar a aplicação do método ADEM em um contexto real, de modo a apontar a facilidade de utilização e os principais produtos que podem ser obtidos para cada uma das etapas de análise proposta.

Observa-se que a preparação das variáveis dos sistemas de uso do solo e de transportes é a etapa que demanda maior atenção no tratamento dos dados. Em especial, destaca-se que a preparação da rede de transporte público demandou um maior grau de simplificação, no entanto, os resultados de tempo de viagem na rede se mostraram próximos aos observados na plataforma Moovit (R-quadrado de 0,983). Para o estudo de caso de Brasília foram utilizados apenas dados públicos no levantamento de informações e no cálculo das medidas de acessibilidade, o que oportuniza o método ser facilmente replicado em outros contextos urbanos.

Foram identificados três resultados diretos da aplicação do método: as medidas de acessibilidade por modo de transporte; o indicador de disparidade de acessibilidade ADI; e a classificação das ZAA em áreas críticas por meio de uma matriz de decisão.

Assim, de posse dos dados obtidos por meio da análise SIG do método ADI, é possível que sejam identificadas as características de cobertura do transporte público, padrões de acessibilidade no uso do solo e a identificação de áreas críticas para uma possível intervenção de melhoria, os quais serão apresentados na sequência.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

De modo a melhor compreender os resultados obtidos pelo método ADEM, na sequência será apresentado o detalhamento dos resultados por cenário de análise e será avaliada uma proposta de intervenção para a melhoria da desigualdade no atendimento de transporte público em Brasília, nas áreas críticas.

5.1 ESTUDO DE CASO DE BRASÍLIA-DF

5.1.1 Diagnóstico da Área de Estudo

A área de estudo abrange uma população residente de aproximadamente 2,5 milhões de habitantes e 1,6 milhões de oportunidades de trabalho e estudo alocadas em 2.756 zonas de análise. Na Figura 5.1, ilustra-se a concentração de população, e, na Figura 5.2, é apresentada a distribuição de oportunidades identificadas na área de estudo.

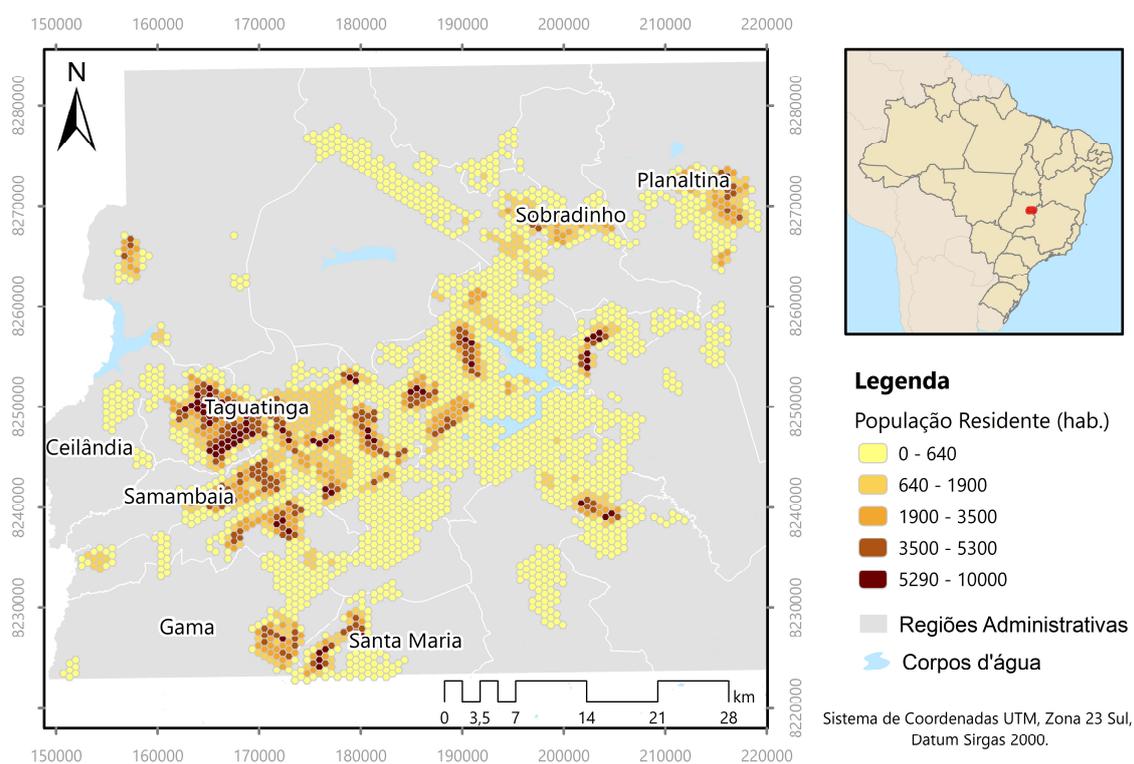


Figura 5.1: Distribuição espacial da variável *população* em Brasília-DF

Fonte: Elaborado pelo autor.

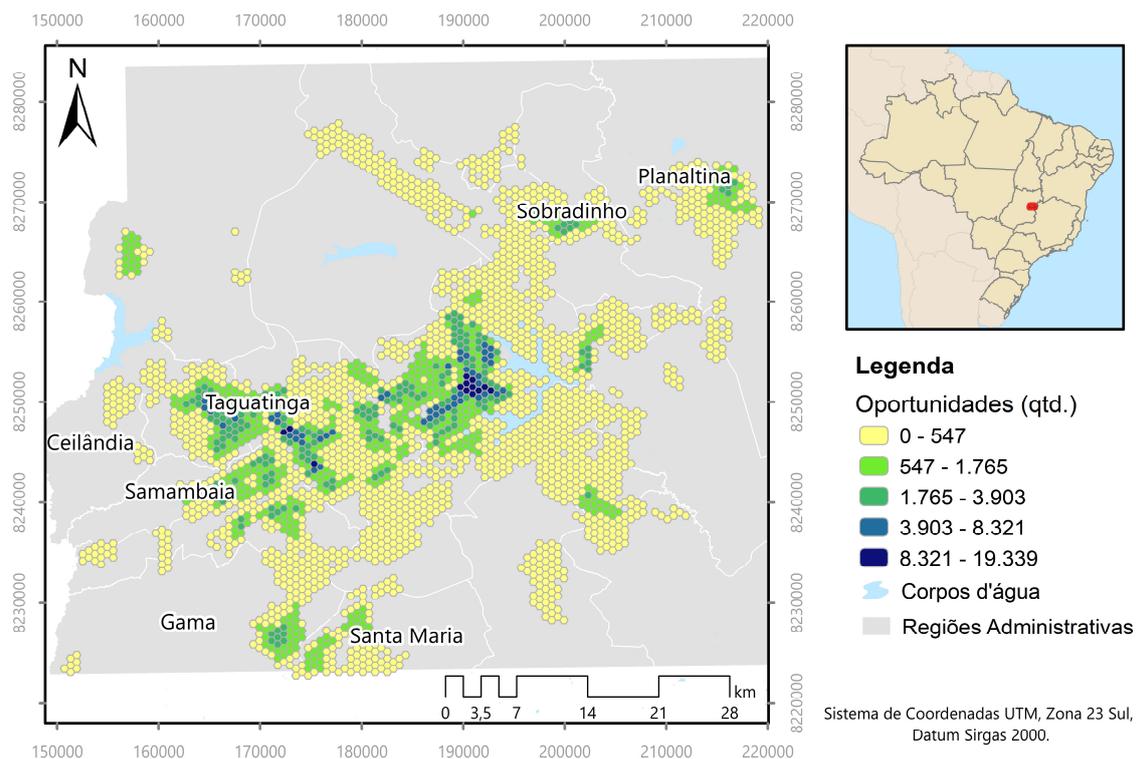


Figura 5.2: Distribuição espacial da variável *oportunidades* em Brasília-DF

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se por meio da espacialização das variáveis *população* e *oportunidades* que, em Brasília-DF, apesar de haver uma maior concentração populacional na região de Taguatinga, Ceilândia e Samambaia (oeste do mapa), as oportunidades tendem a ser mais concentradas na região do Plano Piloto (área central do mapa). No entanto, nota-se uma concentração de oportunidades nessas áreas. Ainda, as regiões Gama, Santa Maria, Sobradinho e Planaltina apresentam uma consolidação de seus núcleos urbanos, entretanto, apresentam ainda maiores números de ZAA com baixa concentração de oportunidades (0 a 547).

A concentração de oportunidades na região central de Brasília também se evidencia com base na análise dos resultados de acessibilidade gravitacional apresentada na Figura 4.21, a qual ilustra um padrão radial de acesso a oportunidades. Nesse sentido, as ZAA mais próximas do Plano Piloto e de Taguatinga tendem a ter maior acesso a oportunidades de emprego e estudo que as ZAA mais periféricas.

Ainda, por meio da rede de transporte público com atendimento regular selecionada (Figura 5.3), é possível observar o padrão de configuração radial com origem nas cidades-satélites e destino à rodoviária do Plano Piloto, assim como um baixo número de linhas que fazem atendimento perimetrais entre as cidades-satélites. Nesse âmbito, exemplifica-se o atendimento

no setor oeste do mapa, em que a interligação entre as regionais de Ceilândia e Taguatinga para Samambaia concentra-se em apenas um corredor viário mais próximo à região central.

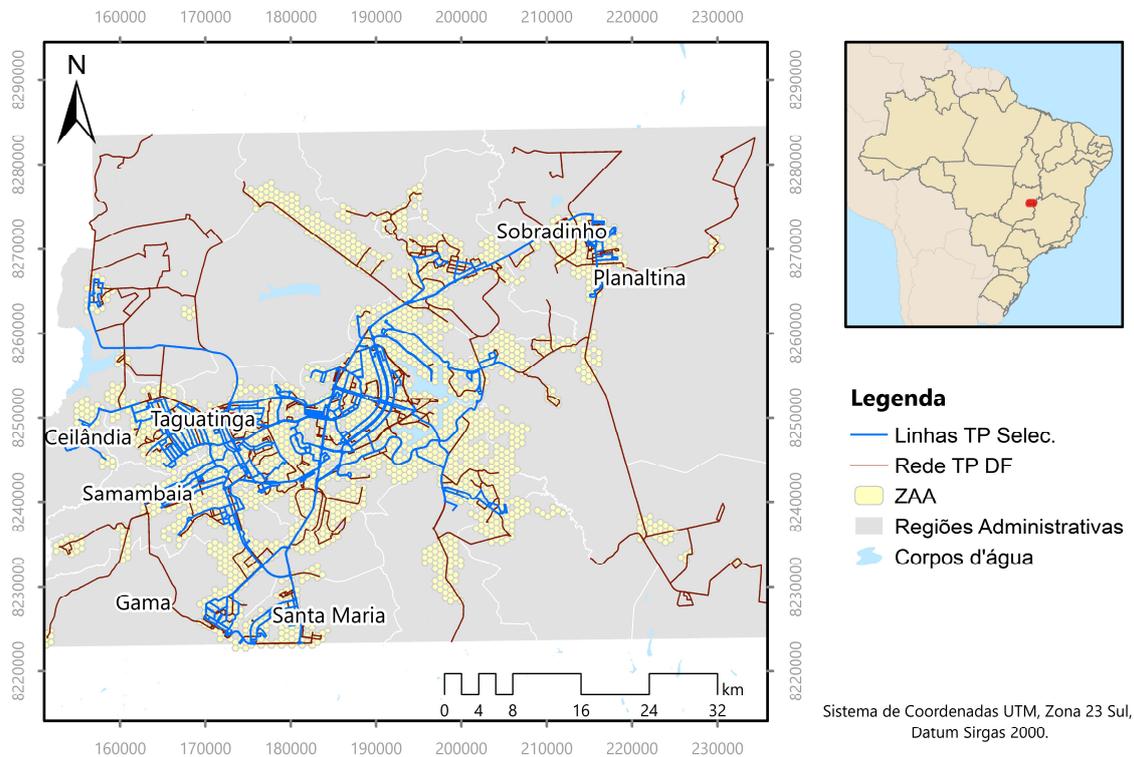


Figura 5.3: Rede de Transporte Público Seleccionada em Brasília-DF

Fonte: Elaboração própria com dados do GeoPortal (2020).

Ainda, com base na Figura 5.3, observa-se que mesmo na área central do DF (Plano Piloto) a configuração das linhas de transporte público tende a se concentrar em três grandes corredores que percorrem no sentido norte-sul a Asa Sul e a Asa Norte, não existindo também uma ligação perimetral entre a região leste e oeste das asas.

Na sequência, serão apresentadas as análises dos resultados de áreas críticas identificadas segundo o método ADEM para cada um dos cenários analisados.

5.1.2 Cenário de Fluxo Livre

O cenário “Fluxo Livre” se caracteriza por considerar a maior velocidade de operação das vias para o cálculo do potencial de oportunidades a serem atingidas por transporte individual motorizado. A disparidade de acessibilidade “Fluxo Livre” em comparação com a acessibilidade potencial por transporte público resulta no indicador ADI. A matriz de dispersão das ZAA segundo o ADI calculado para esse cenário é apresentada na Figura 5.4.

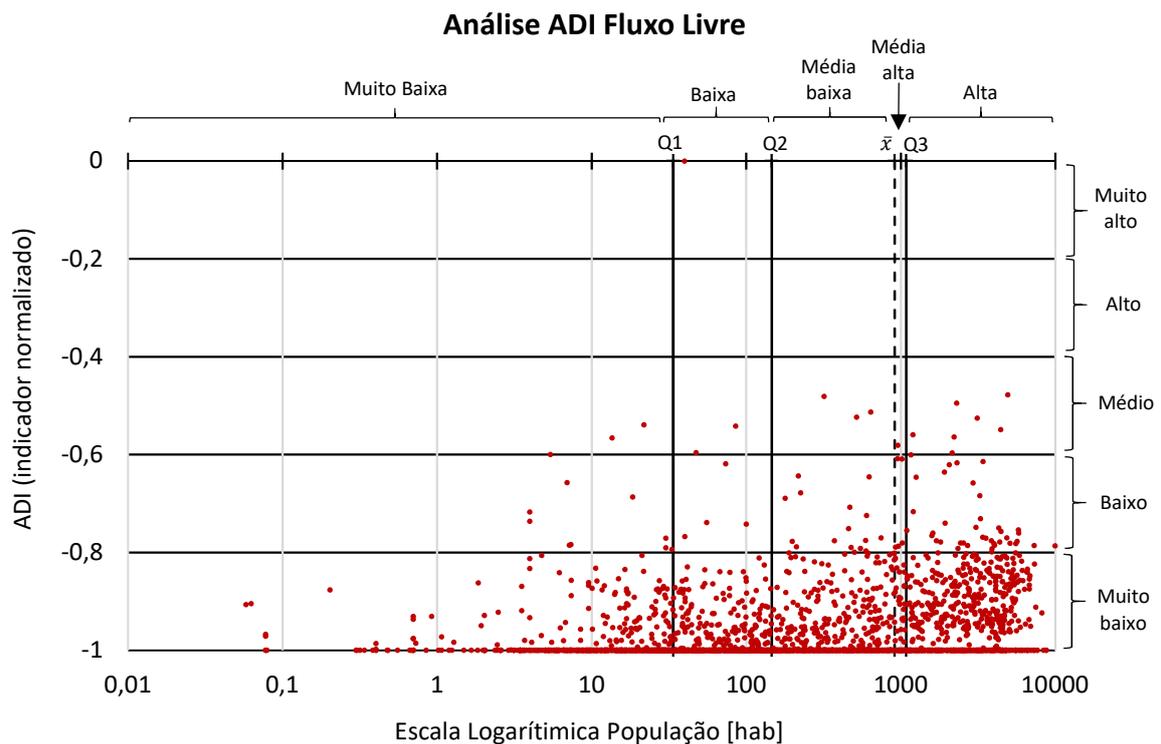


Figura 5.4: Matriz de Decisão método ADEM (fluxo livre)
Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que há uma concentração de ZAA no estrato mais crítico de ADI, entre $-0,8$ e -1 (muito baixo), enquanto a distribuição populacional residente no eixo horizontal apresenta uma concentração à direita na escala logarítmica. Nota-se que a presença massiva de ZAA no estrato mais crítico de ADI indica uma grande desigualdade espacial no acesso a oportunidades entre meios de transporte. Por meio da Matriz de Decisão foi obtida a classificação das ZAA em áreas críticas, as quais são apresentadas quantitativamente na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Número de ZAA e População por Área Crítica da Matriz de Decisão (fluxo livre)

Classificação de ZA	Núm. ZA	Pop. Residente (Total)	% Pop. Residente
Área I	627	1.934.364	76,87%
Área II	113	231.170	9,19%
Área III	622	251.556	10,00%
Área IV	689	51.827	2,06%
Área V	689	10.708	0,43%
Área VI	16	36.835	1,46%
Área VII	0	0	0,00%
Total	2.756	2.516.459	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se, com base na Tabela 5.1, que apesar de não ser a com maior quantitativo de ZAA, a área crítica “Área I” comporta aproximadamente 76,87% da população da área de estudo. Destaca-se ainda que, no cenário de Fluxo Livre, não há nenhuma ZAA na “Área VII”, indicando a forte competitividade potencial que o automóvel apresenta em relação ao ônibus para o acesso a oportunidades.

