



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES**

MATEUS FELIPE MARQUES DE OLIVEIRA

**PROPOSTA METODOLÓGICA DE ANÁLISE DA RELAÇÃO CAUSAL ENTRE
ACESSIBILIDADE E PARTICIPAÇÃO EM ATIVIDADES SOB A ÓTICA DA
EXCLUSÃO SOCIAL RELACIONADA A TRANSPORTES**

**FORTALEZA
2025**

MATEUS FELIPE MARQUES DE OLIVEIRA

PROPOSTA METODOLÓGICA DE ANÁLISE DA RELAÇÃO CAUSAL ENTRE
ACESSIBILIDADE E PARTICIPAÇÃO EM ATIVIDADES SOB A ÓTICA DA EXCLUSÃO
SOCIAL RELACIONADA A TRANSPORTES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes. Área de concentração: Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Felipe Grangeiro Loureiro.

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

O48p Oliveira, Mateus Felipe Marques de.

Proposta metodológica de análise da relação causal entre acessibilidade e participação em atividades sob a ótica da exclusão social relacionada a transportes / Mateus Felipe Marques de Oliveira. – 2025.
107 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Fortaleza, 2025.
Orientação: Prof. Dr. Carlos Felipe Grangeiro Loureiro.

1. Acessibilidade Urbana. 2. Participação em Atividades. 3. Exclusão Social Relacionada a Transportes.
4. Inferência Causal. 5. Modelos de Equações Estruturais. I. Título.

CDD 388

MATEUS FELIPE MARQUES DE OLIVEIRA

PROPOSTA METODOLÓGICA DE ANÁLISE DA RELAÇÃO CAUSAL ENTRE
ACESSIBILIDADE E PARTICIPAÇÃO EM ATIVIDADES SOB A ÓTICA DA EXCLUSÃO
SOCIAL RELACIONADA A TRANSPORTES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes. Área de concentração: Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes.

Aprovada em: 26/02/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Felipe Grangeiro Loureiro (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Moraes de Oliveira Neto
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Diego Bogado Tomasiello
Universidade de São Paulo (USP)

À minha avó (*in memoriam*), Lúcia Marques
Silva.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conduzir em cada etapa, caminho e processo; e estar comigo nos momentos de empolgação e alegria, mas também nos momentos de dúvida e frustração. Sem Ele nada disso teria sido possível.

À Eloina, minha amada esposa, por ser a base da nossa família; por ter deixado para trás sua terra natal e ter embarcado comigo nessa incrível jornada. Essa conquista é nossa, obrigado por todo apoio e incentivo; por ser ouvido, abraço, força e conselho.

Ao meu orientador, professor Felipe Loureiro – um verdadeiro mestre (no sentido mais literal da palavra) – por me provocar a pensar para além das respostas rápidas e intuitivas; e por aumentar a minha fome, muito além de facas e queijos.

Aos meus pais, Marta e Vanilson, pela educação que me proporcionaram e pela qual sempre zelaram. Obrigado pelo esforço de vocês em me forjar para que eu desse o meu melhor em toda e qualquer situação, não me contentando com o mínimo suficiente.

Aos meus professores do ensino médio e da graduação, por sempre acreditarem no meu potencial e serem verdadeiros mentores na minha trajetória. Seu exemplo, dedicação e paixão por transmitir o conhecimento sempre me inspiraram e impactaram – essa inspiração me fez aspirar coisas cada vez maiores; bem como perceber que nenhum sonho é grande demais.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

RESUMO

A atual realidade de grande parte das cidades na América Latina é marcada por um cenário de segregação socioespacial de grupos desfavorecidos, o que, por conseguinte, impede que esses participem da vida social de suas comunidades devido, notadamente, a uma acessibilidade reduzida ou mesmo inexistente às oportunidades, caracterizando um cenário de risco de exclusão social relacionada a transportes. Nesse contexto, a relação causal entre acessibilidade e participação em atividades se apresenta como imprescindível na compreensão da referida tipologia de exclusão social. No entanto, a literatura não é consensual quanto ao efeito da acessibilidade sobre o nível de participação em atividades dos indivíduos, o que, por sua vez, pode se dar devido a lacunas na formulação dos modelos propostos; estando essas associadas, notadamente, a não consideração da acessibilidade em seus quatro componentes (temporal, individual, locacional e infraestrutural), tornando-os suscetíveis a erros devido a fontes de endogeneidade, e, consequentemente, limitando sua capacidade de identificação de relações de causalidade. Diante disso, o objetivo geral desta pesquisa de mestrado consistiu em desenvolver uma proposta metodológica que permitisse analisar, sob a ótica da exclusão social relacionada a transportes, a relação causal entre acessibilidade e participação em atividades, no nível do indivíduo, utilizando dados observacionais, bem como o arcabouço teórico da Inferência Causal, aplicado a Modelos de Equações Estruturais. Nesse aspecto, o trabalho contribui metodologicamente à discussão através da incorporação da acessibilidade em seus quatro componentes, identificando, à luz da inferência causal, as possíveis fontes de viés atreladas à relação causal de interesse, assim como pela consideração do efeito moderador que o gênero do indivíduo exerce sobre as relações investigadas. Ademais, por meio da consolidação de uma representação conceitual dos determinantes do processo decisório, da estruturação das relações de causalidade inerentes à participação do indivíduo em atividades, sob a perspectiva do risco de exclusão social relacionada a transportes, bem como da aplicação da proposta metodológica desenvolvida no contexto de indivíduos de baixa renda em Fortaleza, o trabalho contribui fenomenologicamente à compreensão da problemática estabelecida.

Palavras-chave: acessibilidade urbana; participação em atividades; exclusão social relacionada a transportes; inferência causal; modelos de equações estruturais.

ABSTRACT

The current reality of many cities in Latin America is characterized by a scenario of socio-spatial segregation of disadvantaged groups, which, consequently, prevents them from participating in the social life of their communities due to, notably, reduced or even nonexistent accessibility to opportunities, creating a risk of transport-related social exclusion. In this context, the causal relationship between accessibility and activity participation is crucial to understanding this type of social exclusion. However, the literature is not unanimous regarding the effect of accessibility on the level of individual participation in activities, which may be due to gaps in the formulation of proposed models; notably associated with the failure to consider accessibility in its four components, making them prone to errors due to sources of endogeneity, and consequently limiting their ability to identify causal relationships. In light of this, the main objective of this master's research was to develop a methodological proposal that would allow the analysis, from the perspective of transport-related social exclusion, of the causal relationship between accessibility and activity participation at the individual level, using observational data as well as the theoretical framework of Causal Inference, applied to Structural Equation Models. In this regard, the study contributes methodologically to the discussion by incorporating accessibility in its four components, identifying, in light of causal inference, the potential sources of bias linked to the causal relationship of interest, as well as considering the moderating effect that an individual's gender has on the investigated relationships. Furthermore, by consolidating a conceptual framework of the determinants influencing the decision-making process, as well as structuring the causal relationships underlying an individual's participation in activities from the perspective of transport-related social exclusion, and by applying the methodological proposal developed in the context of low-income individuals in Fortaleza, the study provides a phenomenological contribution to a deeper understanding of the issue at hand.

Keywords: urban accessibility; participation in activities; transport-related social exclusion; causal inference; structural equation models.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relação entre pobreza de transporte, inacessibilidade e exclusão social	15
Figura 2 – Estrutura da dissertação	20
Figura 3 – Representação das interrelações entre os componentes da acessibilidade	21
Figura 4 – Relação entre decisões de atividades e participação em atividades	22
Figura 5 – Prisma espaço-temporal	24
Figura 6 – Seções transversais do prisma espaço-temporal por modo de transporte	26
Figura 7 – Relações entre características individuais, forma urbana e participação em atividades	27
Figura 8 – Modelo conceitual do padrão de atividades de um indivíduo	28
Figura 9 – Modelo conceitual associado à elaboração de um plano de viagens	29
Figura 10 – Representação conceitual dos determinantes da demanda por transportes	30
Figura 11 – Efeito das decisões de viagem sobre as decisões de atividade	32
Figura 12 – Representação conceitual dos determinantes das decisões de atividades do indivíduo	33
Figura 13 – Dimensões da exclusão social relacionada a transportes	34
Figura 14 – Relação retroalimentada entre níveis de motorização e padrões de uso do solo	40
Figura 15 – Oportunidade de interação entre indivíduos	44
Figura 16 – Mapa mental das relações de causalidade entre acessibilidade e participação em atividades	46
Figura 17 – Diagrama causal ilustrativo dos caminhos de <i>front-door</i>	50
Figura 18 – Diagrama causal ilustrativo dos caminhos de <i>back-door</i>	50
Figura 19 – Caminhos de front-door e back-door na relação entre acessibilidade e demanda por atividades	51
Figura 20 – Representação da estratégia baseada em uma variável instrumental	66

Figura 21 – Etapas metodológicas atreladas à investigação do efeito causal de interesse	71
Figura 22 – Diagrama causal ilustrativo	72
Figura 23 – Diagrama causal da relação entre acessibilidade e participação em atividades	73
Figura 24 – Influência do tempo de deslocamento sobre a participação em atividades	75
Figura 25 – Explicitação do efeito moderador atrelado à variável gênero	76
Figura 26 – Classificação das variáveis latentes	80
Figura 27 – Fluxograma de estimação dos modelos de equações estruturais	82
Figura 28 – Divisão das regiões de Fortaleza	86
Figura 29 – Coeficientes a serem estimados	89
Figura 30 – Modelo SEM estimado para os dois estratos considerados	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Síntese da análise do trabalho de Wermuth (1982)	54
Tabela 2 – Síntese da análise do trabalho de Golob (2000)	56
Tabela 3 – Síntese da análise do trabalho de Zhang (2005)	58
Tabela 4 – Síntese da análise do trabalho de Bhat <i>et al.</i> (2013)	60
Tabela 5 – Síntese da análise do trabalho de Merlin (2015)	62
Tabela 6 – Síntese da análise do trabalho de Fransen <i>et al.</i> (2018)	63
Tabela 7 – Síntese da análise do trabalho de Allen e Farber (2020)	65
Tabela 8 – Síntese da análise do trabalho de Luz <i>et al.</i> (2022)	67
Tabela 9 – Incorporação das variáveis de controle e do caminho de <i>front-door</i> nos trabalhos revisados	68
Tabela 10 – Testes de dependência e independência	78
Tabela 11 – Teste de hipótese relativo ao poder explicativo do mecanismo causal	82
Tabela 12 – Composição das variáveis latentes reflexivas	90
Tabela 13 – Teste qui-quadrado para os modelos estimados	93
Tabela 14 – Métricas de aderência para os modelos estimados	94
Tabela 15 – Estimativas padronizadas do modelo estrutural	94
Tabela 16 – Estimativas padronizadas do modelo de medição	95