De modo a facilitar a interpretação dos resultados, na sequência, na Figura 5.5, apresenta-se a distribuição espacial das áreas críticas de modo desagregado.

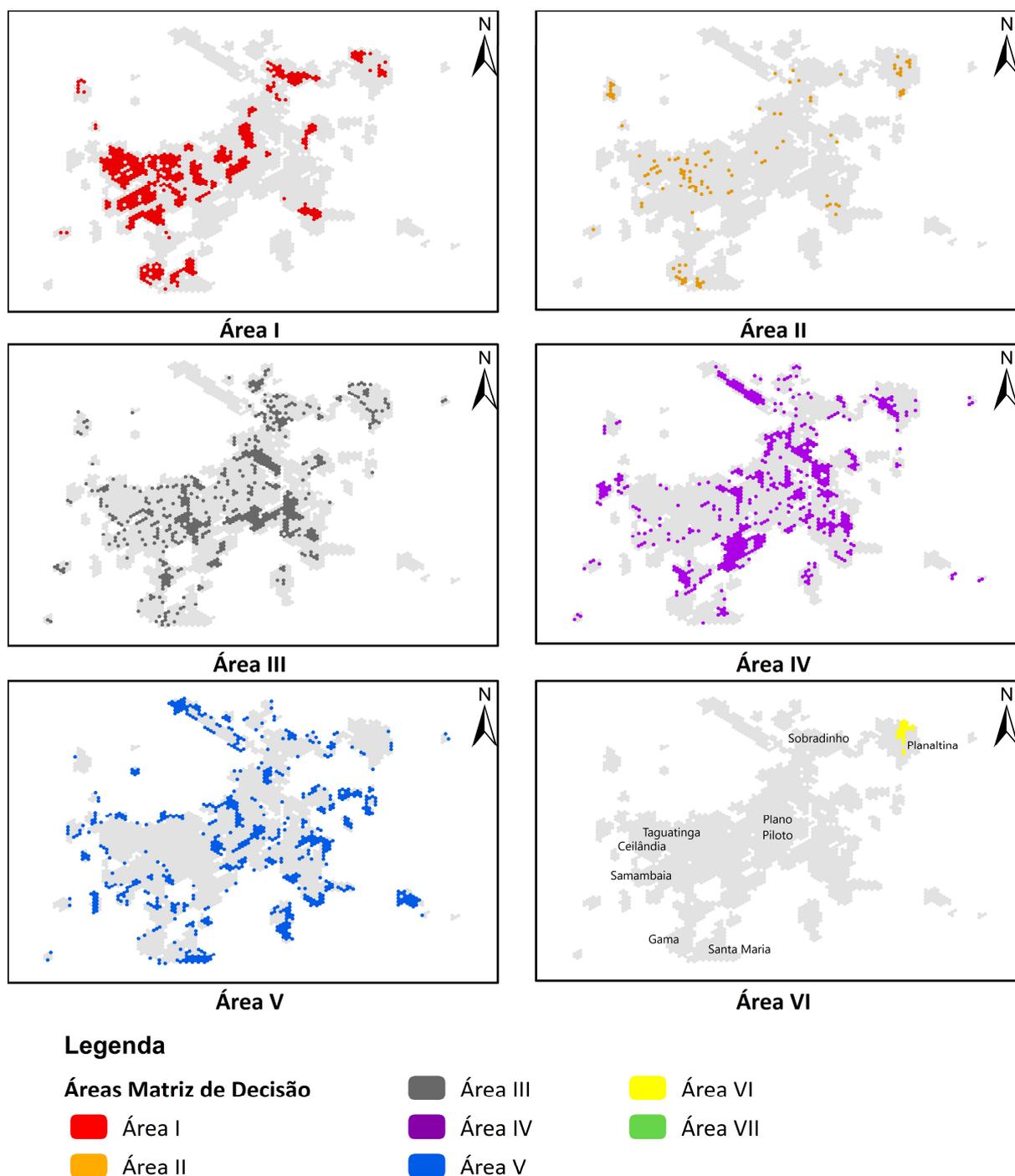


Figura 5.5: Distribuição espacial das áreas de análise (fluxo livre)
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base na Figura 5.5, observa-se que as ZAA em “Área I” estão concentradas nas porções oeste (Taguatinga, Ceilândia, Samambaia e Recanto das Emas) e sudeste (Gama e Santa Maria) do DF, entretanto, são observadas também ao norte (Sobradinho e Planaltina) e na área central (Plano Piloto). Nota-se ainda que a configuração de uso do solo e da infraestrutura de transportes de Brasília apresenta uma desvantagem competitiva aos usuários do sistema de

transporte público, por apresentar um tecido descontínuo de ilhas de áreas críticas mesmo na região central da área de estudo (Asa Sul, Asa Norte e Sudoeste).

De mesmo modo, observa-se que a ZAA na área nordeste do DF (Planaltina) apresenta maior competitividade entre transporte motorizado público e individual no atendimento às oportunidades de estudo e trabalho. No entanto, cabe ressaltar que as medidas de acessibilidade na região são baixas (ver Figura 4.21), o que indica que o acesso a oportunidades é ruim tanto para o transporte público quanto para o transporte individual.

5.1.3 Cenário de Congestionamento Médio

No cenário “Congestionamento Médio”, considera-se um aumento de 21% no tempo de deslocamento na rede viária da área de estudo para o modo de transporte individual motorizado, o que representa uma restrição na acessibilidade do modo de transporte. Assim, em comparação com a acessibilidade dada pela rede de transporte público por ônibus, obtém-se o ADI do cenário “Congestionamento Médio”, sendo a Matriz de Decisão apresentada na Figura 5.6.

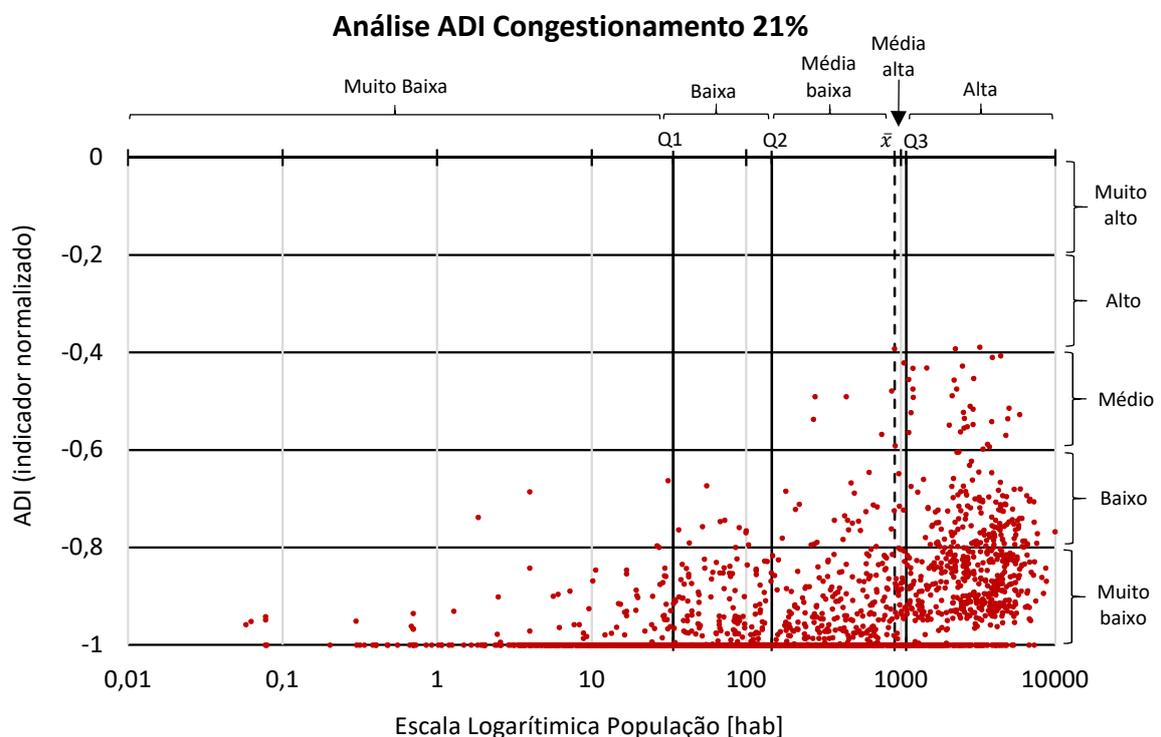


Figura 5.6: Matriz de Decisão método ADEM (congestionamento médio)
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim como a dispersão da Matriz de Decisão para o cenário “Fluxo Livre”, a dispersão das ZAA para o congestionamento médio apresenta maior concentração no estrato de ADI entre $-0,8$ e -1 (mais baixo). Entretanto, observa-se um maior número de ZAA no estrato “baixo” de $-0,6$ a $-0,79$ do que quando comparado ao cenário “Fluxo Livre”. A classificação das ZAA em áreas críticas é apresentada quantitativamente na Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Número de ZAA e População por Área Crítica da Matriz de Decisão (congestionamento médio)

Classificação de ZA	Núm. ZA	Pop. Residente (Total)	% pop. Residente
Área I	519	1.532.833	60,91%
Área II	200	573.204	22,78%
Área III	618	249.177	9,90%
Área IV	689	51.827	2,06%
Área V	689	10.708	0,43%
Área VI	38	92.307	3,67%
Área VII	3	6.403	0,25%
Total	2.756	2.516.459	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor.

O fator de congestionamento para o automóvel considerado no cenário apresentou um impacto na redução de ZAA na área crítica “Área I” da Matriz de Decisão quando comparado ao cenário de Fluxo Livre. No entanto, 60,91% da população residente habita áreas em que o transporte por automóvel é consideravelmente mais competitivo que o transporte público.

Nota-se também que o número de ZAA ainda se concentra entre as áreas críticas IV e V, as quais mantiveram os mesmos quantitativos. Entretanto, diferentemente do cenário de Fluxo Livre, no cenário de Congestionamento Médio aproximadamente 6.403 habitantes residem em ZAA na “Área VII” da matriz de decisão.

De modo a melhor entender esses resultados, na Figura 5.7 ilustra-se a distribuição espacial das áreas de análise da Matriz de Decisão entre as ZAA para o cenário de congestionamento médio.

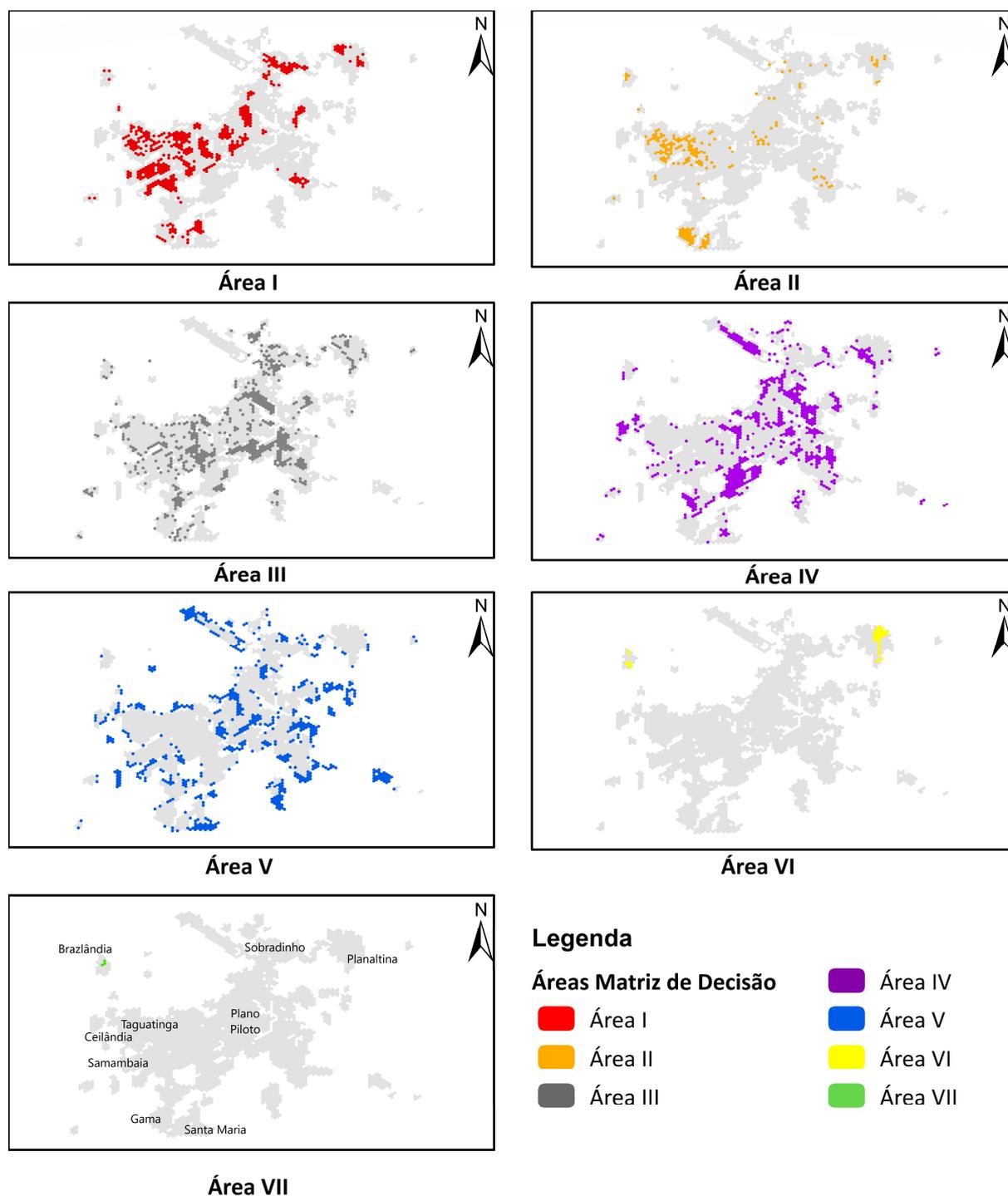


Figura 5.7: Distribuição espacial das áreas de análise (congestionamento médio)
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Especialmente, observa-se que, ao considerar a taxa de congestionamento médio de 21%, grande parte das ZAA que estavam classificadas como “Área I” no cenário de Fluxo livre passaram a compor a “Área II”, com destaque para a região sudoeste (Gama e Santa Maria). Ainda, nota-se que as áreas nordeste do DF (Planaltina) e noroeste (Brazlândia) apresentam zonas em “Área VI” e “Área VII”. No entanto, cabe ressaltar que o resultado não indica uma

boa acessibilidade e bom atendimento de transporte público, mas sim que o acesso a oportunidades de transporte motorizado e transporte individual são páreos.

No que tange à “Área I” do cenário de congestionamento médio, verifica-se também a concentração de ZAA na porção oeste, sudoeste, norte e central do DF em configuração de ilhas. Ressalta-se que, apesar de essas regiões do DF também apresentarem ZAA com concentração de oportunidade em suas respectivas regiões, o atendimento por transporte público ainda apresenta desvantagem competitiva em relação ao transporte individual motorizado.

5.1.4 Cenário de Congestionamento Crítico

O terceiro cenário de análise se caracteriza pela taxa de congestionamento crítico de 57% para o deslocamento por transporte individual motorizado na área de estudo. Nesse sentido, o acesso a oportunidades na área de estudo é avaliado em seu cenário crítico, com maior restrição de acesso para o transporte individual motorizado. Na Figura 5.8 a seguir, é apresentada a dispersão das ZAA, segundo ADI calculado para o cenário “Congestionamento Crítico”.

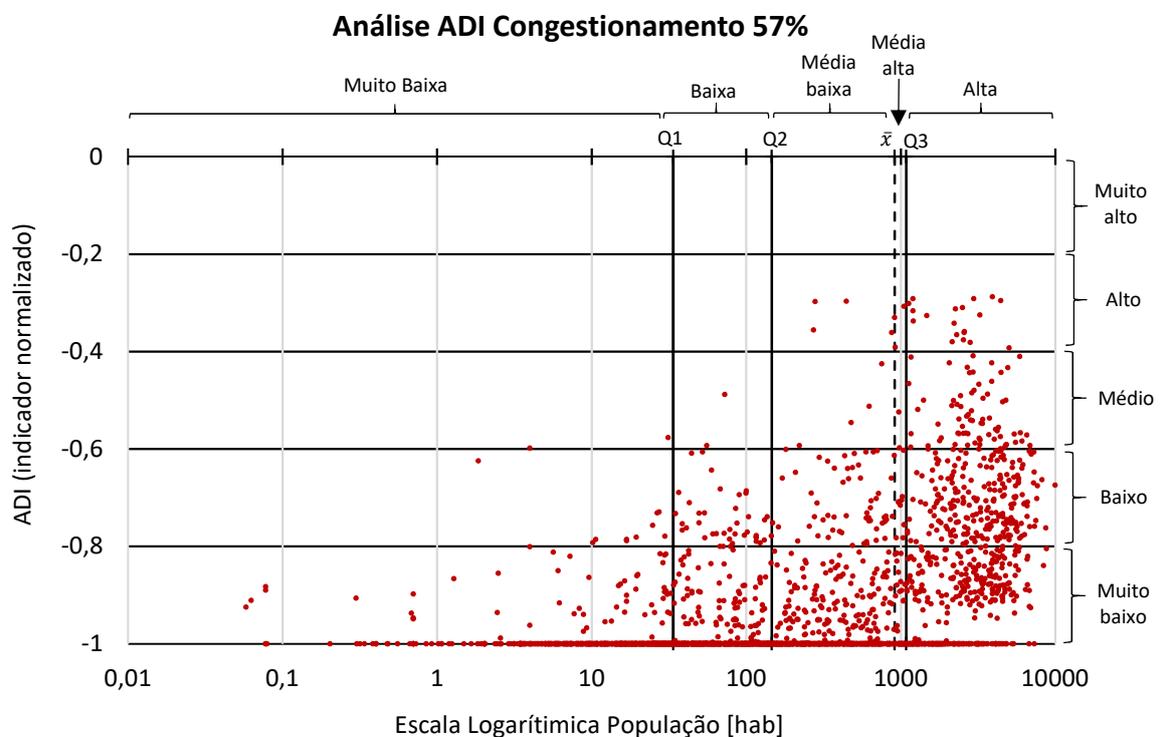


Figura 5.8: Matriz de dispersão de ZAA (congestionamento crítico)
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que diferentemente dos demais cenários de “Fluxo Livre” e “Congestionamento Médio”, o terceiro cenário apresenta uma maior participação de zonas de análise nos estratos ADI “médio” (-0,4 a -0,59) e “baixo” (-0,6 e -0,79). Com base na Matriz de Decisão foi obtida a classificação das ZAA em áreas críticas, as quais estão apresentadas quantitativamente na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Número de ZAA e População por Área Crítica da Matriz de Decisão (congestionamento crítico)

Classificação de ZA	Núm. ZA	Pop. Residente (Total)	% Pop. Residente
Área I	376	1.022.946	40,65%
Área II	284	893.304	35,50%
Área III	615	247.858	9,85%
Área IV	687	51.699	2,05%
Área V	687	10.673	0,42%
Área VI	81	237.592	9,44%
Área VII	26	52.387	2,08%
Total	2.756	2.516.459	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor.

No cenário de congestionamento crítico, nota-se que a população apresenta uma distribuição mais uniforme entre as áreas críticas I e II, tendo a primeira uma participação de 40,65% do número de residentes enquanto a segunda apresenta uma taxa de 35,70% da população. A taxa de congestionamento elevada continua não impactando significativamente a população das áreas IV e V, no entanto, observa-se um aumento da população residente em áreas com competitividade mais párea entre o transporte público e o automóvel (áreas VI e VII).

Na sequência, a distribuição espacial das áreas de análise da matriz de decisão entre as ZAA é ilustrada na Figura 5.9 para uma melhor análise.

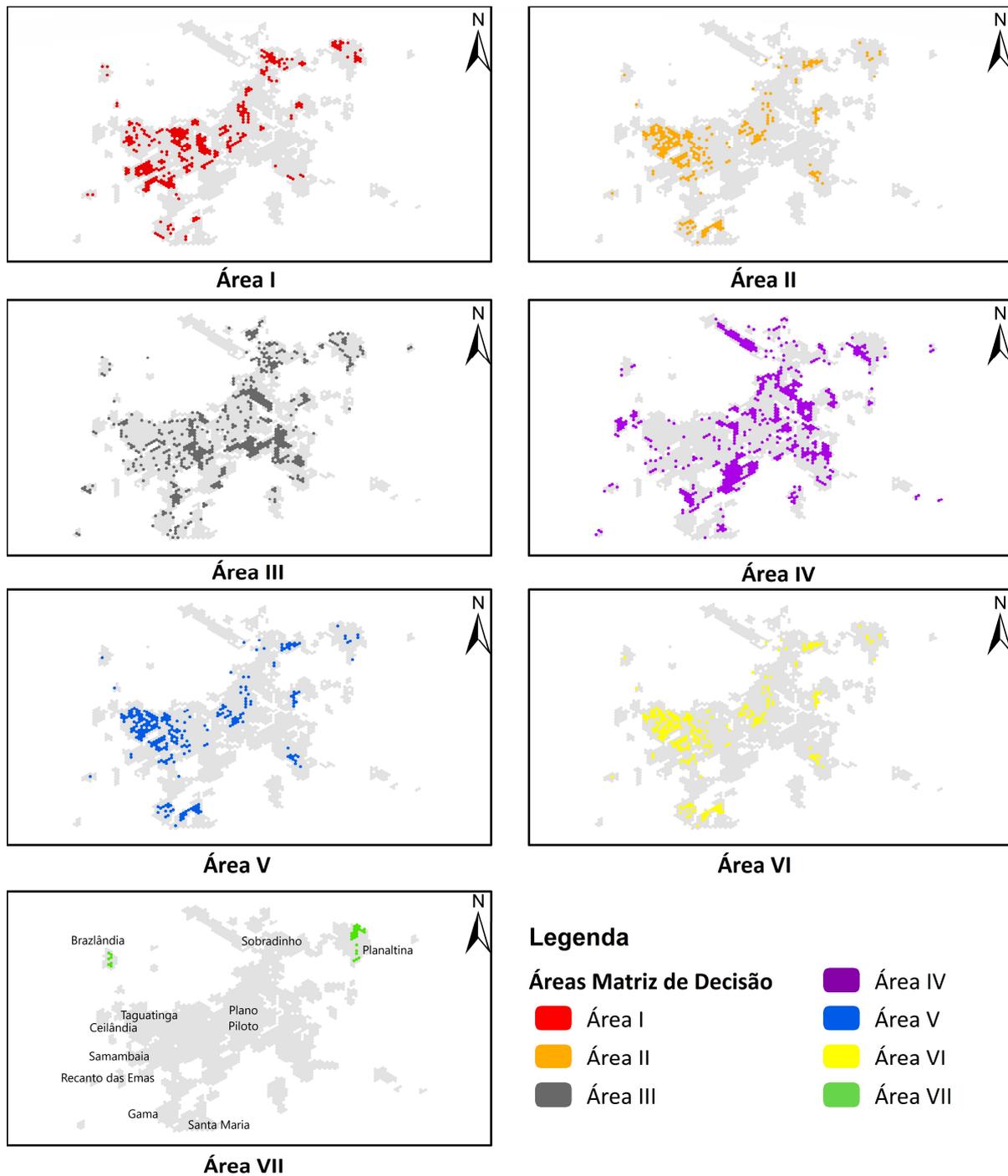


Figura 5.9: Distribuição espacial das áreas de análise (congestionamento crítico)
 Fonte: Elaborado pelo autor.

O cenário “Congestionamento Crítico” destaca o pior panorama de acessibilidade para o transporte individual motorizado. Ainda assim, observa-se, com base na Figura 5.9, que as áreas da região oeste, norte e central do DF apresentam grande desvantagem competitiva no que se refere ao transporte público. Destacam-se ainda as regiões de Samambaia e Recanto das Emas, a oeste do DF, e a região da Asa Norte no Plano Piloto, que, em contraste visual com o cenário

de “Fluxo Livre”, mantiveram grande parte de suas ZAA na “Área I”, reforçando a restrição do atendimento local por transporte público às oportunidades da região.

Nota-se ainda que áreas do Sudoeste e Asa Sul (região central do DF), de Ceilândia e Taguatinga (oeste do DF) tiveram maior concentração de ZAA na “Área II”, assim como foi ampliada a participação da região oeste do DF na classificação “Área VI” da análise ADI juntamente com Gama e Santa Maria (sudoeste do DF).

5.1.5 Resumo da Análise de Resultados

Com base nos resultados apresentados nas seções anteriores, observa-se que a configuração do uso do solo e da infraestrutura de transportes em Brasília gera uma desvantagem competitiva aos usuários de transporte público no acesso a oportunidades quando comparados aos usuários do transporte individual motorizado. Destacam-se os seguintes aspectos conclusivos:

- a configuração do uso do solo em Brasília apresenta uma concentração de oportunidades e população na região oeste e central do DF;
- o sistema viário favorece um deslocamento radial, com origem nas RA e destino ao Plano Piloto;
- a rede de transporte público apresenta carência de traçado de interligação perimetral entre regiões e corredores de transporte;
- mesmo no cenário mais favorável à competição do transporte público (cenário “Congestionamento Crítico”), aproximadamente 40% da população reside em áreas com alta concentração populacional e ADI muito baixo (área crítica I);
- áreas críticas de competição do transporte público (“Área I” método ADEM) se configuram como ilhas localizadas tanto nas áreas periféricas a oeste (Taguatinga, Ceilândia; Samambaia e Recanto das Emas), sudoeste (Gama e Santa Maria), norte e nordeste (Sobradinho e Planaltina) de Brasília quanto na área central do Plano Piloto (em especial Asa Norte).

Assim, na sequência será apresentada uma proposta de intervenção de melhoria do serviço de transporte público baseada nos indicadores de avaliação do método ADEM.

5.2 PROPOSTA DE INTERVENÇÃO DE MELHORIA

Com base na análise de resultados apresentada anteriormente sobre o estudo de caso, observam-se pontos de intervenção no atendimento da rede de transporte público por ônibus em Brasília que podem favorecer a competitividade no atendimento ao acesso a oportunidades na região. Nesse sentido, o presente item do estudo busca apresentar uma proposta de intervenção de melhoria na rede de transporte público de atendimento regular do DF para melhorar o acesso a oportunidades por ônibus quando comparado ao acesso dado por automóvel.

Para tanto, foram selecionados como base de análise para projeção da intervenção os resultados do cenário “Congestionamento Médio”, tendo como foco a melhora do *score* ADI das zonas em área crítica “Área I” nas seguintes regiões do DF:

- região Oeste: Ceilândia, Taguatinga, Samambaia e Recanto das Emas;
- região Sudoeste: Gama e Santa Maria;
- região Norte e Nordeste: Sobradinho e Planaltina;
- região Central: Asa Norte, Asa Sul, Cruzeiro e Sudoeste.

Na sequência, serão apresentadas as intervenções propostas e os resultados do método ADEM da modelagem do cenário.

5.2.1 Descrição das propostas

A identificação das propostas de intervenção incidiu na análise da rede de transporte público de atendimento regular e a identificação de falhas de coberturas e conectividade. Assim, adotou-se duas principais abordagens para nortear as soluções propostas:

- i) identificação de vias que já têm atendimento por transporte público, entretanto, no cenário-base, sua operação não atende ao critério de regularidade mínima; e
- ii) sugestão de complementação da conectividade da rede em vias que atualmente não são atendidas por transporte público.

Nesse sentido, destaca-se que a análise e a proposta de intervenção é detalhada em nível sistêmico de rede e não em nível operacional de linhas isoladas. Na sequência, serão

apresentadas e descritas as propostas de intervenção para as regiões Oeste, Sudoeste, Norte e Nordeste e Central.

5.2.1.1 Região Oeste

O atendimento por transporte público na região Oeste de Brasília já apresenta cobertura na maioria das zonas críticas no cenário-base, sendo aproximadamente 22,66% do sistema viário coberto por linhas de ônibus com atendimento considerado regular. Entretanto, observa-se que existem falhas de conectividade para maior efetividade da rede que podem agravar o indicador ADI. Destaca-se, por exemplo, a ligação norte entre Ceilândia e Taguatinga e a carência de uma segunda ligação mais próxima ao núcleo habitacional da região de Samambaia com as regiões de Ceilândia ao norte e Recanto das Emas ao sul. As intervenções propostas para o atendimento na região Oeste e as variáveis comentadas anteriormente estão ilustradas na Figura 5.10.