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Contextualização	14
1.2	Questões de pesquisa	16
1.3	Objetivos da pesquisa	18
1.4	Estrutura da dissertação	19
2	RELAÇÕES DE CAUSALIDADE ENTRE OS COMPONENTES DA ACESSIBILIDADE E A PARTICIPAÇÃO EM ATIVIDADES	21
2.1	Introdução	21
2.2	Influência da acessibilidade na participação em atividades	23
2.3	Representação conceitual dos determinantes das decisões de atividade	27
2.4	Estruturação das relações de causalidade entre os componentes da acessibilidade e a participação em atividades	33
2.4.1	<i>Dimensões da exclusão social relacionada a transportes</i>	34
2.4.2	<i>Relações de causalidade entre restrições individuais e participação em atividades</i>	37
2.4.3	<i>Relações de causalidade entre os subsistemas de uso do solo e transportes e a participação em atividades</i>	42
2.4.4	<i>Mapa mental das relações de causalidade</i>	44
2.5	Considerações finais	47
3	ANÁLISE CRÍTICA DOS ESFORÇOS DE INVESTIGAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE ACESSIBILIDADE E PARTICIPAÇÃO EM ATIVIDADES	48
3.1	Introdução	48
3.2	Identificação de efeitos causais atrelados à relação entre acessibilidade e participação em atividades	49
3.3	Revisão dos esforços de investigação da relação entre acessibilidade e participação em atividades sob a perspectiva da inferência causal	52
3.3.1	<i>Wermuth (1982)</i>	53
3.3.2	<i>Golob (2000)</i>	55
3.3.3	<i>Zhang (2005)</i>	56
3.3.4	<i>Bhat et al. (2013)</i>	58

3.3.5	<i>Merlin (2015)</i>	60
3.3.6	<i>Fransen et al. (2018)</i>	62
3.3.7	<i>Allen e Farber (2020)</i>	63
3.3.8	<i>Luz et al. (2022)</i>	65
3.3.9	<i>Síntese dos resultados</i>	67
3.4	Considerações finais	68
4	PROPOSTA METODOLÓGICA	70
4.1	Introdução	70
4.2	Construção do diagrama causal	71
4.3	Caracterização das associações	77
4.4	Formulação dos modelos estatísticos	79
4.5	Estimação dos modelos de equações estruturais	81
4.6	Considerações finais	83
5	APLICAÇÃO: ANÁLISE DO RISCO DE EXCLUSÃO SOCIAL RELACIONADA A TRANSPORTES DA POPULAÇÃO DE BAIXA RENDAM FORTALEZA	85
5.1	Contextualização da problemática	85
5.2	Dados da aplicação	86
5.3	Aplicação da proposta metodológica	87
5.3.1	<i>Especificação das equações estruturais</i>	88
5.3.2	<i>Especificação das variáveis latentes</i>	89
5.3.3	<i>Método de estimação adotado</i>	92
5.3.4	<i>Discussão fenomenológica acerca dos resultados da estimação</i>	95
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	99
6.1	Contribuições metodológicas	99
6.2	Contribuições fenomenológicas	100
6.3	Limitações e recomendações para trabalhos futuros	101
	REFERÊNCIAS	102

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O processo de urbanização brasileiro, notadamente nas últimas décadas, deu-se de forma intensa. Dados publicados pela Organização das Nações Unidas (ONU) apontam que 87% da população brasileira reside em áreas urbanas (ONU, 2018). No entanto, apesar de uma aparente evolução urbana na grande maioria das cidades brasileiras, observa-se uma realidade marcada pela expansão das periferias urbanas, com consequente segregação espacial de grupos desfavorecidos, caracterizadas pelos baixos níveis de acesso a bens, serviços e atividades, e maior exposição à violência (Maricato, 2003).

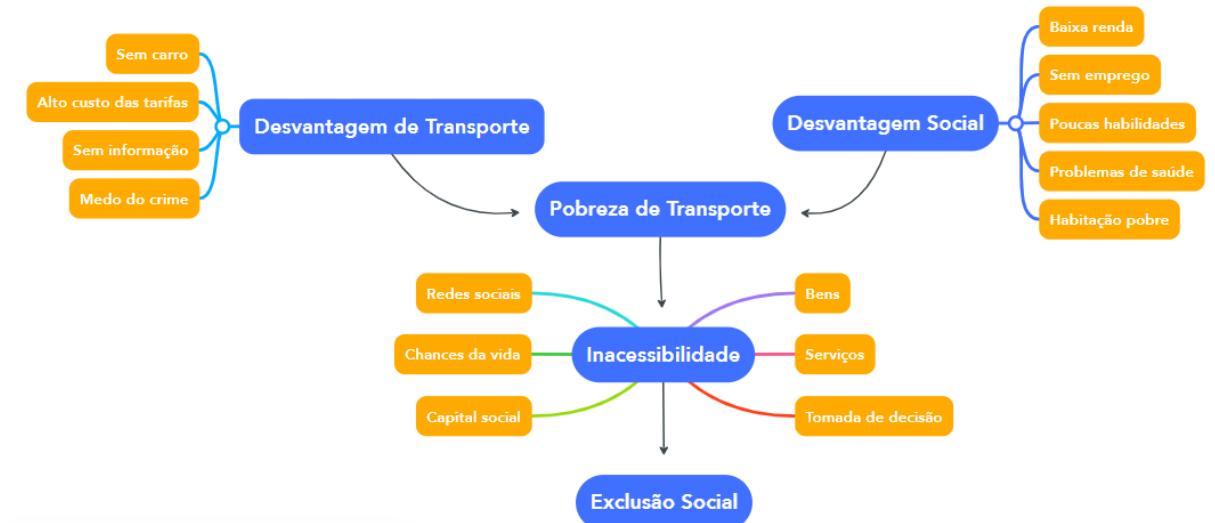
Ademais, a população de baixa renda, que reside nas periferias das grandes cidades, apresenta menor acessibilidade a oportunidades de emprego formal, visto que esses se concentram em regiões mais centrais; o que, por sua vez, resulta em maiores tempos de deslocamento do tipo casa-trabalho (Pinto *et al.*, 2023), intensificando a monofuncionalidade residencial característica das periferias urbanas (Andrade *et al.*, 2020) e, consequentemente, contribuindo para um distanciamento cada vez maior, em termos de qualidade de vida, entre grupos socioeconômicos distintos (Vasconcellos, 2018). Além disso, em economias emergentes, tal como o Brasil, as regiões periféricas são marcadas por uma elevada incidência de empregos informais, caracterizados por menores remunerações, dificuldades de acesso a crédito e ausência de direitos trabalhistas (Moreno-Monroy; Ramos, 2021), bem como por um serviço de transporte público inadequado, com consequências diretas sobre a população de baixa renda, materializadas na não realização de viagens e, consequentemente, na não participação em atividades (Boisjoly *et al.*, 2020).

Para Pinto *et al.* (2023), esse cenário de desigualdades socioespaciais que se manifesta no espaço urbano pode resultar em padrões de mobilidade associados a externalidades de ordem econômica, ambiental e social. Podendo esta última se manifestar na forma de exclusão social (Lucas, 2012), que ocorre quando um indivíduo, apesar de seu desejo, não consegue, por motivos que estão além de seu controle, participar das atividades inerentes à sociedade em que reside geograficamente (Burchardt; Le Grand; Piachaud, 1999); sejam essas de cunho político, econômico, cultural ou social, e que estão disponíveis à maioria das pessoas desta sociedade (Levitas *et al.*, 2007). De acordo com a ONU, a exclusão social está associada não apenas à renúncia da contribuição de indivíduos com impossibilidade de acesso a oportunidades de emprego, saúde e educação, como também a

questões de segurança, visto estar relacionada a diversos conflitos violentos (ONU, 2016), afetando tanto a qualidade de vida quanto a coesão da sociedade como um todo (Levitas *et al.*, 2007).

Esse fenômeno pode ser compreendido através do conceito de pobreza de transporte (Lucas, 2012), no qual atributos associados ao subsistema de transportes, somados a características socioeconômicas dos indivíduos, interagem direta e indiretamente causando um cenário de mobilidade insuficiente; que, por sua vez, pode promover inacessibilidade a bens e serviços essenciais e, consequentemente, está atrelado a um cenário de exclusão social (Figura 1).

Figura 1: Relação entre pobreza de transporte, inacessibilidade e exclusão social.



Fonte: Adaptado de Lucas (2012).

As relações explicitadas na Figura 1 evocam uma perspectiva diferente sobre o fenômeno da exclusão social, revelando uma de suas facetas: a Exclusão Social Relacionada a Transportes (ESRT). Esta tipologia de exclusão social pode ser entendida como o processo pelo qual as pessoas são impedidas de participar da vida social de uma comunidade, em todas as suas nuances, em decorrência de uma acessibilidade reduzida ou mesmo inexistente às oportunidades, devido total ou parcialmente a uma mobilidade insuficiente (Kenyon; Lyons; Rafferty, 2002).

Nesse sentido, o fenômeno da ESRT não se dá pela ausência de oportunidades, e sim pela inacessibilidade a estas (Preston; Rajé, 2007), não estando associado à falta de recursos disponíveis a um indivíduo e sim a sua não participação na sociedade (Jeekel; Martens, 2017) devido a níveis insuficientes de acesso às oportunidades. Estes, por sua vez, podem estar associados à problemas de transporte, tendo em vista que o referido subsistema deve viabilizar não apenas o deslocamento das pessoas, como também a sua participação nas

atividades que desejam realizar. Além disso, como argumentado por Luz e Portugal (2022), a referida inacessibilidade pode ser influenciada por características individuais e padrões de uso do solo.

Nesse contexto, Jeekel e Martens (2017) afirmam que indivíduos que apresentam níveis insuficientes de acessibilidade a oportunidades essenciais (tais como educação e emprego), com impacto significativo em suas vidas, caracterizam um cenário de ESRT - que se manifesta em aspectos como desemprego, deterioração da saúde ou mesmo isolamento social (Urry, 2004). Dessa forma, argumenta-se que o risco de ESRT associa-se à realização de atividades não mandatórias (discricionárias ou de manutenção), enquanto a exclusão propriamente dita manifesta-se na inacessibilidade a atividades de teor mandatório. Outrossim, há evidências para afirmar que esta tipologia de exclusão social afeta desproporcionalmente diferentes grupos socioeconômicos (Luz; Portugal, 2022), sendo um reflexo direto das desigualdades socioespaciais presentes no território urbano.

1.2 Questões de pesquisa

Na perspectiva da Exclusão Social Relacionada a Transportes (ESRT), a acessibilidade representa um indicador essencial na identificação do número de oportunidades disponíveis aos indivíduos, sendo entendida como a habilidade destes em não apenas alcançarem, mas efetivamente participarem das atividades normais à sociedade (Social Exclusion Unit, 2003). No entanto, pela diversidade de resultados encontrados na literatura acerca da relação entre acessibilidade e participação em atividades (mandatórias e não mandatórias) - entendendo que, dado o fenômeno investigado, a referida participação pressupõe a necessidade de deslocamento por parte do indivíduo - não há evidências empíricas suficientes para justificar uma premissa de que maiores níveis de acessibilidade levam a maiores níveis de participação em atividades, e, consequentemente, menores riscos de ESRT (Luz *et al.*, 2022).

Alguns estudos investigaram a relação entre acessibilidade e participação em atividades do ponto de vista da exclusão social, sem, no entanto, investigar suas relações de causa e efeito, limitando-se à verificação do grau de associação entre as referidas variáveis através da utilização de modelos de regressão. Estes, por sua vez, podem estar associados a erros devido a fontes de endogeneidade, manifestada na modelagem estatística através da correlação entre as variáveis explicativas e os erros residuais atrelados ao modelo. Nesse aspecto, argumenta-se que o ferramental estatístico apresenta limitações quanto à distinção

das referidas fontes de viés, o que, por conseguinte, limita a identificação de relações de causalidade entre as variáveis analisadas (Siqueira, 2020).

A exemplo disso, Allen e Farber (2020) investigaram a relação entre acessibilidade e participação em atividades e como esta varia com a renda e a posse de automóveis nas cidades canadenses de Toronto e Hamilton, utilizando modelos binomiais negativos multivariados; sem, no entanto, inferir relações de causalidade entre as variáveis analisadas. De igual modo, Fransen *et al.* (2018) exploraram a relação entre acessibilidade e participação em atividades na cidade de Salt Lake City, Utah, incorporando restrições temporais à análise e utilizando um modelo de regressão binomial negativo inflado de zero, atestando apenas o grau de associação entre a variável dependente e as variáveis independentes.

Outrossim, no Sul Global, a grande maioria dos trabalhos é representativa de contextos diferentes dos observados em metrópoles latino-americanas, com estudos analisando, por exemplo, o impacto da acessibilidade em atividades de compra na cidade de Pequim na China (Ding; Lun; Sun, 2016). Este fato inviabiliza a adoção dos resultados observados no contexto de cidades da América Latina, atestando a escassez de trabalhos que investiguem a relação entre acessibilidade e participação em atividades sob a perspectiva da ESRT, levando em conta as complexidades inerentes ao fenômeno urbano observado no referido contexto.

O estudo realizado por Luz *et al.* (2022) vai ao encontro das necessidades evidenciadas nos parágrafos anteriores, visto que investiga, sob uma perspectiva causal, a relação entre acessibilidade, participação em atividades e risco de ESRT na cidade de São Paulo, por meio de modelos de regressão Poisson controlando a endogeneidade com a estratégia de identificação de variável instrumental. No entanto, o referido estudo, ao não considerar todos os componentes da acessibilidade (locacional, infraestrutural, individual e temporal) (Geurs; Van Wee, 2004), possui a limitação de não incorporar, na totalidade, o efeito da acessibilidade sobre a participação em atividades dos indivíduos. Nesse sentido, a questão central de pesquisa deste trabalho pode ser assim enunciada: *Como analisar, sob a perspectiva da inferência causal, o efeito da acessibilidade, considerando todos os seus componentes, sobre a participação em atividades e, consequentemente, sobre o risco de exclusão social relacionada a transportes?*

Outrossim, para Pearl (2000), a investigação das relações de causa e efeito atreladas a determinado fenômeno deve ser amparada em uma base teórica que permita a proposição de hipóteses relacionadas ao mecanismo causal de interesse. Nesse sentido, a fim

de analisar os efeitos da acessibilidade sobre a participação em atividades, faz-se necessário compreender, com base na literatura científica, que fatores exercem influência, direta ou indireta, na participação efetiva dos indivíduos em atividades essenciais e não essenciais, tornando-os mais ou menos propensos ao risco de ESRT. Diante disso, questiona-se: *Que fatores, associados à acessibilidade, manifestada em seus diversos componentes, exercem influência sobre a participação em atividades dos indivíduos?*

Nesse contexto, torna-se necessária a consolidação de um enquadramento metodológico, baseado na teoria da inferência causal, atrelado à identificação dos efeitos causais de interesse, que sirva de base para a realização de uma análise crítica dos esforços anteriores de investigação da relação entre acessibilidade e participação em atividades no nível do indivíduo. Diante disso, questiona-se: *Quais as lacunas existentes nos esforços de investigação da relação entre acessibilidade e participação e atividades, à luz da inferência causal?*

A natureza essencialmente observacional da demanda por atividades dificulta a utilização de abordagens experimentais na análise da relação entre os níveis de acesso e engajamento do indivíduo em atividades no estudo do fenômeno da ESRT. Nesse aspecto, com base nas questões elencadas anteriormente, enuncia-se a última questão específica deste trabalho, sendo esta relativa à contribuição metodológica esperada como resultado do referido esforço de investigação, atrelada à compreensão das relações causais entre a acessibilidade e a participação em atividades dos indivíduos: *Como formular e testar hipóteses de causalidade atreladas ao risco de exclusão social relacionada a transportes, sob a perspectiva da inferência causal, utilizando dados observacionais?*

1.3 Objetivos da pesquisa

Diante do que foi exposto, o objetivo geral desta pesquisa de mestrado consiste em *desenvolver uma proposta metodológica que permita analisar, sob a perspectiva da Exclusão Social Relacionada a Transportes, com base em dados observacionais, as relações de causa-efeito entre a acessibilidade e a participação em atividades dos indivíduos*. Para tanto, propõem-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Estruturar um mapa mental das relações de causalidade entre os componentes da acessibilidade e a participação em atividades a partir da consolidação de uma representação conceitual dos determinantes das decisões de atividade no nível do indivíduo;

- b) Identificar lacunas na formulação dos modelos atrelados à investigação da relação entre acessibilidade e participação em atividades sob o ponto de vista da lógica da inferência causal;
- c) Desenvolver uma proposta metodológica capaz de testar as hipóteses de causalidade inerentes à relação entre acessibilidade e participação em atividades, com base em dados observacionais;
- d) Analisar as relações de causalidade entre acessibilidade e participação em atividades, sob a perspectiva do risco de ESRT, tomando por base a população de baixa renda da cidade de Fortaleza, a fim de demonstrar a aplicabilidade do método desenvolvido no contexto de metrópoles latino-americanas.

1.4 Estrutura da dissertação

A presente dissertação está estruturada em cinco capítulos, seguidos de um capítulo atrelado às conclusões do estudo, de modo a alcançar cada um dos objetivos específicos explicitados na seção 1.3. A Figura 2 apresenta a relação de cada capítulo com os objetivos anteriormente elencados.

Nesse contexto, o Capítulo 2 vai ao encontro do primeiro objetivo específico deste trabalho, visando, através de uma revisão de literatura, investigar os fatores que influenciam, direta ou indiretamente, na participação dos indivíduos em atividades mandatórias e não mandatórias, sendo isto um reflexo direto do risco de ESRT. Assim, o referido capítulo, a partir da consolidação de uma representação conceitual que permita visualizar como a acessibilidade e seus respectivos componentes exercem influência sobre o contexto decisório de realização de atividades dos indivíduos, estrutura as relações de causalidade entre os componentes da acessibilidade e a participação em atividades, através de um mapa mental.