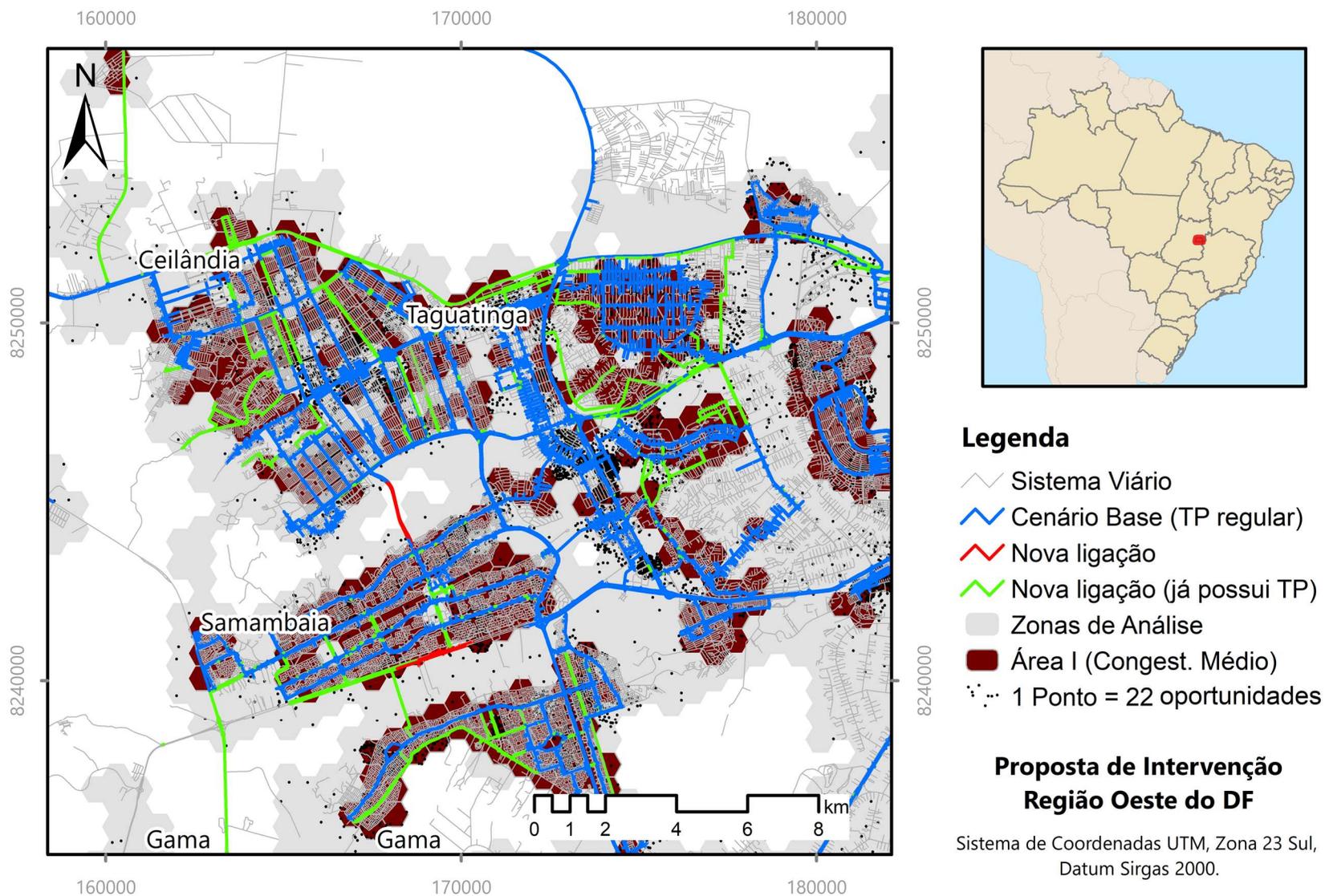


Figura 5.10: Proposta de intervenção na Região Oeste do DF
Fonte: Elaborado pelo autor.

Na sequência, na Tabela 5.4 a seguir, é apresentada a quilometragem de vias que participam do cenário-base e da proposta de intervenção.

Tabela 5.4: Quantitativo da proposta de intervenção na região Oeste

Ceilândia, Taguatinga, Samambaia e Recanto das Emas	Extensão de vias	
	km	%
Cenário-Base (Vias TP regular)	292,31	22,66%
Nova Ligação (sem TP atual)	1,29	0,10%
Nova Ligação (com TP atual.)	74,02	5,74%
Vias sem TP	922,32	71,50%
Total Geral	1.289,94	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nas vias que se propõem novas ligações de transporte público com operação considerada regular, 74,02 km já têm atendimento por 79 linhas do sistema de transporte público atual, sendo elas: 959.1, 933.6, 933.3, 929.4, 929.3, 929.1, 920.4, 872.5, 872.3, 870.9, 814.1, 808.5, 808.1, 807.6, 807.2, 806.8, 805.7, 402.5, 402.1, 372.9, 366.7, 366.5, 366.3, 364.1, 357.1, 355.3, 355.2, 355.1, 350.1, 333.8, 323.1, 310.1, 306.2, 306.1, 305.6, 305.4, 300.1, 255.2, 206.2, 154.7, 087.5, 0.960, 0.959, 0.957, 0.956, 0.954, 0.951, 0.934, 0.928, 0.920, 0.913, 0.830, 0.817, 0.814, 0.558, 0.551, 0.415, 0.407, 0.402, 0.385, 0.366, 0.360, 0.340, 0.350, 0.330, 0.355, 0.311, 0.312, 0.310, 0.049, 0.159, 0.348, 0.04 e 0.357. Em complementação, se propõe a criação de duas novas ligações, a primeira entre a região de Samambaia e Ceilândia e a segunda na região sul de Samambaia, totalizando apenas 1,29 km.

5.2.1.2 Região Sudoeste

Assim como na região Oeste, as regionais Gama e Santa Maria também já apresentam cobertura de transporte em grande parte de suas Zonas de Análise. No entanto, observa-se que, apesar das regionais já estarem interligadas entre si, há uma carência de ligação direta para acessar oportunidades de outras regionais, como em Samambaia, por exemplo. Nesse sentido, na Figura 5.11 ilustra-se as intervenções propostas, as quais compreendem uma maior interligação entre as zonas críticas nas regionais e a promoção da rede para formar um anel de integração entre a Região Oeste e Sudoeste.

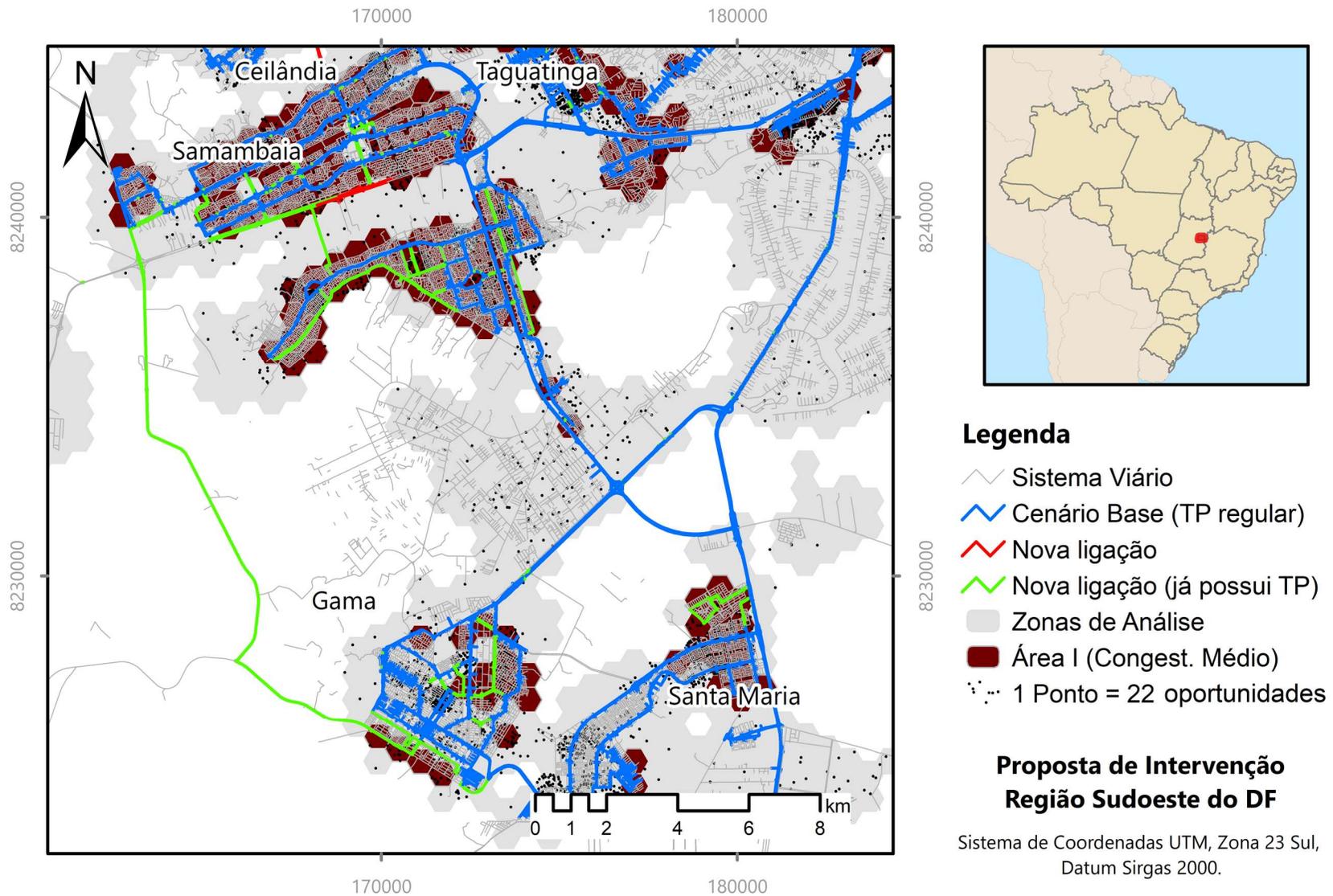


Figura 5.11: Proposta de intervenção na Região Sudoeste do DF
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 5.5 é apresentado o quantitativo de vias que compõem o cenário-base e de intervenção que são atendidas pelo transporte público.

Tabela 5.5: Quantitativo da proposta de intervenção na Região Sudoeste

Gama e Santa Maria	Extensão de vias	
	km	%
Cenário-Base (Vias TP regular)	63,35	22,36%
Nova Ligação (sem TP atual)	-	0,00%
Nova Ligação (com TP atual.)	10,25	3,62%
Vias sem TP	209,72	74,02%
Total Geral	283,32	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nas vias a que se propõem novas ligações de transporte público com operação considerada regular, 10,25 km já têm atendimento por 12 linhas do sistema de transporte público atual, sendo elas: 251.8, 206.2, 203.6, 020.2, 0.234, 0.225, 0.224, 0.215, 0.205, 3209, 3208 e 3204. No cenário de intervenção, não são propostas novas ligações viárias para a rede de transporte público que não apresentem infraestrutura existente, sendo a intervenção orientada principalmente a ajustes operacionais da oferta atual.

5.2.1.3 Região Norte e Nordeste

Caracterizada pelas regionais de Planaltina e Sobradinho, essa região de análise apresenta apenas 11% das vias com atendimento de transporte público com operação considerada regular no cenário-base, as quais estão em sua maioria concentradas em Planaltina. Na regional de Sobradinho, observa-se que as linhas do cenário-base não chegam a interligar internamente as zonas leste e oeste, de modo a rede de transporte promover uma maior eficiência ao acesso das oportunidades locais, assim como na regional de Planaltina há um núcleo de zonas “Área I” isolado no cenário-base. Nesse sentido, a Figura 5.12 ilustra a proposta de intervenção na região Norte e Nordeste do DF, cujo principal objetivo é promover uma maior capilaridade da rede de transporte público com atendimento considerado regular na região.

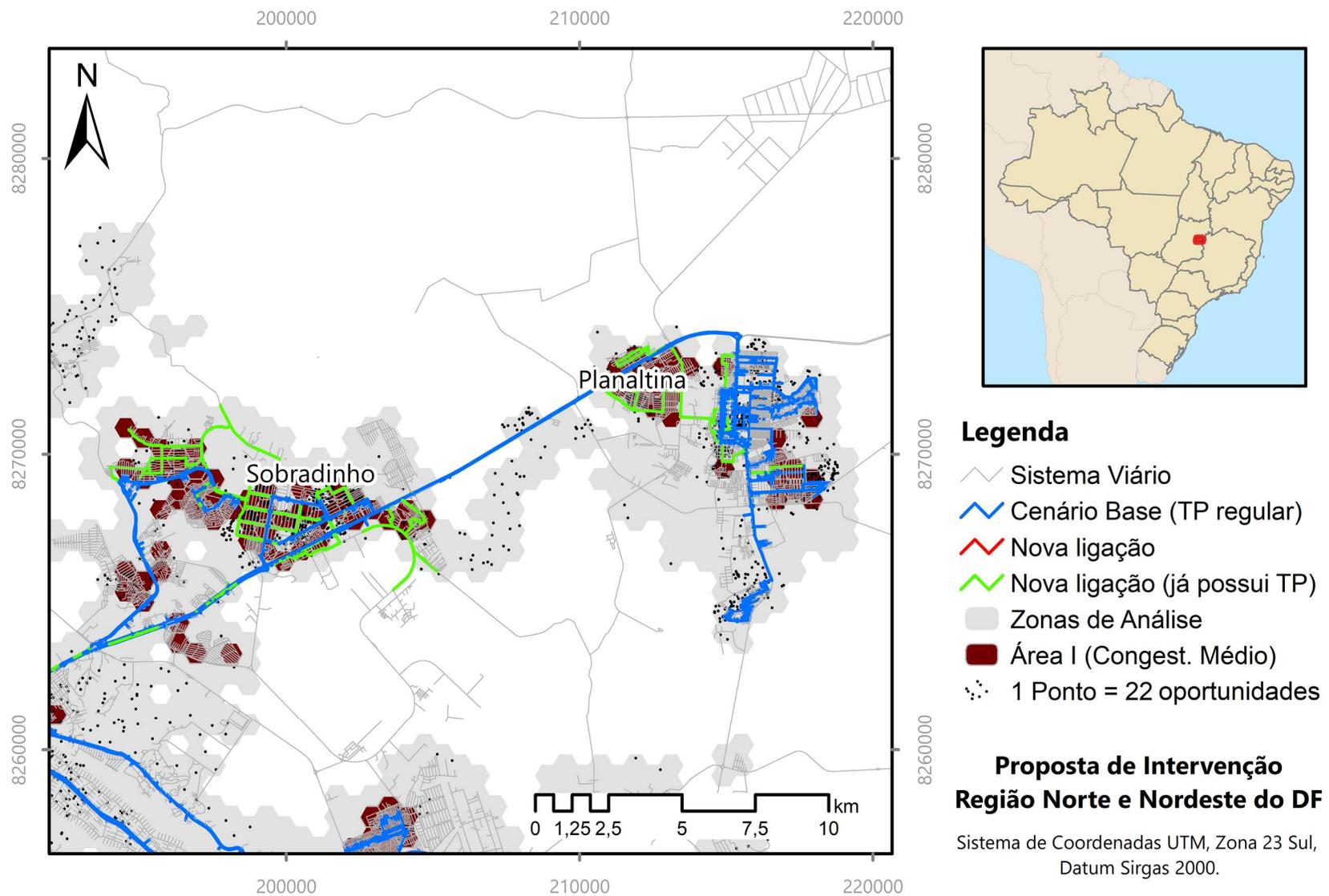


Figura 5.12: Proposta de intervenção na Região Norte e Nordeste do DF
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Já na Tabela 5.6 é apresentada a quilometragem de vias atendidas por transporte público por ônibus no cenário-base e na proposta de intervenção.

Tabela 5.6: Quantitativo da proposta de intervenção na região Norte e Nordeste

Sobradinho e Planaltina	Extensão de vias	
	km	%
Cenário-Base (Vias TP regular)	233,37	11,00%
Nova Ligação (sem TP atual)	-	0,00%
Nova Ligação (com TP atual.)	81,47	3,84%
Vias sem TP	1.807,22	85,16%
Total Geral	2.122,06	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nas vias a que se propõem novas ligações de transporte público com operação considerada regular, 81,47 km já são atendidas por 29 linhas do sistema de transporte público atual, sendo elas: 642.1, 616.6, 604.2, 601.3, 600.5, 600.3, 531.1, 519.3, 519.1, 511.4, 509.1, 505.8, 505.5, 505.3, 504.4, 504.1, 066.3, 0.648, 062.7, 0.642, 063.1, 0.526, 0.527, 0.525, 0.511, 0.519, 062.5, 0.504 e 066.2. Nesse sentido, aproximadamente 14% das vias terão atendimento por transporte público. No entanto, a proposta de intervenção não considera que sejam realizadas novas ligações para a rede de transporte público em vias que não têm linhas e infraestrutura existentes, sendo as modificações orientadas a ajustes na operação do sistema.

5.2.1.4 Região Central

A Região Central do DF é a que apresenta maior malha viária atendida por transporte público considerado regular pelo método ADI, a qual tem aproximadamente 425 km de extensão, o que corresponde a 34% das vias da região no cenário-base. No entanto, observa-se que nas regiões da Asa Sul e Asa Norte as linhas tendem a se concentrar nos principais eixos de fluxo norte-sul, tendo poucas ligações internas que conectem os eixos perpendicularmente. Ainda, nota-se que zonas com alta concentração de oportunidades também apresentam pouca capilaridade de vias que tenham atendimento de transporte público, o que pode afetar a eficiência de acessibilidade na região. Desse modo, para a Região Central são propostas complementações à malha viária de transporte público por meio da adição de novas ligações entre as zonas, conforme ilustrado na Figura 5.13.

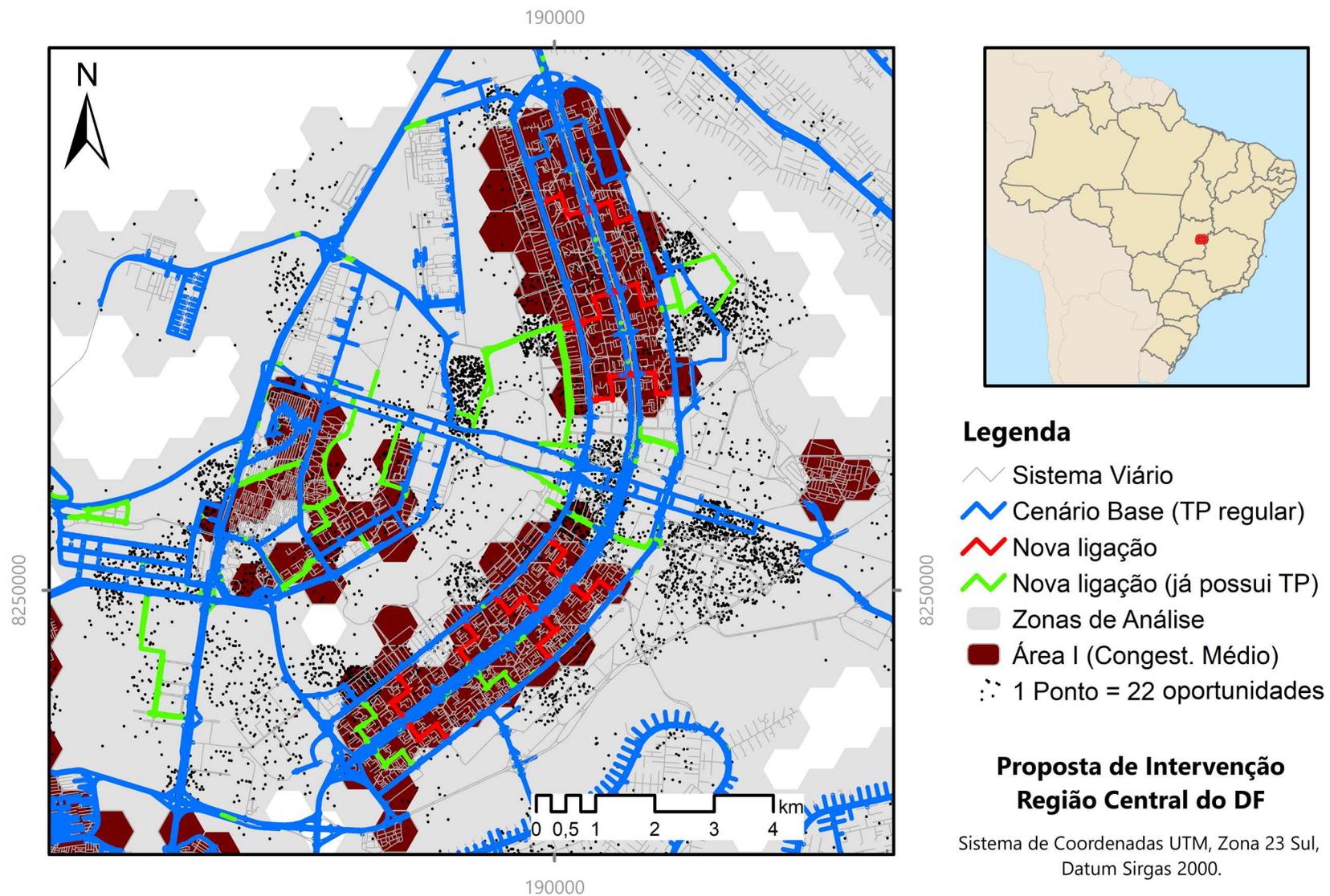


Figura 5.13: Proposta de intervenção na Região Central do DF
Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 5.7 é apresentada a extensão de vias com atendimento de transporte público por ônibus considerado regular no cenário-base e na proposta de intervenção.

Tabela 5.7: Quantitativo da proposta de intervenção na Região Central

Asa Norte, Asa Sul, Cruzeiro e Sudoeste	Extensão de vias	
	km	%
Cenário-Base (Vias TP regular)	424,96	34,34%
Nova Ligação (sem TP atual)	22,05	1,78%
Nova Ligação (com TP atual.)	55,03	4,45%
Vias sem TP	735,31	59,43%
Total Geral	1.237,35	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nas vias que se propõe novas ligações de transporte público com operação considerada regular, 55,03 km já são atendidos por 15 linhas do sistema de transporte público atual, sendo elas: 910.1, 256.2, 152.5, 0.911, 099.1, 0.910, 131.3, 0.035, 0.186, 0.024, 0.022, 0.023, 0.913, 0.006 e 143.1. Propõe-se ainda a inserção de novas ligações em 22 km de vias que atualmente não têm atendimento de transporte, ilustradas em vermelho na Figura 5.13, na Asa Sul e Asa Norte do Plano Piloto de Brasília. Desse modo, mais de 40% das vias da Região Central teriam atendimento por transporte público considerado regular.

5.2.2 Avaliação das propostas de intervenção “Área I”

Com base nas alterações propostas para a rede de transporte público em Brasília nas regiões Oeste, Sudoeste, Norte e Nordeste e Central do DF, foi obtida a nova matriz origem-destino de custo de viagem por transporte público e calculado o ADI em comparação ao cenário de congestionamento médio para transporte individual motorizado, o qual considera uma taxa de congestionamento de 21%. Os resultados do indicador de disparidade de acessibilidade (ADI) são apresentados na Figura 5.14 a seguir.

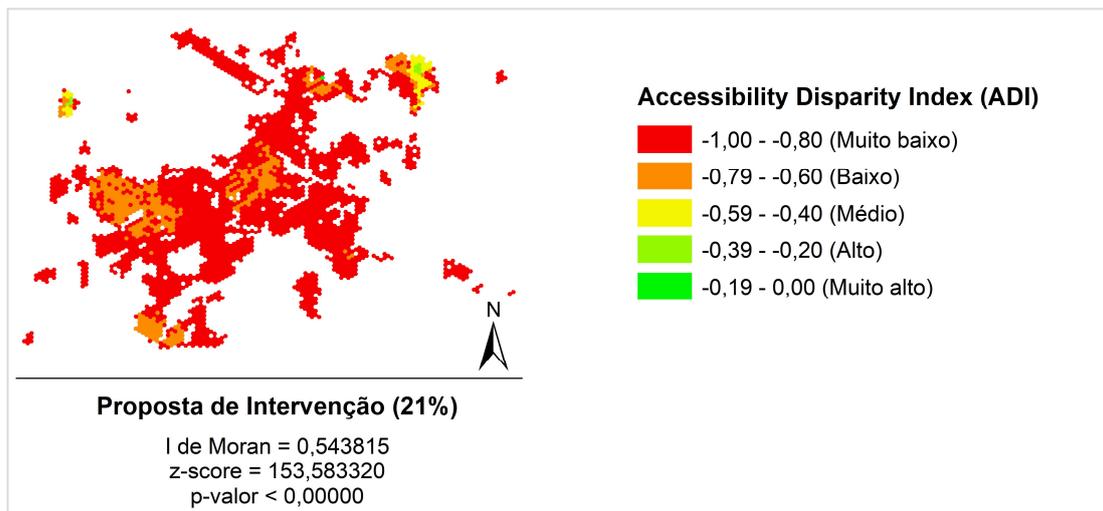


Figura 5.14: Resultado ADI para proposta de intervenção
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados para a área de estudo, considerando a variável ADI, apontam um I de Moran de 0,543815 (z-score: 153,583320, p-valor < 0,01%), o que significa que como resultado da proposta de intervenção houve uma forte autocorrelação espacial, sendo expressado o padrão agrupado. Nesse sentido, observa-se que o z-score aumentou de 111,076336 no cenário-base de congestionamento médio para 153,583320 no cenário de intervenção de melhoria, indicando que a variação da variável de disparidade de acessibilidade em uma zona apresentou impacto também em zonas vizinhas. Na Figura 5.14, é possível notar que o estrato baixo do indicador ADI passou a ter uma configuração contínua entre as áreas que quando comparado ao cenário-base.

Por sua vez, na Figura 5.15, ilustra-se a distribuição espacial da melhoria no indicador ADI nas ZAA em termos percentuais.

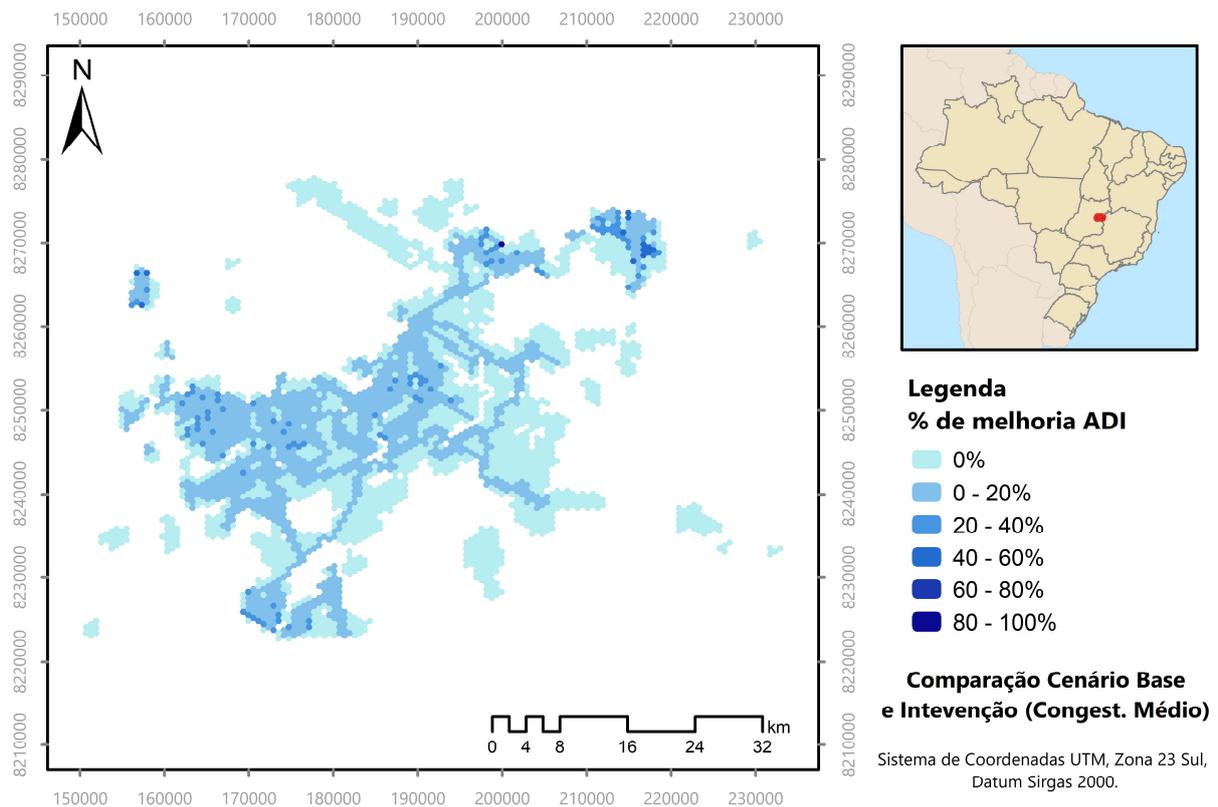


Figura 5.15: Espacialização da melhoria ADI no DF
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Zonas localizadas nas regiões Norte, Oeste e Noroeste do DF apresentaram maior aumento do indicador ADI. No entanto, apesar das intervenções se concentrarem em vias de regiões específicas, nota-se que zonas vicinais ao longo de toda a rede de transporte público foram afetadas positivamente, reforçando a característica sistêmica entre o uso do solo e sistemas de transporte.

A fim de melhor interpretar os resultados ADI e sua correlação com a variável de competitividade *população*, na Figura 5.16, ilustra-se a Matriz de Decisão com o gráfico de dispersão dos resultados.

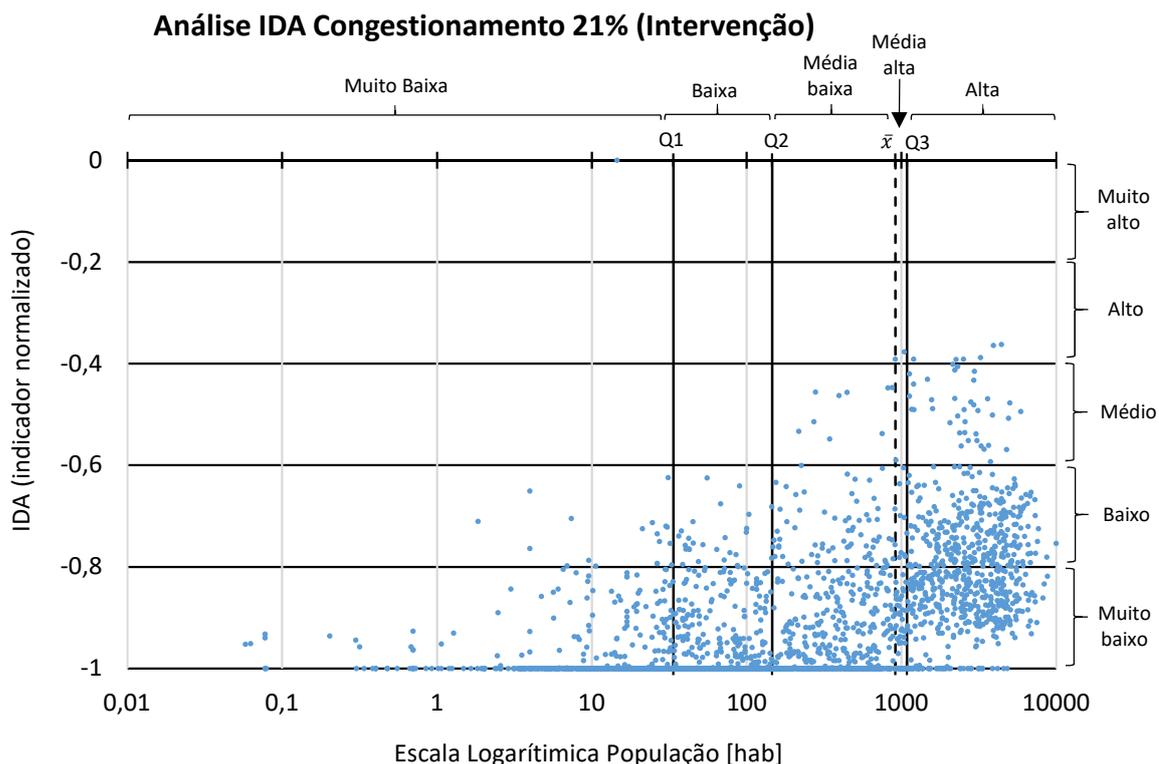


Figura 5.16: Matriz de dispersão de ZAA (Intervenção – congestionamento médio)
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Em contraste com a Figura 5.6, observa-se que houve um deslocamento de ZAA de alta concentração populacional da faixa ADI “Muito baixo” para “Baixo”, reduzindo assim o número de zonas na área crítica da matriz. Em termos quantitativos, na Tabela 5.8 é apresentada a comparação do número de zonas e população residente por área crítica da Matriz de Decisão entre os cenários “Base” e “Intervenção”.