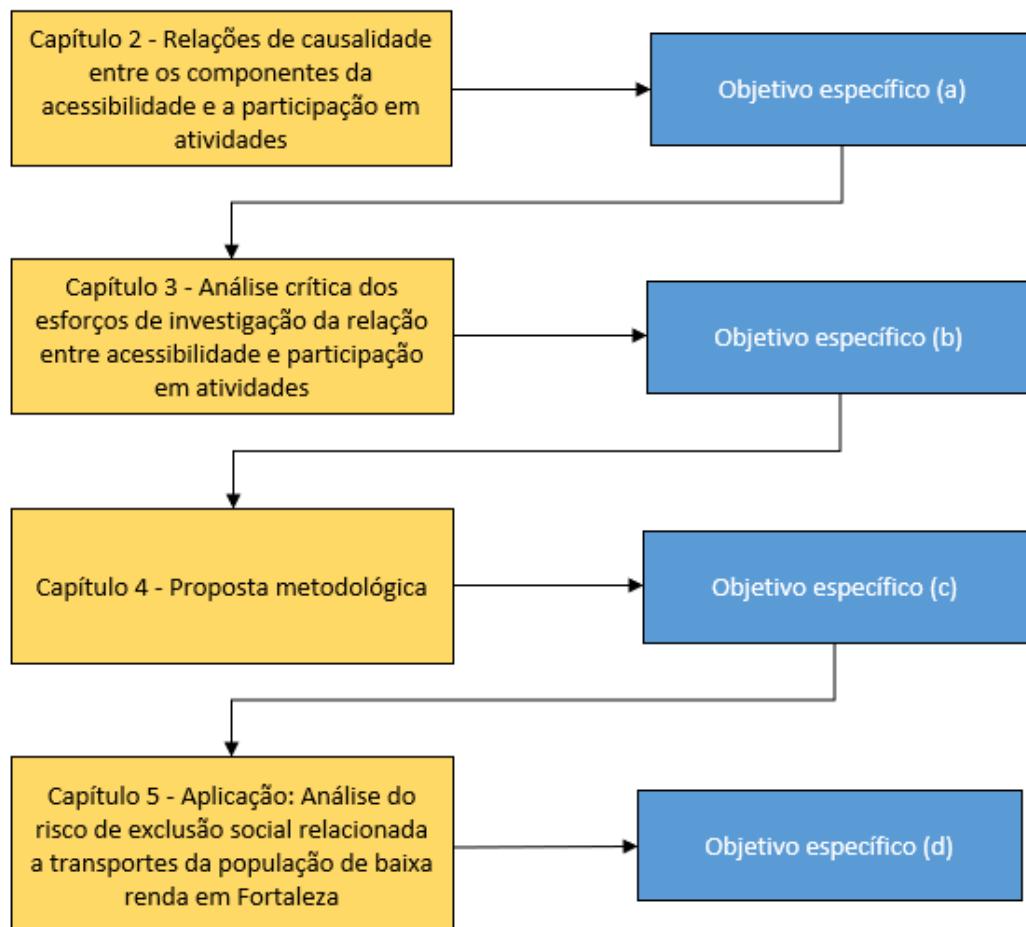
O Capítulo 3, por sua vez, partindo de um enquadramento metodológico atrelado à teoria da inferência causal, busca alcançar o segundo objetivo específico deste trabalho, analisando criticamente, à luz da referida teoria, as lacunas existentes nos esforços anteriores de investigação da relação entre acessibilidade e participação em atividades, de modo a embasar a proposta metodológica apresentada no capítulo subsequente.

Sendo assim, o Capítulo 4 vai ao encontro do terceiro objetivo específico deste trabalho, apresentando uma proposta metodológica, amparada na teoria da inferência causal, capaz de testar as hipóteses de causalidade atreladas às relações entre os componentes da acessibilidade e a participação em atividades dos indivíduos, utilizando dados observacionais.

Outrossim, com base nos capítulos anteriores, o Capítulo 5 desenvolve uma aplicação da proposta metodológica apresentada no Capítulo 4, analisando os efeitos causais dos componentes da acessibilidade sobre a participação em atividades, sob a perspectiva do risco de ESRT, tomando por base indivíduos de baixa renda que residem na cidade de Fortaleza, sendo esta considerada representativa do contexto observado em metrópoles latino-americanas.

Por fim, o Capítulo 6 apresenta as contribuições fenomenológicas e metodológicas deste trabalho, destacando, de igual modo, as limitações do estudo e, consequentemente, como trabalhos posteriores podem avançar nas análises introduzidas no âmbito desta dissertação.

Figura 2: Estrutura da dissertação.



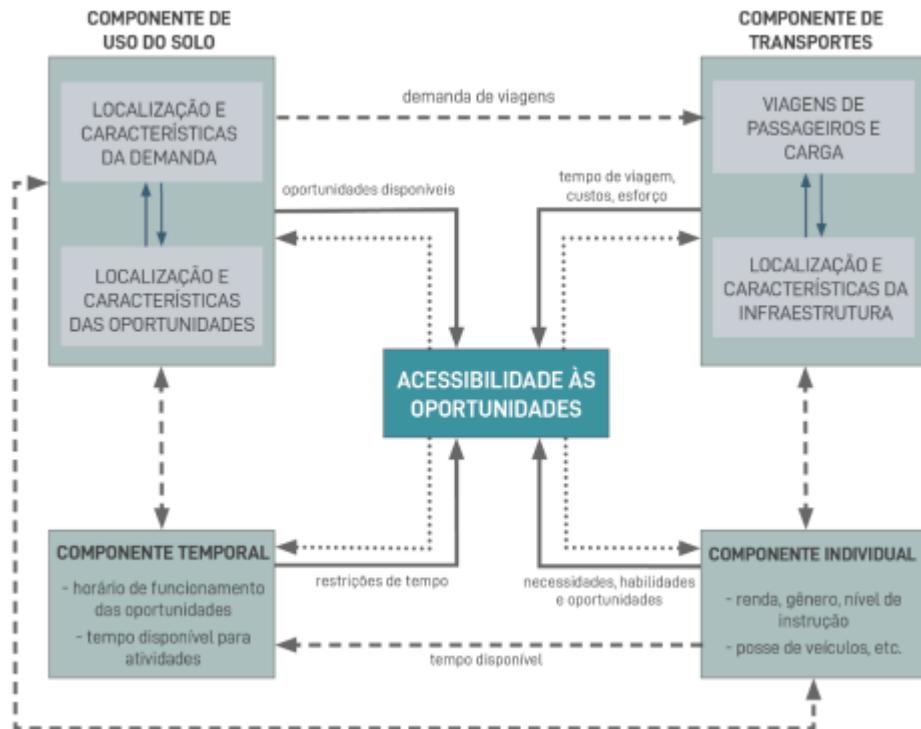
Fonte: Elaborado pelo autor.

2 RELAÇÕES DE CAUSALIDADE ENTRE OS COMPONENTES DA ACESSIBILIDADE E A PARTICIPAÇÃO EM ATIVIDADES

2.1 Introdução

De acordo com Hansen (1959), o conceito de acessibilidade pode ser entendido como o *potencial das oportunidades para interação*. Outros autores, por sua vez, atrelam o conceito de acessibilidade à capacidade do indivíduo de alcançar e participar de diferentes atividades (Dalvi; Martin, 1976). Geurs e Van Wee (2004) vão ao encontro das definições anteriormente enunciadas ao afirmarem que a acessibilidade está diretamente relacionada ao papel dos subsistemas de transportes e uso do solo em permitir que indivíduos tenham a oportunidade de participar de atividades em diferentes localidades. Nesse sentido, para os autores, a acessibilidade pode ser entendida como uma composição de quatro componentes: uso do solo, transportes, temporal e individual (Geurs; Van Wee, 2004), representados na Figura 3.

Figura 3: Representação das interrelações entre os componentes da acessibilidade.



Fonte: Adaptado e traduzido de Geurs e Van Wee (2004)

Em se tratando do componente de uso do solo, este está diretamente relacionado à distribuição espacial das oportunidades de emprego, saúde, educação, etc., em cada destino, bem como à demanda pelas referidas oportunidades nos respectivos locais de origem dos

indivíduos; estando, portanto, associado ao subsistema de uso do solo. Ademais, com relação ao componente de transportes, este relaciona-se à desutilidade, expressa em termos de tempo, custo e esforço, em acessar um dado destino a partir de determinada origem, utilizando um modo de transporte específico. Em suma, o referido componente está atrelado à relação entre oferta e demanda no subsistema de transportes, sendo a oferta representativa da infraestrutura da rede e a demanda relativa ao indivíduo que a utiliza.

Outrossim, o componente temporal da acessibilidade diz respeito à relação entre o orçamento de tempo dos indivíduos, ou seja, o tempo que estes dispõem para realizar determinadas atividades, e a disponibilidade, em termos temporais, de oportunidades em diferentes períodos do dia. Por fim, o componente individual da acessibilidade está diretamente relacionado às necessidades, habilidades e oportunidades disponíveis ao indivíduo, sendo influenciado, positiva ou negativamente, por fatores socioeconômicos como idade, renda, disponibilidade de modos de transporte e escolaridade dos indivíduos.

Nesse contexto, este capítulo busca estruturar um mapa mental das relações de causalidade entre acessibilidade e participação em atividades a partir da consolidação, *a priori*, de uma representação conceitual dos determinantes das decisões de atividade, sendo o contexto decisório atrelado à realização de atividades advindo de uma necessidade primária do indivíduo (Arentze; Timmermans, 2009) e materializado em efetiva participação em atividades através dos deslocamentos realizados por este (Figura 4).

Figura 4: Relação entre decisões de atividade e participação em atividades.



Fonte: Siqueira (2020)

Para tanto, as seções subsequentes abordarão a influência da acessibilidade na participação em atividades dos indivíduos (Seção 2.2), apresentando uma representação conceitual dos determinantes do contexto decisório da realização de atividades que influem na

referida participação (Seção 2.3). Por fim, com base na literatura, as relações de causalidade entre os componentes da acessibilidade e a participação em atividades dos indivíduos serão apresentadas através de um mapa mental, baseado na representação conceitual consolidada *a priori*, que sintetiza as relações de interesse nesta dissertação (Seção 2.4).

2.2 Influência da acessibilidade na participação em atividades

Com relação à influência da acessibilidade no contexto decisório e, consequentemente, na participação em atividades dos indivíduos, deve-se inicialmente considerar que esta possui um caráter multidimensional, evidenciado através dos componentes de uso do solo, transportes, individual e temporal (Seção 2.1). Nesse sentido, o esforço de compreensão da relação entre a acessibilidade e a participação em atividades está, notadamente, atrelado ao conhecimento das inter-relações desenvolvidas entre os componentes da acessibilidade e a participação em atividades dos indivíduos. Diante disso, o arcabouço teórico da geografia temporal (Hagerstrand, 1970) pode ser útil no entendimento das referidas relações de influência.

Para Hagerstrand (1970), o indivíduo não pode ser tratado como divisível, ou seja, as atividades, associadas às funções sociais, que este desempenha não podem ser consideradas isoladamente. Pelo contrário, essas atividades devem ser integradas tanto no espaço quanto no tempo, visto que, para o autor, uma localidade não possui apenas coordenadas espaciais, mas também coordenadas temporais; o que, por sua vez, implica que, em sua maioria, as atividades desempenhadas por um indivíduo são mutuamente excludentes, dado que devem ser realizadas em determinado lugar, com horário e duração previamente delimitados.