Tabela 5.8: Comparação ZAA e população por área crítica da Matriz de Decisão (congestionamento médio)

Classificação	Cenário-Base			Intervenção			Diferença	
	Núm. ZAA	Pop. Residente	% pop. Residente	Núm. ZAA	Pop. Residente	% pop. Residente	Núm. ZAA	Pop. Residente
Área I	519	1.532.833	60,91%	368	1.077.154	42,80%	-151	-455.678
Área II	200	573.204	22,78%	341	1.002.768	39,85%	141	429.564
Área III	618	249.177	9,90%	614	247.406	9,83%	-4	-1.772
Área IV	689	51.827	2,06%	689	51.827	2,06%	0	0
Área V	689	10.708	0,43%	688	10.693	0,42%	-1	-15
Área VI	38	92.307	3,67%	47	107.097	4,26%	9	14.790
Área VII	3	6.403	0,25%	9	19.515	0,78%	6	13.111
Total	2.756	2.516.459	100,00%	2.756	2.516.459	100,00%	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que houve uma redução de 151 ZAA da área crítica I, o que corresponde a 455.678 pessoas que tiveram a disparidade de acesso a oportunidades de transporte público reduzida quando comparado ao transporte individual motorizado. Enquanto no cenário-base mais de 60% da população residia em zonas na “Área I”, no cenário de intervenção esse percentual baixou para pouco menos de 43%, sendo observado um aumento de residentes, em especial na “Área II”.

Na Figura 5.17, ilustra-se a distribuição espacial das áreas da Matriz de Decisão do método ADEM no cenário de intervenção.

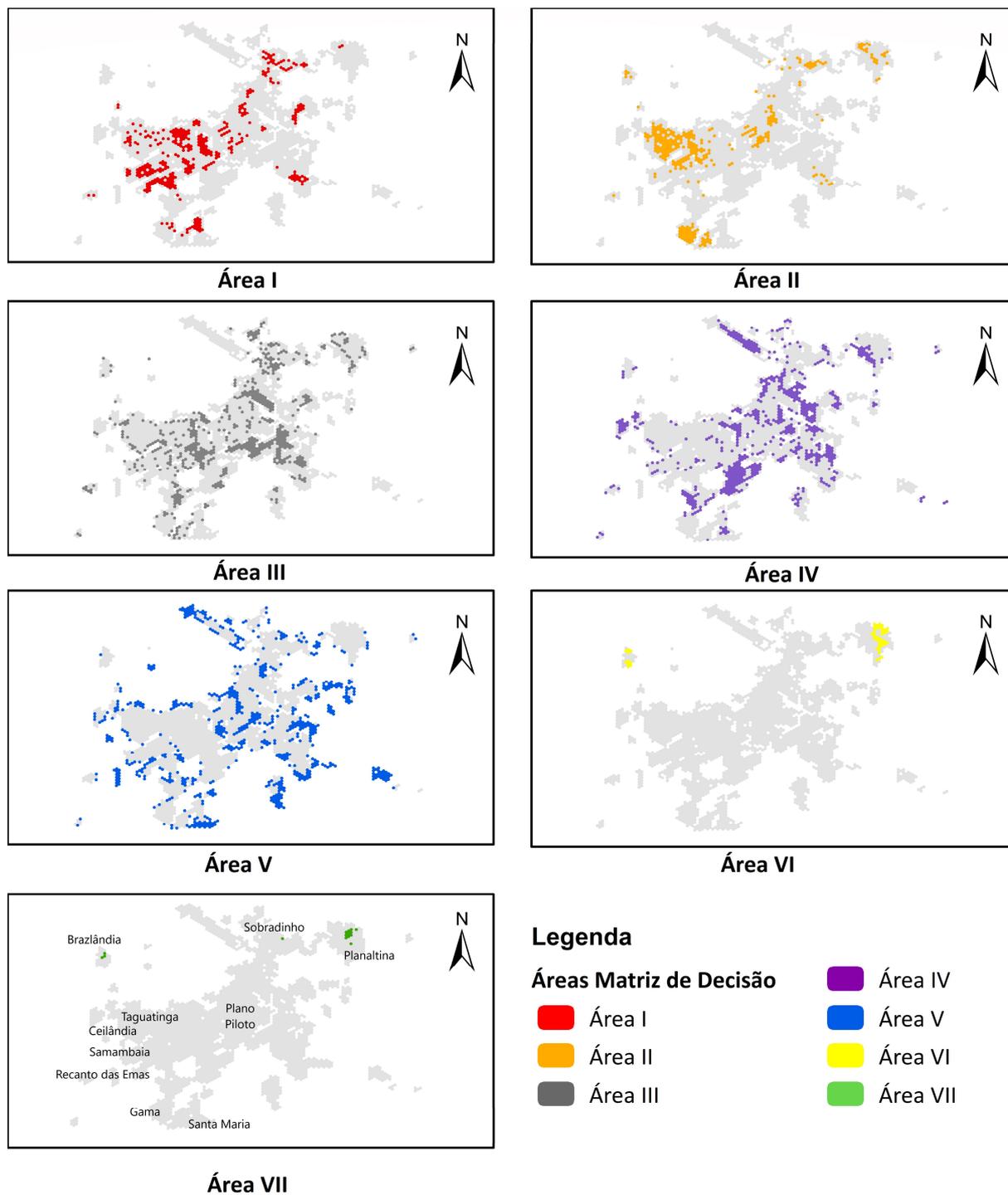


Figura 5.17: Distribuição espacial das áreas de análise (Intervenção – congestionamento médio)

Fonte: Elaborado pelo autor.

De modo a visualizar melhor a mudança ocorrida entre os cenários, na Figura 5.18 apresenta-se uma sobreposição de camadas entre a mancha de “Área I” presente no cenário-base e no cenário de intervenção. Assim, podem ser melhor notadas as ZAA que eram consideradas críticas no cenário-base e não são mais (cor vermelho vibrante).

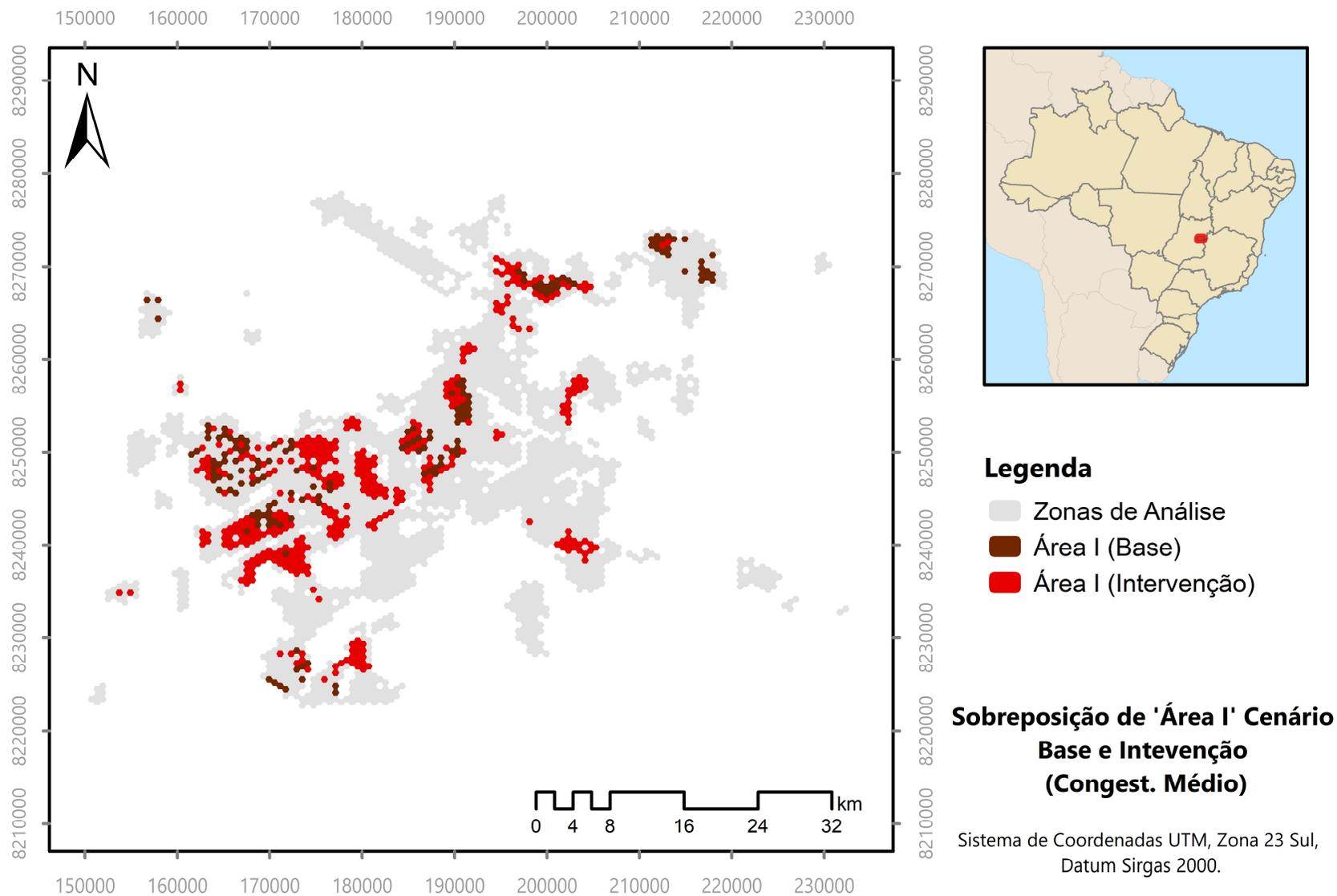


Figura 5.18: Sobreposição de “Área I” entre cenário-base e intervenção
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que houve uma dispersão da mancha de áreas críticas “Área I” na região de Ceilândia, Asa Norte, Asa Sul e Planaltina. Entretanto, embora todas as zonas tenham apresentado melhoria no indicador, as regionais de Samambaia e Recanto das Emas mantêm a predominância de áreas críticas. Para essas regiões, fica evidenciado que soluções alternativas de transporte público poderiam ser adotadas para maior eficiência em rede, como os sistemas de transporte de demanda responsiva (*Demand Responsive Transit – DRT*), por exemplo.

5.2.3 Resumo da Proposta de Intervenção

Após a análise dos resultados de diagnóstico da situação da disparidade de acessibilidade em Brasília, foi apresentada nessa seção uma proposta de intervenção com vistas a promover melhor acesso a oportunidades de transporte público em áreas crítica. Foram então estudadas quatro regiões do DF que abrangeram 12 Regiões Administrativas.

As propostas estudadas foram formuladas no nível de análise de rede, objetivando aumentar a área de serviço de transporte público considerada regular pelo método ADEM e promovendo maior conectividade entre pontos da rede. Ao todo, foi acrescentada uma extensão de 244,11 km de vias à rede de transporte público, o que corresponde a 24,07% da malha viária das quatro regiões estudadas. Destaca-se que 220,77 km (90,41%) são vias que já têm atendimento de transporte público, entretanto, não com a frequência mínima para ser considerada de atendimento regular pelo método ADEM. Nesse sentido, a intervenção física foi minimizada, uma vez que não será necessário implantar, por exemplo, pontos de parada ou adequação da geometria de vias para o tráfego de veículos de maior porte.

Como resultado, observou-se que aproximadamente 455 mil pessoas deixaram de ter as zonas de suas residências consideradas áreas críticas do tipo I. No que tange à avaliação do indicador ADI isoladamente, foi possível observar também que houve uma diminuição na segregação espacial.

Observa-se ainda que, com a modelagem da proposta de intervenção no método ADEM, foi possível identificar áreas em que o aumento da área de serviço de transporte público não impactou significativamente na melhoria de acesso a oportunidades da população, indicando que outras soluções de planejamento de uso do solo e de transportes devem ser avaliadas.

5.3 TÓPICOS CONCLUSIVOS

Os detalhamentos dos resultados do estudo de caso de Brasília apresentados neste capítulo possibilitaram que pudessem ser exploradas as potencialidades do método ADEM no apoio à elaboração de propostas para auxiliar no planejamento de transportes urbanos.

Notou-se que Brasília apresenta zonas com altos índices de disparidade de acessibilidade e concentração populacional tanto nas periferias do DF quanto na região central, em que se esperava encontrar o serviço mais competitivo de transporte público.

Por fim, por meio da proposta de intervenção, observou-se que o desenvolvimento de uma rede de transporte público, por ônibus, com melhor atendimento em zonas com alta densidade populacional, e a promoção de maior conectividade entre as RA e os principais eixos de transporte tende a aumentar a competitividade do ônibus em relação ao automóvel no acesso a oportunidades urbanas. Também foi possível identificar regiões em que a ampliação da área de serviço de transporte público por ônibus, embora melhorasse o índice de acessibilidade, não traria benefícios significativos em termos de acesso a oportunidades aos moradores. Nesses casos, o método ADEM poderia ser utilizado como ferramenta estratégica de apoio à decisão para endossar o estudo de novas soluções de planejamento.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

A acessibilidade representa uma medida de distribuição espacial de oportunidades urbanas atendidas por um sistema de transporte, sendo, portanto, diretamente relacionada ao planejamento integrado de transportes e uso do solo. No Brasil, embora o planejamento urbano e de transportes tenha como um dos pilares a promoção da equidade no acesso às oportunidades urbanas, a acessibilidade ainda não é incentivada como uma ferramenta de tomada de decisão para orientar as políticas públicas no desenvolvimento econômico, social e ambiental das comunidades e tão pouco como um instrumento de gestão estratégica para a análise de demanda e oferta no desenvolvimento e operação de sistemas de transporte.

No espaço urbano, o transporte público desempenha a função social de prover acesso a oportunidades e equidade a toda a população, no entanto, nas últimas décadas tem-se observado uma redução constante na demanda de passageiros em todo o país, o que coloca em risco não apenas a sustentabilidade financeira dos operadores de transporte, mas também o atendimento a função social do transporte público urbano.

Assim, a presente dissertação teve como principal objetivo de pesquisa desenvolver um método de análise para avaliação da disparidade de acessibilidade entre o transporte público por ônibus e o individual por automóvel. Como premissas, buscou-se que o método fosse aplicável ao contexto das cidades brasileiras, bem como de fácil mensuração, interpretação e comunicação dos resultados.

Para atingir esse objetivo, foi realizada uma revisão bibliográfica, que norteou o desenvolvimento do método proposto denominado *Accessibility Disparity Evaluation Method* (ADEM), e um estudo-piloto em Brasília-DF, pelo qual se avaliou as potencialidades e restrições do método proposto.

Entende-se que os objetivos da dissertação foram atingidos, sendo apresentadas na sequência as principais conclusões acerca do método ADEM, do estudo de caso em Brasília, assim como as sugestões para trabalhos futuros.

6.1 O MÉTODO ADEM

O método ADEM consiste na avaliação e comparação de medidas de acesso a oportunidades de trabalho e estudo de áreas urbanas edificadas por intermédio de transporte motorizado individual e público, por ônibus, para cada uma das zonas de análise que compõe a área de estudo de interesse. Entre os principais diferenciais do instrumento destaca-se que, além de identificar áreas com disparidade de acesso a oportunidades, o método possibilita a análise dos resultados por meio de uma Matriz de Decisão que incorpora o componente *densidade populacional*, facilitando a análise e comunicação do indicador de acessibilidade.

O método ADEM tem como objetivo o planejamento de transportes, em especial, a promoção de modos de transportes públicos coletivos em prol do uso de modos de transporte individuais motorizados. Esse método foi desenvolvido para ser uma ferramenta que utiliza plataforma SIG, de relativa facilidade de mensuração e interpretação, de modo a ser acessível a planejadores, gestores e pesquisadores em processos de planejamento estratégico.