Nesse contexto, um trabalhador que passa a maior parte do seu tempo diário no local de trabalho possui uma capacidade limitada de participação em outras atividades que, porventura, queira desempenhar; destacando, desse modo, a influência direta do tempo despendido em atividades mandatórias na realização de atividades não mandatórias. Ademais, visto que em cada instante de tempo o indivíduo está localizado em algum lugar no espaço, eventos no tempo, desde ir para o local de estudo até realizar compras, não podem ser encarados como discretos. Antes, estão criticamente interligados (Hagerstrand, 1970) e, consequentemente, um evento pode ter consequências no evento posterior (Dijst, 2009).

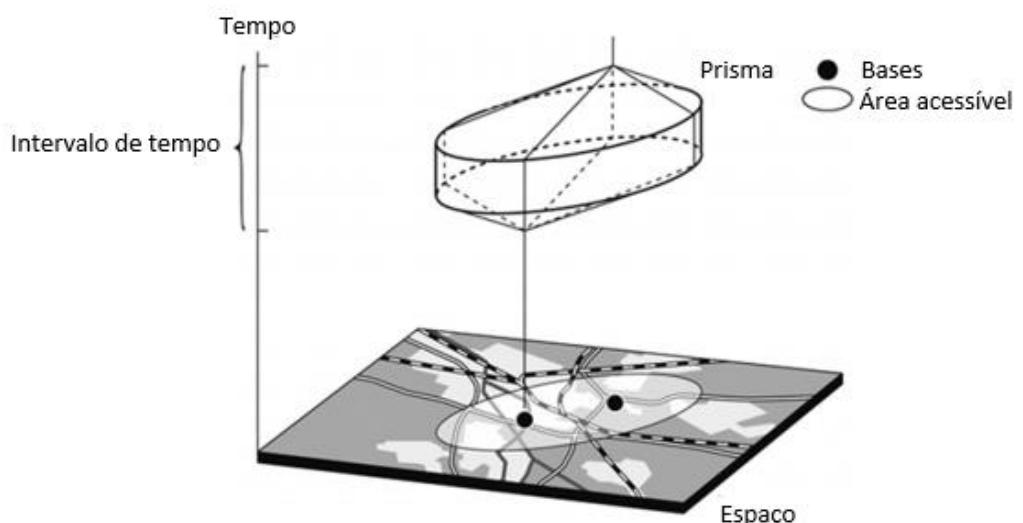
Portanto, na geografia temporal, a participação em atividades não é encarada apenas como uma questão de escolha, estando sujeita a, notadamente, três tipologias de restrições (Hagerstrand, 1970; Dijst, 2009): *restrições de capacidade*, associadas a limitações

na capacidade de realização de atividades dos indivíduos devido a impedimentos biológicos, mentais e instrumentais – como exemplo, pode-se citar a necessidade de dormir durante um número mínimo de horas em intervalos regulares; *restrições sociais*, que definem onde, quando e por quanto tempo um indivíduo deve interagir com outros indivíduos; e *restrições de autoridade*, que regulam o acesso dos indivíduos às atividades através de, por exemplo, leis e barreiras financeiras.

Ademais, a referida teoria considera que atividades como trabalho e aquelas desenvolvidas no âmbito da residência são fixas, denominadas *bases*, e determinam o espectro de oportunidades associadas a atividades consideradas flexíveis, tais como atividades recreacionais e de lazer. Garling *et al.* (1998) vai ao encontro do argumento supracitado ao afirmar que, no dia-a-dia, a realização de atividades mandatórias como trabalho ou estudo tem precedência sobre a realização de atividades não mandatórias, tais como atividades discricionárias, tendo, por conseguinte, o potencial de inibir a participação do indivíduo na referida tipologia de atividades.

Nesse sentido, o conjunto de atividades que podem ser desempenhadas em uma dada janela de tempo, sujeitas às restrições anteriormente elencadas, definem um prisma espaço-temporal, com projeção bidimensional representativa do espaço potencial de ação de um indivíduo, ou seja, da área acessível a este em termos de atividades espacial e temporalmente disponíveis em um dado intervalo de tempo (Dijst, 2009). Conforme destacado na Figura 5, um indivíduo só é capaz de participar de atividades enquadradas em seu prisma diário, localizadas em um espaço potencial de ação que viabilize seu deslocamento dentro da janela de tempo disponível (Hagerstrand, 1970).

Figura 5: Prisma espaço-temporal.



Fonte: Traduzido de Dijst (2009)

Nesse contexto, tomando por base o espaço potencial de ação de um indivíduo, percebe-se que o componente de uso do solo (locacional) da acessibilidade exerce influência sobre a participação em atividades dos indivíduos por meio da configuração de uso do solo de uma dada localidade, visto que diferentes arranjos de uso do solo, dentro de uma determinada área acessível, estão atrelados a diferentes níveis de participação em atividades para um mesmo espaço potencial de ação. Van Wee (2002) corrobora com esse argumento ao afirmar que, considerando que todo deslocamento possui um custo monetário e temporal, configurações de uso do solo atreladas a um maior número de oportunidades por km² estão associadas a menores tempos de deslocamento, decorrentes das menores distâncias percorridas, gerando uma maior janela de tempo diária para o indivíduo e, por sua vez, elevando sua área acessível. Ademais, para o autor, devido às maiores densidades, os indivíduos podem participar de mais atividades em uma mesma janela de tempo.

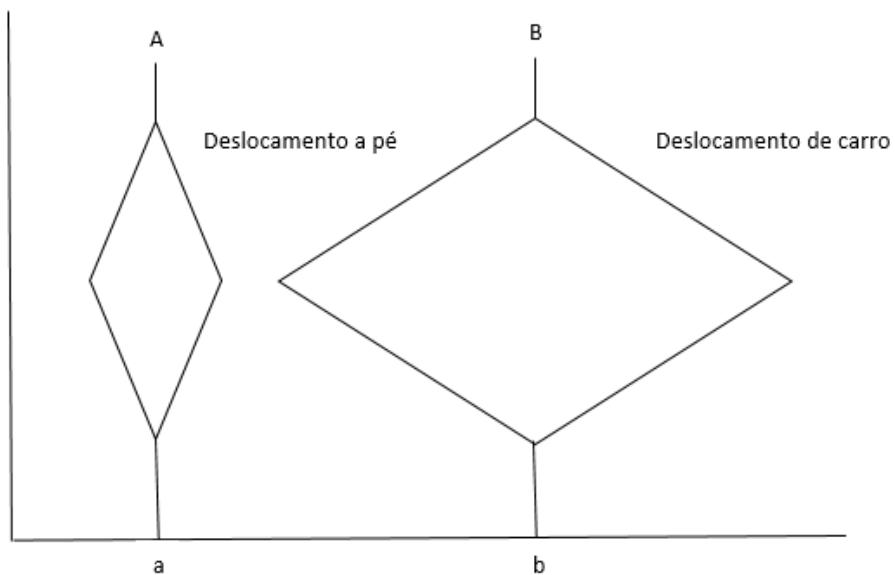
Em se tratando do componente de transportes (infraestrutural) da acessibilidade, este exerce influência sobre a participação em atividades dos indivíduos através das condições de deslocamento em rede experienciadas por estes, visto que atributos ligados ao nível de serviço da rede de transportes podem aumentar ou diminuir o espaço potencial de ação de um indivíduo para uma mesma janela de tempo, permitindo que este participe de mais ou menos atividades, considerando o seu prisma diário. A exemplo disso, Siqueira (2020) menciona que melhorias atreladas à fluidez do tráfego podem resultar em aumento na velocidade média de deslocamento, elevando as distâncias percorridas pelo indivíduo em um mesmo intervalo de tempo e, consequentemente, seu espaço potencial de ação. Portanto, para uma mesma janela de tempo, este conseguirá acessar mais atividades.

Ademais, no que diz respeito à influência do componente temporal da acessibilidade sobre a participação em atividades, visto que, como mencionado anteriormente, as atividades possuem localização, duração e horário de funcionamento delimitados, e, além disso, são em sua maioria dependentes e mutuamente excludentes, quanto maior a janela de tempo do indivíduo, maior seu espaço potencial de ação. Por outro lado, quanto maior a restrição temporal que este vivencia, menor sua área acessível em uma dada janela de tempo. Mokhtarian e Chen (2004) corroboram com esse argumento ao afirmarem que a utilidade de uma atividade é diretamente proporcional à sua atratividade e inversamente proporcional ao tempo necessário para alcançá-la. Nesse contexto, economias atreladas ao orçamento de tempo dos indivíduos podem se manifestar em um maior nível de participação em atividades.

Por fim, a influência do componente individual da acessibilidade sobre a participação em atividades se manifesta através do conjunto de restrições impostas ao

indivíduo. A exemplo disso, pode-se citar uma restrição instrumental associada à posse de determinado modo de transporte, que, por sua vez, pode reduzir o volume do prisma espaço-temporal de um indivíduo (Dijst, 2009) e, consequentemente, seu espaço potencial de ação. A Figura 6 apresenta variações nas seções transversais de um prisma a depender do modo de transporte utilizado. Nesta, é possível observar que modos individuais motorizados, como o automóvel, elevam o volume do prisma diário de um indivíduo para uma mesma janela de tempo, elevando sua área acessível e, por conseguinte, aumentando seu potencial de participação em atividades.

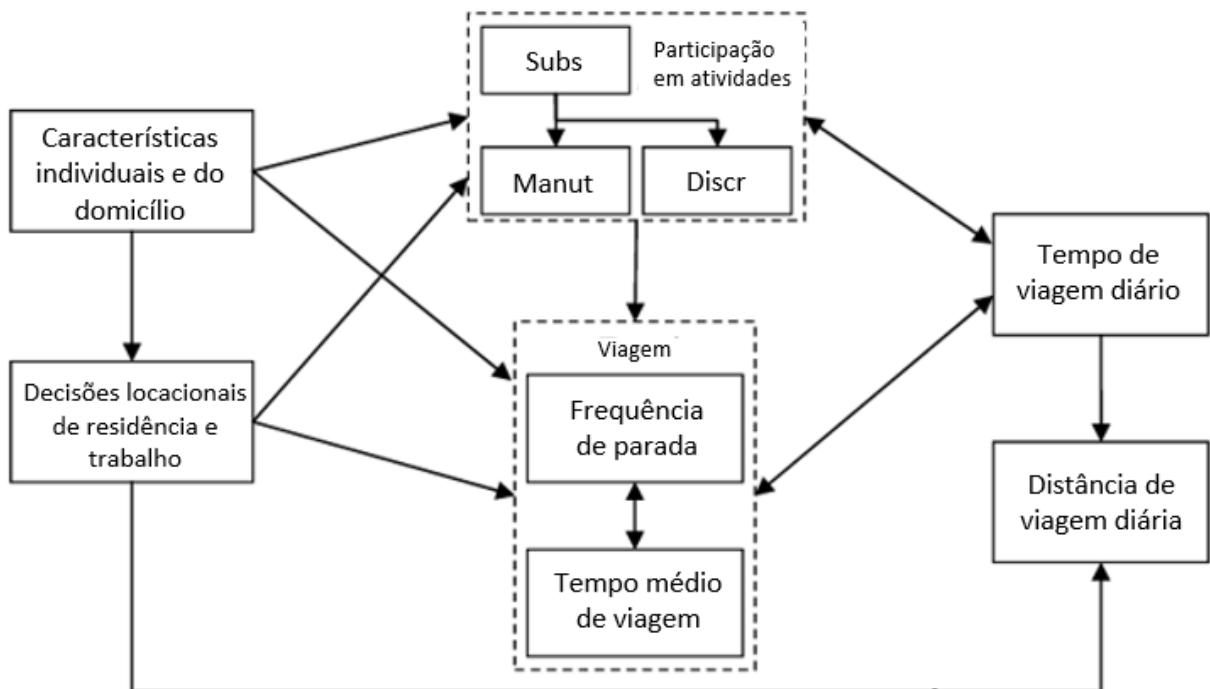
Figura 6: seções transversais do prisma espaço-temporal por modo de transporte.



Fonte: Adaptado e traduzido de Dijst (2009)

O modelo conceitual proposto por Maat e Timmermans (2009), apresentado na Figura 7, corrobora com os argumentos expostos anteriormente. Neste, para além de aspectos relativos à influência das características do indivíduo e do domicílio - englobando aspectos como a disponibilidade de veículos motorizados individuais - bem como da localização de sua residência e do seu local de trabalho sobre o seu grau de participação em atividades, a realização de atividades discricionárias e de manutenção (não mandatórias) sujeita-se ao tempo despendido na realização de atividades de subsistência (mandatórias). Nesse aspecto, a referida representação reflete, ainda que não explicitamente, os componentes da acessibilidade, tal como enunciados anteriormente.

Figura 7: Relações entre características individuais, forma urbana e participação em atividades.



Fonte: Adaptado e traduzido de Maat e Timmermans (2009)

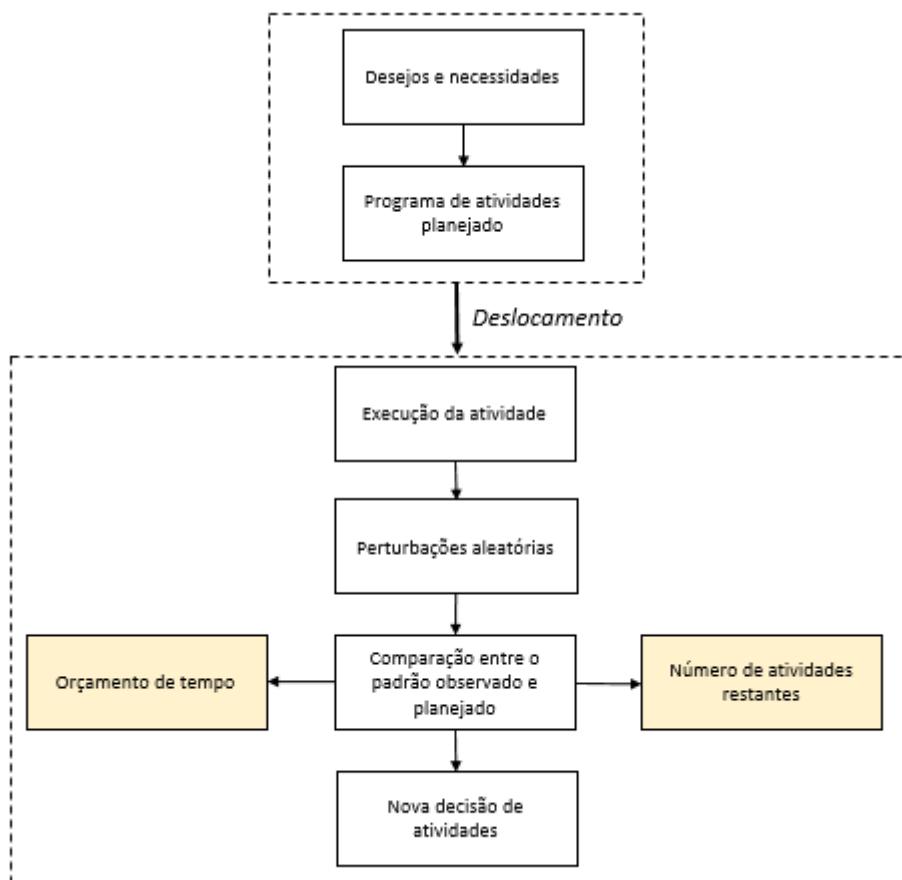
Vale ressaltar que, de acordo com os autores, o tempo de viagem atua como um determinante da participação individual em atividades diversas. Nesse contexto, em consonância com a teoria proposta por Hagerstrand (1970), o espectro de oportunidades discricionárias e de manutenção acessíveis ao indivíduo é determinado não apenas pela duração associada às atividades mandatórias que este realiza, mas também pelo tempo despendido no deslocamento para a realização das referidas atividades.

Diante do que foi exposto, percebe-se o papel central que a acessibilidade desempenha na participação efetiva dos indivíduos em atividades diversas, com a realização de atividades mandatórias como trabalho e estudo determinando o potencial de realização de atividades discricionárias e de manutenção; relacionando-se diretamente com os subsistemas de uso do solo, transportes e atividades através dos componentes locacional, infraestrutural e temporal, respectivamente. Ademais, através do componente individual da acessibilidade, esta relaciona-se a um conjunto de restrições individuais vivenciadas pelos indivíduos. A próxima seção busca, com base no que foi construído até este ponto, aprofundar o entendimento relativo ao contexto decisório de realização de atividades por parte do indivíduo.

2.3 Representação conceitual dos determinantes das decisões de atividade

Com relação à investigação do processo decisório a partir do qual um indivíduo decide em que atividades participar, parte-se da premissa de que o padrão de atividades concernente a determinado indivíduo consiste de uma sequência ordenada de atividades que se desenvolvem em um espaço-tempo contínuo e que, por sua vez, conectam-se através da realização de deslocamentos (Root; Recker, 1981). Nesse contexto, para Root e Recker (1981), o padrão de atividades de um dado indivíduo se desenvolve em duas fases distintas, a saber: a fase que antecede o deslocamento e a fase atrelada a realização do deslocamento (Figura 8).

Figura 8: Modelo conceitual do padrão de atividades de um indivíduo.



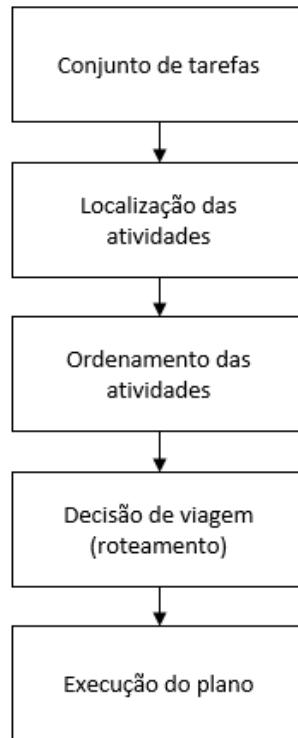
Fonte: Adaptado e traduzido de Root e Recker (1981)

Sendo assim, parte-se do entendimento de que a decisão do padrão de atividades a ser realizado baseia-se, tal como argumentado por Arentze e Timmermans (2009), em um conjunto de necessidades e desejos individuais que, por sua vez, sujeita-se a questões relacionadas, notadamente, a localização das atividades disponíveis, bem como a restrições temporais e monetárias, culminando, desse modo, em um programa de atividades planejado pelo indivíduo, a ser concretizado através da realização de deslocamentos. Outrossim, segundo os autores, o processo decisório associado à realização de atividades diversas por

parte do indivíduo constitui-se como dinâmico e, nesse aspecto, a ocorrência de perturbações aleatórias ao programa de atividades previamente estabelecido - associadas, por exemplo, à ocorrência de tempos de viagem superiores aos esperados - pode promover ajustes no padrão de atividades estabelecido *a priori*, levando em conta aspectos temporais, tais como o orçamento de tempo do indivíduo e o número de atividades que ainda precisam ser realizadas.

Garling *et al.* (1986) corroboram com o processo decisório anteriormente enunciado, afirmando que a tomada de decisão, por parte do indivíduo, associada a que atividades realizar, parte de um conjunto de tarefas a serem executadas. Este, por sua vez, precede o contexto decisório associado à localidade onde as referidas atividades serão realizadas, incorporando o caráter espacial atrelado à realização de atividades e, por conseguinte, contribuindo para o ordenamento das referidas atividades ao longo do dia; culminando, tal como apresentado anteriormente, na elaboração e execução de um programa de atividades (Figura 9), com impacto direto sobre as decisões de viagem do indivíduo (Garling *et al.*, 1998).

Figura 9: Modelo conceitual associado à elaboração de um plano de viagens.