Nesse âmbito, destaca-se positivamente que os produtos do método ADEM, em formato de mapas temáticos e tabelas quantitativas de número de zonas e população, apresentam fácil leitura e comunicação dos resultados. Ainda, a utilização de dados de fontes abertas e de ferramentas SIG de ampla utilização o torna um instrumento de fácil replicação e assim pode favorecer a difusão do planejamento de desenvolvimento orientado à acessibilidade.

No entanto, faz-se importante destacar que a disponibilidade de dados para o contexto da área de estudo pode limitar a potencialidade do instrumento. Embora sirva como suporte ativo à tomada de decisões, o instrumento não possibilita a mensuração direta de ganhos e perdas financeiras, tampouco considera todo o contexto urbano e regional de geração de viagens, assim como a situação socioeconômica e o ambiente construído.

Ainda, considerando-se que nas cidades brasileiras a dependência por transporte público é maior nas camadas sociais mais pobres e com acesso a oportunidades de trabalho com menor remuneração, destaca-se a limitação do método proposto em dados socioeconômicos e faixa salarial das oportunidades de emprego da área estudada. Entende-se que o detalhamento dessas variáveis pode contribuir para análises mais substanciais de equidade socioespacial.

6.2 ESTUDO DE CASO EM BRASÍLIA-DF

O estudo de caso em Brasília-DF teve como premissa explorar a aplicabilidade do método ADEM em um estudo-piloto do fenômeno da acessibilidade urbana dentro de seu contexto real. Desse modo, foi possível identificar a influência das características de planejamento territorial e dos sistemas de transporte na promoção do acesso a oportunidades na região, assim como avaliar o efeito de medidas de intervenção operacional no sistema de transporte público por meio da avaliação da disparidade de acessibilidade das zonas de análise da região.

Em Brasília, foi identificado que o sistema de transporte e a configuração do uso do solo favorecem o acesso a oportunidades de trabalho e estudo por usuários de transporte individual motorizado, mesmo em áreas centrais de oferta de oportunidades, como o Plano Piloto. No que tange ao sistema de transporte público, observou-se que a configuração da rede desfavorece viagens perimetrais entre cidades-satélites e até mesmo deslocamentos transversais aos grandes eixos viários na região central.

De modo a verificar o efeito do aumento da capilaridade de vias com atendimento de transporte público, por ônibus, em áreas consideradas críticas pelo método ADEM, foi avaliada uma proposta de intervenção que acrescentou uma extensão de 244,11 km (24,07%) à malha de transporte público das áreas analisadas, da qual apenas 23,34 km não têm serviço algum no cenário-base. Assim, a intervenção proposta se resume majoritariamente em ajustes de operação do sistema para que esses itinerários passem a atender a critérios mínimos de regularidade, de maneira que os serviços possam ser considerados regulares no atendimento das necessidades de acesso à oportunidade dos usuários. Como resultado, essa intervenção apresentou diminuição da segregação espacial em relação à disparidade de acessibilidade entre modos de transporte, cujo impacto direto foi em 151 ZAA (aproximadamente 455 mil habitantes), que em razão do aumento no indicador ADI tiveram sua classificação de criticidade ADEM melhorada.

No entanto, entende-se que, para as regiões nas quais a melhoria do indicador não se mostrou tão significativa, deveriam ser estudados outros modelos de atendimento por transporte público, de modo a trazer igualdade de acesso a oportunidades para essas populações.

Assim, considera-se que o estudo de caso atendeu à expectativa inicial de ser um estudo-piloto a fim de identificar potencialidades e restrições de aplicação do método ADEM, o qual é proposto para auxiliar no planejamento de transportes urbanos.

6.3 IMPLICAÇÕES DA DISSERTAÇÃO

O presente estudo vem colaborar com a promoção da discussão do planejamento de acesso a oportunidades no contexto brasileiro, o qual ainda é pouco explorado pelos pesquisadores da área de planejamento de transportes e planejamento urbano. Esta dissertação apresenta um instrumento de avaliação simples, que utiliza dados de fontes públicas, o que possibilita a sua replicabilidade em demais contextos urbanos.

Ainda, no atual contexto dos sistemas de transporte público, por ônibus, relacionados à queda de usuários, à demanda por serviços com melhor qualidade e às discussões acerca da tarifação e financiamento de transportes públicos, a apresentação de um instrumento capaz de avaliar os serviços de transporte público se faz oportuno.

Entende-se que essa dissertação tem potencial também para a contribuição prática, no entanto, ressalta-se que a exploração do método aqui realizada ficou retida à teoria. Assim, espera-se que a ferramenta possa inspirar a instrumentalização da acessibilidade no contexto brasileiro, e, com a validação do método proposto com gestores, planejadores e técnicos da área, esse instrumento possa vir a dar suporte efetivo ao desenvolvimento de planos, projetos e contratos voltados para a promoção do desenvolvimento sustentável da urbes.

6.4 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Para estudos futuros destacam-se os seguintes tópicos com vistas à melhoria e maior robustez do método proposto.

- Recomenda-se que o método seja discutido com planejadores, gestores e técnicos de transporte e urbanismo, a fim de verificar as potencialidades e limitações práticas do método.
- Incentiva-se a aplicação do método ADEM em outros contextos urbanos nacionais e internacionais de modo a comparar os resultados e a aplicabilidade do instrumento de avaliação.
- Para os dados de oportunidades das zonas de análise, sugere-se explorar a utilização de dados indiretos obtidos de outras fontes de dados, em especial, as abertas, para tornar o

método também aplicável a contextos em que não se dispõe de informações georreferenciadas de oportunidades.

- Sugere-se também explorar a potencialidade do método para outras atividades urbanas, como as de lazer, saúde e comércio, de modo a avaliar qualidade de vida da população e a disponibilidade de transporte público para tais atividades.
- Recomenda-se estudar a incorporação de variáveis socioeconômicas da população na matriz de decisão de modo a melhor estratificar os resultados de acessibilidade de cada camada social e melhor nortear a elaboração de políticas públicas.
- Por fim, para o aprimoramento do instrumento, recomenda-se também avaliar inserção de variáveis relativas aos custos de operação do sistema de transporte público e ao dimensionamento de frota, a fim de oportunizar a modelagem econômica das propostas de intervenção e avaliar, em termos financeiros, a viabilidade e os impactos de investimentos de transporte público em projetos orientados ao desenvolvimento da acessibilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHEAMPONG, R. A. & SILVA, E. A. (2015) “Land use–transport interaction modeling: A review of the literature and future research directions”, *Journal of Transport and Land Use*, 8(3), p. 11–38. doi: 10.5198/jtlu.2015.806.
- BIRCH, C. P. D., OOM, S. P. & BEECHAM, J. A. (2007) “Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment and simulation in ecology”, *Ecological Modelling*, 206(3–4), p. 347–359. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2007.03.041.
- BOCAREJO, J. P. & OVIEDO, D. R. (2012) “Transport accessibility and social inequities: a tool for identification of mobility needs and evaluation of transport investments”, *Journal of Transport Geography*. Elsevier Ltd, 24, p. 142–154. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2011.12.004.
- BOISJOLY, G. & EL-GENEIDY, A. M. (2017a) “How to get there? A critical assessment of accessibility objectives and indicators in metropolitan transportation plans”, *Transport Policy*. Elsevier Ltd, 55(December 2016), p. 38–50. doi: 10.1016/j.tranpol.2016.12.011.
- BOISJOLY, G. & EL-GENEIDY, A. M. (2017b) “The insider: A planners’ perspective on accessibility”, *Journal of Transport Geography*, 64(August 2016), p. 33–43. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2017.08.006.
- BOISJOLY, G., SERRA, B., OLIVEIRA, G. T. & EL-GENEIDY, A. (2020) “Accessibility measurements in São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba and Recife, Brazil”, *Journal of Transport Geography*. Elsevier, 82(June 2018), p. 102551. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2019.102551.
- BRASIL (2012) “Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana”. Brasília-DF: Diário Oficial da União.
- BRASIL (2015) “PlanMob: Caderno de referência para Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana”. Brasília: Ministério das Cidades, p. 238.
- BRITO, J. D. de (2009) *De Plano Piloto a metrópole: a mancha urbana de Brasília*. Universidade de Brasília. 244p. Tese (Doutorado). FAU/UnB.
- BURDZIEJ, J. (2019) “Using hexagonal grids and network analysis for spatial accessibility assessment in urban environments- A case study of public amenities in Toruń”, *Miscellanea Geographica*, 23(2), p. 99–110. doi: 10.2478/mgrsd-2018-0037.
- CASCETTA, E., CARTENÌ, A. & MONTANINO, M. (2013) “A New Measure of Accessibility based on Perceived Opportunities”, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. Elsevier B.V., 87, p. 117–132. doi: 10.1016/j.sbspro.2013.10.598.
- CASCETTA, E., CARTENÌ, A. & MONTANINO, M. (2016) “A behavioral model of accessibility based on the number of available opportunities”, *Journal of Transport Geography*. Elsevier Ltd, 51, p. 45–58. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2015.11.002.
- CERVERO, R. & DUNCAN, M. (2006) “Which reduces vehicle travel more: Jobs-housing balance of retail-housing mixing?”, *Journal of the American Planning Association*, 72(4),

p. 475–490. doi: 10.1080/01944360608976767.

CODEPLAN (2020) *Atlas do Distrito Federal*. Codeplan: Brasília-DF.

CUI, B., BOISJOLY, G., MIRANDA-MORENO, L. & EL-GENEIDY, A. (2020) “Accessibility matters: Exploring the determinants of public transport mode share across income groups in Canadian cities”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Elsevier, 80(July 2019), p. 102276. doi: 10.1016/j.trd.2020.102276.

CURTIS, C., ELLDER, E. & SCHEURER, J. (2019) “Public transport accessibility tools matter: A case study of Gothenburg, Sweden”, *Case Studies on Transport Policy*. Elsevier, 7(1), p. 96–107. doi: 10.1016/j.cstp.2018.12.003.

CURTIS, C. & SCHEURER, J. (2007) *Accessibility Measures: Overview and Practical Applications, Impacts of Transit Led Development in a New Rail Corridor*.

CURTIS, C., SCHEURER, J. & MELLOR, R. (2012) “Spatial Network Analysis for Multimodal Urban Transport Systems (SNAMUTS)”, in Hull, A., Silva, C., e Bertolini, L. (orgs.) *Accessibility Instruments for Planning Practice*. COST Office, p. 49–55.

DEBOOSERE, R., EL-GENEIDY, A. M. & LEVINSON, D. (2018) “Accessibility-oriented development”, *Journal of Transport Geography*. Elsevier, 70(May), p. 11–20. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2018.05.015.

DELBOSC, A. & CURRIE, G. (2011) “Using Lorenz curves to assess public transport equity”, *Journal of Transport Geography*. Elsevier Ltd, 19(6), p. 1252–1259. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2011.02.008.

DETRAN-DF (2020) “Frota de veículos do Distrito Federal nos últimos 10 anos”. Detran-DF: Brasília-DF.

DI, Z., YANG, L., QI, J. & GAO, Z. (2018) “Transportation network design for maximizing flow-based accessibility”, *Transportation Research Part B: Methodological*. Elsevier Ltd, 110, p. 209–238. doi: 10.1016/j.trb.2018.02.013.

DONG, X. (2000) *Analysis of Activity-Based Accessibility*. Massachusetts Institute of Technology. 70p. Dissertação (Mestrado). Cambridge. Department of Civil and Environmental Engineering/MIT.

EL-GENEIDY, A., GRIMSRUD, M., WASFI, R., TÉTREAULT, P. & SURPRENANT-LEGAULT, J. (2014) “New evidence on walking distances to transit stops: Identifying redundancies and gaps using variable service areas”, *Transportation*, 41(1), p. 193–210. doi: 10.1007/s11116-013-9508-z.

EL-GENEIDY, A., LEVINSON, D., DIAB, E., BOISJOLY, G., VERBICH, D. & LOONG, C. (2016) “The cost of equity: Assessing transit accessibility and social disparity using total travel cost”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. Elsevier Ltd, 91, p. 302–316. doi: 10.1016/j.tra.2016.07.003.

ESRI (2020) *Why hexagons?* [s.l.]. Disponível em: <<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-statistics/h-whyhexagons.htm>>. Acesso em: 9 ago 2020.

- ESRI (2021) “How Spatial Autocorrelation (Global Moran’s I) works”. [s.l.]. Disponível em: <<https://bit.ly/3wXb0ST>>. Acesso em: 21 jan 2021.
- FRANSEN, K., NEUTENS, T., FARBER, S., DE MAEYER, P., DERUYTER, G. & WITLOX, F. (2015) “Identifying public transport gaps using time-dependent accessibility levels”, *Journal of Transport Geography*. Elsevier B.V., 48, p. 176–187. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2015.09.008.
- GARCIA, C. S. H. F., MACÁRIO, M. do R. M. R., MENEZES, E. D. de A. G. & LOUREIRO, C. F. G. (2018) “Strategic Assessment of Lisbon’s Accessibility and Mobility Problems from an Equity Perspective”, *Networks and Spatial Economics*. Networks and Spatial Economics, 18(2), p. 415–439. doi: 10.1007/s11067-018-9391-4.
- GEURS, K. (2018) *Transport Planning With Accessibility Indices in the Netherlands*. Discussion Paper, International Transport Forum (ITF), Paris.
- GEURS, K. & RITSEMA VAN ECK, J. R. (2001) *Accessibility measures: review and applications*. RIVM report 408505 006. RIVM, Bilthoven, Holanda.
- GEURS, K. & WEE, B. (2004) “Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions”, *Journal of Transport Geography*, 12(2), p. 127–140. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005.
- GIL, A. C. (2002) *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4^o ed. São Paulo: Atlas.
- GIL, A. C. (2017) *Como elaborar projetos de pesquisa*. 6. ed. São Paulo: Atlas.
- HANDY, S. L. & NIEMEIER, D. A. (1997) “Measuring accessibility: An exploration of issues and alternatives”, *Environment and Planning A*, 29(7), p. 1175–1194. doi: 10.1068/a291175.
- HANSEN, W. G. (1959) “How Accessibility Shapes Land Use”, *Journal of the American Planning Association*, 25(2), p. 73–76. doi: 10.1080/01944365908978307.
- HULL, A., PAPA, E., SILVA, C. & JOUTSINIEMI, A. (2012a) “Accessibility Instruments Survey”, in Hull, A., Silva, C., e Bertolini, L. (orgs.) *Accessibility Instruments for Planning Practice*. COST Office, p. 205–237.
- HULL, A., SILVA, C. & BERTOLINI, L. (2012b) *Accessibility Instruments for Planning Practice*. COST Office.
- IBGE (2019) “Estimativas da População”. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/df/brasil.html>>. Acesso em: 1 nov. 2020.
- IBGE (2020) *Panorâma: Brasília, Cidades@*. Available at: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/df/brasil/panorama> (Acessado: 1 de novembro de 2020).
- IBGE (2020) *Panorâma: Brasília, Cidades@*. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/df/brasil/panorama>>. Acesso em: 1 nov. 2020.
- KAMRUZZAMAN, M., BAKER, D., WASHINGTON, S. & TURRELL, G. (2014) “Advance

- transit oriented development typology: Case study in brisbane, australia”, *Journal of Transport Geography*. Elsevier Ltd, 34, p. 54–70. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2013.11.002.
- KAROU, S. & HULL, A. (2014) “Accessibility modelling: Predicting the impact of planned transport infrastructure on accessibility patterns in Edinburgh, UK”, *Journal of Transport Geography*. Elsevier Ltd, 35, p. 1–11. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2014.01.002.
- KIM, H. & SULTANA, S. (2015) “The impacts of high-speed rail extensions on accessibility and spatial equity changes in South Korea from 2004 to 2018”, *Journal of Transport Geography*. Elsevier Ltd, 45(2015), p. 48–61. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2015.04.007.
- KITAMURA, R. & MOKHTARIAN, P. L. (1997) “A micro-analysis of land use and travel in five neighborhoods in the San Impacts of travel-based multitasking on mode choice and value of time View project Travel satisfaction View project”, *Transportation*, 24, p. 125–158. doi: 10.1023/A:1017959825565.
- KWOK, R. C. W. & YEH, A. G. O. (2004) “The use of modal accessibility gap as an indicator for sustainable transport development”, *Environment and Planning A*, 36(5), p. 921–936. doi: 10.1068/a3673.
- LITMAN, T. (2019) *Evaluating Accessibility for Transport Planning: Measuring People’s Ability to Reach Desired Goods and Activities*. Victoria, Canada.
- MARTÍNEZ, L. M. (2006) *TAZ Delineation and Information Loss in Transportation Planning Studies*. Universidade Técnica de Lisboa.
- MARTINS, A. de A. C. & NETO, V. C. L. (2015) “Dependência Do Automóvel, Planejamento Urbano E a Cidade De Brasília”, *Texto para discussão 2163*. Rio de Janeiro: Ipea, p. 34.
- MAVOA, S., WITTEN, K., MCCREANOR, T. & O’SULLIVAN, D. (2012) “GIS based destination accessibility via public transit and walking in Auckland, New Zealand”, *Journal of Transport Geography*. Elsevier Ltd, 20(1), p. 15–22. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2011.10.001.
- MENEZES, E. D. A. G. (2015) *Metodologia para avaliação estratégica da problemática da acessibilidade sob o princípio da equidade*. Fortaleza. Dissertação (Mestrado). UFC.
- METRÔ-DF (2017) *PET-3A – Relatório das Matrizes de Viagens e da Rede Analítica - Diagnostico*. Metrô-DF: Brasília-DF.
- NASSIR, N., HICKMAN, M., MALEKZADEH, A. & IRANNEZHAD, E. (2016) “A utility-based travel impedance measure for public transit network accessibility”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. Elsevier Ltd, 88, p. 26–39. doi: 10.1016/j.tra.2016.03.007.
- NIELSEN, T. S. & NÆSS, P. (2012) “Activity based indicators of connections and access needs (ABICA)”, in Hull, A., Silva, C., e Bertolini, L. (orgs.) *Accessibility Instruments for Planning Practice*. COST Office, p. 71–75.
- NTU (2019) *Anuário NTU 2018-2019*. Disponível em: <<https://www.ntu.org.br/novo/upload/Publicacao/Pub637020043450950070.pdf>>. Acesso em: 1 nov. 2020.