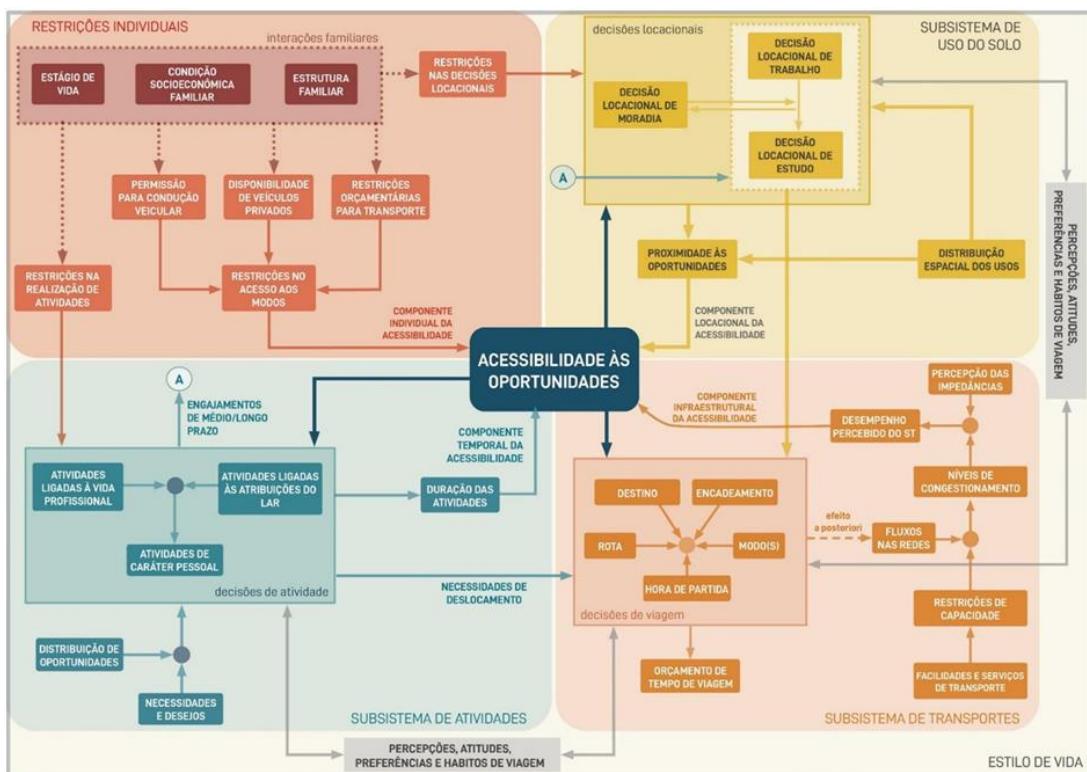
Fonte: Adaptado e traduzido de Garling *et al.* (1986)

Apesar da consideração, nas representações conceituais anteriormente apresentadas, das restrições que permeiam o processo decisório individual de realização de atividades, não se percebe de forma direta como os processos de tomada de decisão concernentes aos subsistemas de uso do solo, transportes e atividades se interrelacionam;

tampouco como estes associam-se, explicitamente, aos componentes da acessibilidade explicitados na seção 2.2. Nesse contexto, a representação conceitual proposta por Siqueira (2020), apresentada na Figura 10, vai ao encontro das necessidades elencadas, delineando os contextos decisórios atrelados aos subsistemas de uso do solo, transportes e atividades e, desse modo, possibilitando uma melhor compreensão das interrelações anteriormente enunciadas.

Ao analisar a referida representação pela perspectiva da demanda por atividades, percebe-se que nesta as decisões de atividade são segmentadas em três tipologias distintas: atividades ligadas à vida profissional e às atribuições do lar, entendidas como menos flexíveis e, por sua vez, vistas como condicionantes das atividades de caráter pessoal (Siqueira, 2020). Corrobora-se, dessa forma, com o argumento construído ao longo dos parágrafos anteriores de que o conjunto de atividades mandatórias condiciona a participação do indivíduo em atividades não mandatórias, sendo influenciadas pela distribuição das oportunidades, bem como por influências subjetivas atribuídas a percepções, atitudes, preferências e hábitos de viagem, sendo provenientes das necessidades e desejos dos indivíduos (Arentze; Timmermans, 2009). Outrossim, destaca-se o fato de que este contexto decisório é retroalimentado através do componente temporal da acessibilidade, como evidenciado na Seção 2.2.

Figura 10: Representação conceitual dos determinantes da demanda por transportes.



Fonte: Siqueira (2020)

Ademais, percebe-se uma influência direta das restrições individuais sobre as decisões de atividade dos indivíduos, bem como uma influência indireta das referidas restrições, mediada pela acessibilidade (componente individual). De acordo com Siqueira (2020), estas restrições decorrem, notadamente, de três elementos exógenos ao sistema, a saber: o estágio de vida, a condição socioeconômica familiar e a estrutura familiar. O primeiro elemento relaciona-se diretamente à capacidade decisória do indivíduo em termos de realização de atividades devido, por exemplo, a restrições de idade. Já o segundo elemento diz respeito ao orçamento familiar, que pode constituir-se como um limitante na participação efetiva em atividades diversas, justificando a influência direta nas decisões de atividade. Por fim, o terceiro elemento está atrelado à presença de indivíduos dependentes dentro do lar, tais como crianças e idosos, que, por sua vez, podem exercer pressões nos orçamentos monetário e de tempo da família.

Por sua vez, o efeito indireto das restrições individuais sobre as decisões de atividades, mediado pela acessibilidade, relaciona-se a restrições no acesso aos modos de transporte, sendo estas decorrentes de restrições na parcela do orçamento familiar destinada ao transporte, da disponibilidade de veículos privados e da permissão para condução veicular, intimamente ligado ao estágio de vida do indivíduo. Nesse contexto, apreende-se da referida representação que as restrições individuais influenciam direta e indiretamente nas decisões de atividades dos indivíduos e, consequentemente, em sua participação efetiva nas atividades.

Outrossim, com relação à influência que o subsistema de uso do solo exerce no contexto decisório e, consequentemente, na participação em atividades dos indivíduos, percebe-se que esta se dá de forma indireta, mediada pela acessibilidade (componente locacional), estando condicionada à distribuição espacial dos usos e, por conseguinte, à proximidade às oportunidades; estando esta última atrelada a decisões acerca de onde morar, onde trabalhar e onde estudar, visto que, como enunciado na Seção 2.2, essas decisões determinam o espectro de oportunidades referentes às demais atividades (Dijst, 2009). Vale ressaltar que, como afirma Siqueira (2020), as decisões de atividades exercem influência direta nas decisões locacionais de trabalho e estudo, dado que essas somente ocorrem quando as respectivas atividades são realizadas.

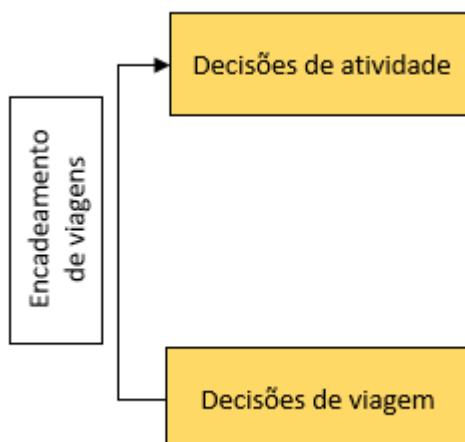
Esse efeito indireto do subsistema de uso do solo nas decisões de atividades pode ser percebido considerando-se dois cenários, A e B, onde, mantendo-se todos os demais fatores constantes, o cenário A possui maior densidade e diversidade de usos do solo (Cervero; Kockelman, 1997). Nesse contexto, a maior proximidade às oportunidades experienciada no cenário A, associada a uma economia de tempo e dinheiro resultante das

menores distâncias percorridas, exercem influência nas decisões de atividade do indivíduo, visto que, em decorrência de seus maiores níveis de acessibilidade, este pode, por exemplo, escolher destinos mais atrativos, ainda que esses sejam mais distantes (Van Wee, 2002).

O subsistema de transportes, a exemplo do subsistema de uso do solo, também exerce influência indireta nas decisões de atividades através do componente infraestrutural da acessibilidade, estando este diretamente relacionado ao desempenho percebido pelo usuário do referido subsistema em termos de impedâncias e níveis de congestionamento, sendo estes últimos decorrentes dos fluxos na rede sujeitos às restrições de capacidade. Siqueira (2020) atribui os referidos fluxos às decisões de viagens tomadas simultaneamente pelo indivíduo, sendo essas representativas da demanda por transportes. Nesse contexto, o nível de acessibilidade percebido pelo indivíduo influencia suas decisões de atividades, gerando uma necessidade de deslocamento, influência direta das decisões de atividades sobre as decisões de viagens e, consequentemente, sobre os fluxos na rede.

No entanto, percebem-se algumas diferenças entre os objetivos elencados em Siqueira (2020) e os objetivos deste trabalho no tocante à representação conceitual, visto que o interesse primário do autor com a representação proposta residia na sistematização dos determinantes da demanda por transportes. Nesse aspecto, percebe-se que o autor representou a influência das restrições individuais sobre as decisões de viagens por intermédio da acessibilidade e não incorporou na referida representação a influência das decisões de viagens sobre as decisões de atividades - dado que, como argumenta Golob (2000), a possibilidade de realização de viagens encadeadas influencia diretamente a demanda por atividades (Figura 11).

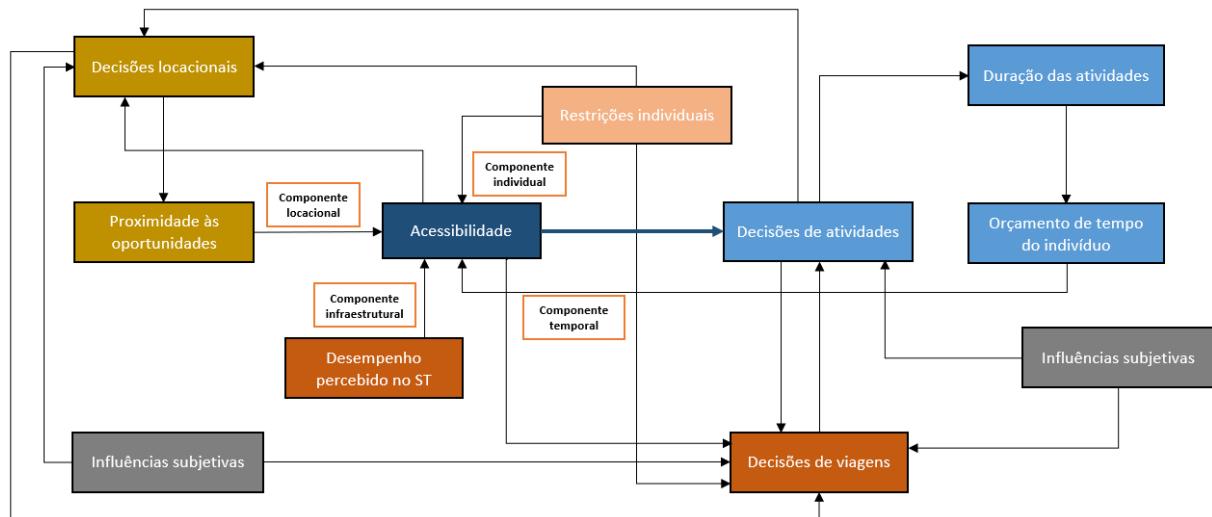
Figura 11: Efeito das decisões de viagem sobre as decisões de atividade.