- ORTÚZAR, J. de D. & WILLUMSEN, L. G. (2011) *Modelos de Transporte*. 1ª Ed. traduzida. Santander: Universidad de Cantabria.
- PAPA, E. & BERTOLINI, L. (2015) “Accessibility and Transit-Oriented Development in European metropolitan areas”, *Journal of Transport Geography*. Elsevier Ltd, 47, p. 70–83. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2015.07.003.
- PAPA, E., TE BRÖMMELSTROET, M., SILVA, C. & HULL, A. (2016) “Accessibility instruments for planning practice: A review of European experiences”, *Journal of Transport and Land Use*, 9(3), p. 57–75. doi: 10.5198/jtlu.2015.585.
- PAPA, E. & COPPOLA, P. (2012) “Gravity-Based Accessibility measures for Integrated Transport-land Use Planning (GraBAM)”, in Hull, A., Silva, C., e Bertolini, L. (orgs.) *Accessibility Instruments for Planning Practice*. COST Office, p. 117–124.
- PEREIRA, R. H. M., BRAGA, C. K. V., SERRA, B. & NADALIN, V. G. (2020) “Desigualdades socioespaciais de acesso a oportunidades nas cidades brasileiras”. IPEA: Brasília-DF.
- RAIA JR, A. A. (2000) *Acessibilidade e Mobilidade na Estimativa de um Índice de Potencialde Viagens Utilizando Redes Neurais Artificiais e Sistema de Informações Geográfica*. São Carlos. 212p. Tese (Doutorado). EESC/USP.
- RAMM, F. (2020) “OpenStreetMap Data in Layered GIS Format - Version 0.7.9”. [s.l.]. Disponível em: <<https://bit.ly/3ljGCvz>>. Acesso em: 28 nov. 2020., p. 1–29.
- RODRIGUE, J.-P. (2017) “Urban Transport Challenges”, in *The Geography of Transport Systems*. 4th ed. New York: Routledge.
- SAKAI, K. (2020) “Public transport promotion and mobility-as-a-service”, *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, E103A(1), p. 226–230. doi: 10.1587/transfun.2019TISI0001.
- SEMOB (2019) *Relatório de atividades: 2019*. SEMOB: Brasília-DF.
- SILVA, A. R. (2006) *Avaliação de modelos de regressão espacial para análise de cenários do transporte rodoviário de cargas*. Brasília. 125p. Dissertação (Mestrado). ENC/FT/UnB.
- SILVA, C. (2012) “Structural Accessibility Layer (SAL)”, in Hull, A., Silva, C., e Bertolini, L. (orgs.) *Accessibility Instruments for Planning Practice*. COST Office, p. 145–151.
- SLOVIC, A. D., TOMASIELLO, D. B., GIANNOTTI, M., ANDRADE, M. de F. & NARDOCCI, A. C. (2019) “The long road to achieving equity: Job accessibility restrictions and overlapping inequalities in the city of São Paulo”, *Journal of Transport Geography*. Elsevier, 78(March), p. 181–193. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2019.06.003.
- STEWART, A. (2017) *Advancing Accessibility: Public Transport and Urban Space*. Massachusetts Institute of Technology. 220p. Tese (Doutorado). Cambridge. Department of Civil and Environmental Engineering/MIT.
- TOMASIELLO, D. B., GIANNOTTI, M., ARBEX, R. & DAVIS, C. (2019) “Multi-temporal transport network models for accessibility studies”, *Transactions in GIS*, 23(2), p. 203–

223. doi: 10.1111/tgis.12513.

TOMTOM (2020) *Brasilia traffic*. [s.l.]. Disponível em: <https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/brasilia-traffic/>. Acesso em: 8 nov. 2020.

YANG, L., CHAU, K. W., SZETO, W. Y., CUI, X. & WANG, X. (2020) “Accessibility to transit, by transit, and property prices: Spatially varying relationships”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Elsevier, 85(June), p. 102387. doi: 10.1016/j.trd.2020.102387.

APÊNDICE 1

Tabela A.1: Resumo das características operacionais das linhas de transporte público por ônibus selecionadas no DF

Linha	Viagens Pico (7:15 a 8:15)	Viagens Entre pico (9:30 a 10:30)	Tempo de viagem médio (min)	Extensão (km)	Velocidade média (km/h)
2202	6	6	47	30,10	38,43
2301	7	2	41	27,91	40,84
2302	7	7	44	28,00	38,18
3201	6	4	53	18,83	21,32
3202	6	6	50	14,14	16,97
3206	6	4	60	20,18	20,18
3301	7	4	63	20,73	19,74
3303	4	5	67	28,59	25,60
3306	3	3	40	16,28	24,42
0.007	8	6	120	46,21	23,11
0.016	6	3	65	23,70	21,88
0.031	4	4	95	35,63	22,50
0.032	5	4	95	36,34	22,95
0.039	4	4	192	62,78	19,62
0.050	4	6	126	52,03	24,78
0.053	4	4	120	42,88	21,44
0.054	4	2	103	35,31	20,57
0.092	4	4	112	44,58	23,88
0.107	5	4	51	20,50	24,12
0.109	7	7	50	13,90	16,68
0.110	13	2	38	12,20	19,26
0.111	4	3	49	40,60	49,71
0.116	10	7	50	16,04	19,25
0.128	3	3	86	35,70	24,91
0.129	4	2	83	51,32	37,10
0.143	3	4	95	41,32	26,10
0.151	3	3	67	29,00	25,97
0.152	3	2	83	29,96	21,66
0.162	4	2	60	26,36	26,36
0.175	3	2	71	32,77	27,69
0.255	4	2	98	46,04	28,19
0.256	3	2	90	46,70	31,13
0.305	4	4	68	23,22	20,49
0.358	4	6	75	18,56	14,85
0.367	6	4	110	46,95	25,61
0.368	10	10	117	40,98	21,02
0.377	4	8	83	37,15	26,86
0.380	3	2	89	40,35	27,20

0.383	3	3	90	38,66	25,77
0.393	4	2	114	39,59	20,84
0.401	4	2	180	95,85	31,95
0.406	4	4	46	11,07	14,44
0.501	3	2	76	34,95	27,59
0.513	8	4	81	35,87	26,57
0.517	3	2	93	37,12	23,95
0.783	6	4	120	72,27	36,14
0.805	4	4	151	53,83	21,39
0.809	5	2	69	35,40	30,78
0.886	4	4	83	27,76	20,07
0.898	4	2	130	59,00	27,23
0.927	3	3	83	22,43	16,21
0.929	4	4	96	27,29	17,06
0.946	4	2	90	33,73	22,49
056.2	4	2	132	65,43	29,74
066.5	3	2	46	14,31	18,67
067.3	3	3	66	19,64	17,85
100.2	4	4	79	46,44	35,27
100.3	8	4	85	40,04	28,26
124.6	4	4	90	39,50	26,33
136.6	3	2	61	23,15	22,77
136.7	3	2	60	24,56	24,56
141.6	8	6	60	19,84	19,84
147.2	4	3	70	38,70	33,17
147.5	4	5	76	37,74	29,79
152.2	4	3	88	32,31	22,03
154.2	3	2	50	22,15	26,58
156.1	3	2	80	32,15	24,11
157.8	4	4	87	33,95	23,41
158.1	5	5	127	49,24	23,26
162.1	3	3	103	47,70	27,79
180.1	6	6	60	27,70	27,70
180.2	4	3	40	19,60	29,40
181.2	4	4	120	60,00	30,00
197.3	3	4	57	29,80	31,37
205.1	3	3	107	46,55	26,10
251.7	3	3	50	22,20	26,64
332.1	4	2	170	62,48	22,05
333.1	3	2	134	40,63	18,19
337.1	4	2	83	37,61	27,19
351.3	4	2	123	51,30	25,02
359.2	4	4	168	54,61	19,50
366.1	4	4	70	28,06	24,05
367.2	4	4	115	46,15	24,08

393.4	4	4	117	39,74	20,38
406.1	3	2	50	13,65	16,38
501.3	3	3	86	37,70	26,30
600.7	4	3	100	50,84	30,50
601.1	4	5	46	12,68	16,54
601.2	4	5	46	12,24	15,97
601.5	4	4	30	8,39	16,78
601.6	4	4	30	8,72	17,44
620.1	4	3	77	43,16	33,63
640.2	4	3	96	51,55	32,22
805.1	4	2	110	41,28	22,52
805.9	4	2	130	43,49	20,07
806.1	3	2	38	16,66	26,31
807.8	3	3	46	15,24	19,88
807.9	3	2	39	11,50	17,69
928.2	4	3	54	21,46	23,84
929.2	3	3	36	12,14	20,23
933.1	6	4	86	26,48	18,47
933.2	3	3	80	32,89	24,67
933.4	4	4	85	17,75	12,53
933.5	3	2	100	42,94	25,76
963.1	4	2	71	36,89	31,17
Média	4,38	3,50	83,03	34,00	24,54

Fonte: elaboração própria com dados da SEMOB (2020) e DFnoPonto (2020).

APÊNDICE 2

SISTEMA VIÁRIO ÚNICO (SVU)

- **Link** para **download:**
<<https://drive.google.com/drive/folders/1pXwXxBQKfY479OGQMkLnLvCJeCeXRij>
I?usp=sharing>.
- **Formato do arquivo:** shapefile (.shp)
- **Tamanho do arquivo:** 126 MB, 5 arquivos.

Descrição das variáveis:

Variável	Descrição
OBJECTID	Identificador do objeto
osm_id	Identificador do OpenStreetMap
code	Código de feição (OSM)
fclass	Categoria de feição (OSM)
name	Nome da feição (OSM)
ref	Referência (OSM)
oneway	Via com sentido único ou duplo
maxspeed	Velocidade máxima regulamentada em km/h (OSM)
Lenght (km)	Comprimento da feição
Tmin_FF	Tempo de viagem em minutos em Fluxo Livre
Tmin_J21	Tempo de viagem em minutos com taxa de congestionamento de 21%
Tmin_J57	Tempo de viagem em minutos com taxa de congestionamento de 57%
Tmin_Walk	Tempo de caminhada em minutos
PuT	Atendimento da feição por Transporte Público no cenário base
SpeedDFNP	Velocidade média de Transporte Público
Tmin_DFNP	Tempo de viagem em minutos de Transporte Público
Interven	Feição selecionada para o cenário de proposta de intervenção
Tmin_Inter	Tempo de viagem em minutos de Transporte Público no cenário de intervenção

APÊNDICE 3

ZONAS DE ANÁLISE DE ACESSIBILIDADE (SUS)

- **Link** para **download:**
<<https://drive.google.com/drive/folders/16cFAkIzEJ4u824efVq6QQII-SiFaXjSQ?usp=sharing>>.
- **Formato do arquivo:** shapefile (.shp)
- **Tamanho do arquivo:** 11,9 MB, 7 arquivos.

Descrição das variáveis:

Variável	Descrição
OBJECTID 1	Identificador do objeto
RA Nome	Nome da Região Administrativa
Zona OD	Zona da Matriz Origem-Destino de 2016
Pop Tot	Total população residente
N Oportuni	Número de oportunidades disponíveis na zona (trabalho e estudo)
Acc_FF	Acessibilidade potencial gravitacional no cenário de Fluxo Livre
Acc_J21	Acessibilidade potencial gravitacional no cenário de congestionamento médio (21%)
Acc_J57	Acessibilidade potencial gravitacional no cenário de congestionamento crítico (57%)
Acc_PuT	Acessibilidade potencial gravitacional no cenário base por Transporte Público
ADI_FF	Indicador ADI para o cenário base de Fluxo Livre
ADI_J21	Indicador ADI para o cenário base de congestionamento médio (21%)
ADI_J57	Indicador ADI para o cenário base de congestionamento médio (257%)
Atende PuT	Zonas que possuem atendimento por Transporte Público no cenário base
Fx_ADIFF	Faixa ADI para o cenário de base de Fluxo Livre
Fx_ADIJ21	Faixa ADI para o cenário de base de congestionamento médio (21%)
Fx_ADI57	Faixa ADI para o cenário de base de congestionamento médio (57%)
Mtx_FF	Classificação de criticidade da Matriz de Decisão ADEM no cenário base de Fluxo Livre
Mtx_J21	Classificação de criticidade da Matriz de Decisão ADEM no cenário base de congestionamento médio (21%)
Mtx_J57	Classificação de criticidade da Matriz de Decisão ADEM no cenário base de congestionamento médio (57%)
Intervencao	Zonas com atendimento de TP no cenário de intervenção
Acc_IPuT	Acessibilidade potencial gravitacional no cenário de intervenção por Transporte Público
ADIFF_IPuT	Indicador ADI para o cenário de intervenção de Fluxo Livre
ADIJ21_IPu	Indicador ADI para o cenário de intervenção de congestionamento médio (21%)
ADIJ57_IPu	Indicador ADI para o cenário intervenção de congestionamento médio (257%)

Fx_ADIFF_I	Faixa ADI para o cenário de intervenção de Fluxo Livre
Fx_ADIJ21_I	Faixa ADI para o cenário de intervenção de congestionamento médio (21%)
Fx_ADI57_I	Faixa ADI para o cenário de intervenção de congestionamento médio (57%)
Mtx_FF_IPuT	Classificação de criticidade da Matriz de Decisão ADEM no cenário de intervenção de Fluxo Livre
Mtx_J21_IPuT	Classificação de criticidade da Matriz de Decisão ADEM no cenário de intervenção de congestionamento médio (21%)
Mtx_J57_IPuT	Classificação de criticidade da Matriz de Decisão ADEM no cenário de intervenção de congestionamento médio (57%)