Fonte: Adaptado e traduzido de Golob (2000)

Nesse contexto, propõe-se a representação conceitual apresentada na Figura 12, que difere do modelo conceitual proposto por Siqueira (2020) pela consideração da influência direta das restrições individuais sobre as decisões de viagens, bem como pela incorporação do efeito direto da demanda por transportes sobre a demanda por atividades. No mais, com argumento análogo ao utilizado pelo autor, de modo a consolidar a influência dos componentes da acessibilidade sobre a demanda por atividades, representa-se a influência das restrições individuais sobre as decisões de atividades intermediada pela acessibilidade. Baseada na referida representação, a próxima seção busca estruturar um mapa mental das relações de causalidade entre os componentes da acessibilidade e a participação em atividades sob a perspectiva da exclusão social relacionada a transportes.

Figura 12: Representação conceitual dos determinantes das decisões de atividades do indivíduo.



Fonte: Elaborado pelo autor

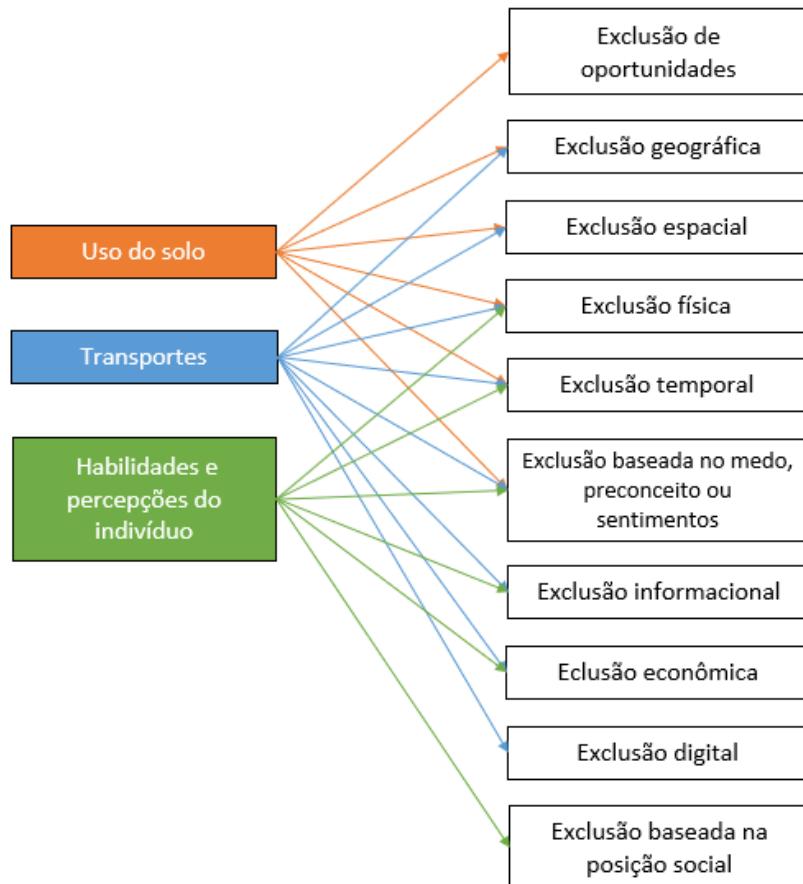
2.4 Estruturação das relações de causalidade entre os componentes da acessibilidade e a participação em atividades

A fim de estruturar um mapa mental das relações de causalidade entre os componentes da acessibilidade e a participação em atividades, sob a perspectiva da exclusão social relacionada a transportes, faz-se necessário, *a priori*, compreender as dimensões desta tipologia de exclusão social, a fim de identificar, baseado na literatura, suas possíveis causas. Nesse aspecto, as seções subsequentes visam apresentar as dimensões da ESRT, atrelando a cada dimensão evidências empíricas de causalidade associadas aos componentes da acessibilidade, tomando por base a representação conceitual apresentada na Figura 12.

2.4.1 Dimensões da exclusão social relacionada a transportes

Church, Frost e Sullivan (2000) subdividiram a exclusão social relacionada a transportes em 7 dimensões distintas (física, geográfica, de facilidades, econômica, temporal, baseada no medo e espacial). Hine e Mitchell (2001) elencaram 5 dimensões de ESRT, sendo estas atreladas aos contextos físico, econômico, temporal, espacial e psicológico. Cass, Shove e Urry (2005) atribuíram a exclusão às dimensões econômica, física, temporal e organizacional. Yigitcanlar *et al.* (2019) agregaram à análise a dimensão de informação, enquanto Benevenuto e Caulfield (2019) incorporaram uma dimensão atrelada à posição social do indivíduo. Luz e Portugal (2022), por sua vez, propuseram uma subdivisão da ESRT em 10 dimensões distintas (Figura 13), relacionando cada dimensão aos subsistemas de uso do solo e transportes, bem como às percepções e habilidades concernentes ao indivíduo.

Figura 13: Dimensões da exclusão social relacionada a transportes.



Fonte: Adaptado e traduzido de Luz e Portugal (2022)

Para os autores, a *exclusão de oportunidades* pode ser atribuída à distância da residência do indivíduo a oportunidades consideradas essenciais para a qualidade de vida,

como emprego, educação, saúde e serviços de lazer. Esta dimensão de ESRT pode ser observada, por exemplo, quando a cobertura espacial da rede de transporte público não oferece ao indivíduo acesso às atividades que este gostaria de desempenhar. A *exclusão geográfica*, por sua vez, ocorre quando, devido à localização de sua residência, o indivíduo não é capaz de acessar determinados serviços de transporte, afetando, por conseguinte, sua participação em atividades diversas.

Ademais, a *exclusão espacial* está diretamente relacionada ao desencorajamento da utilização, por parte de certos grupos de indivíduos, de espaços de transporte público devido, notadamente, a questões de segurança ou gestão do espaço. A exemplo disso, Luz e Portugal (2022) mencionam as salas de espera de primeira classe nas estações e os condomínios fechados. Outrossim, a ocorrência da *exclusão física* está associada à imposição de barreiras físicas e cognitivas aos indivíduos por parte do sistema de transporte ou do ambiente construído, estando essas associadas à inabilidade de dirigir ou de ler as informações associadas ao transporte público, bem como a uma infraestrutura de pedestres que desconsidera os riscos atrelados a idosos e pessoas com deficiência.

A *exclusão temporal*, por sua vez, está associada a uma baixa frequência do sistema de transportes, ou mesmo aos atrasos associados a este, que, somados ao orçamento limitado de tempo do indivíduo, atrelado às atividades que este tem que desempenhar, podem limitar suas oportunidades de deslocamento. Nesse contexto, o tempo que um indivíduo despende para acessar o serviço de transporte, esperar por este e deslocar-se até seu destino limita o seu acesso às atividades. Além disso, a *exclusão baseada no medo, preconceito ou sentimentos*, relaciona-se diretamente à percepção do indivíduo, inerente à insegurança, ou mesmo à discriminação, que o faz evitar determinadas localidades. Ressalta-se que a referida percepção leva em conta não apenas o espaço tridimensional atrelado ao acesso e ao deslocamento por determinado modo de transporte, mas também características do ambiente construído, concernentes, por exemplo, à iluminação do espaço público.

Outrossim, a *exclusão informacional* está associada à ausência de informações relativas à utilização de determinado modo de transporte, o que, por sua vez, impede que os indivíduos planejem sua jornada, com impactos sobre seu orçamento de tempo e, consequentemente, sobre sua participação em atividades. A *exclusão econômica*, por sua vez, ocorre quando, devido ao orçamento disponível para transporte, o custo monetário associado ao deslocamento impossibilita o indivíduo de se deslocar ou restringe seu acesso a determinadas atividades.

Por outro lado, a *exclusão digital* está associada à ausência de conexão digital ou mesmo à inabilidade de utilizar tecnologias atreladas a sistemas de transporte baseados em aplicativo, afetando a mobilidade e, consequentemente a participação em atividades dos indivíduos. Por fim, a *exclusão baseada na posição social* está atrelada ao impedimento do deslocamento em espaços públicos devido a restrições baseadas, por exemplo, na religião, na nacionalidade ou mesmo na raça de um indivíduo.

É possível relacionar algumas das tipologias de exclusão enunciadas à representação conceitual apresentada na Figura 12. Nesse contexto, a exclusão de oportunidades, associada ao subsistema de uso do solo, relaciona-se diretamente com a proximidade às oportunidades e, consequentemente, com o componente locacional da acessibilidade. Ademais, a exclusão física, assim como a exclusão digital, possui relação direta com as restrições individuais, podendo, por exemplo, estar relacionada ao estágio de vida do indivíduo.

Analogamente, a exclusão econômica, por estar vinculada à impossibilidade de deslocamento devido ao custo monetário do transporte, está diretamente relacionada às restrições individuais por meio das restrições orçamentárias para transporte, manifestando a restrição no acesso aos modos e, por conseguinte, refletindo o componente individual da acessibilidade. A exclusão temporal, por sua vez, por levar em consideração a impedância associada ao sistema de transportes, o tempo de deslocamento de uma dada origem para um dado destino, bem como as pressões sobre o orçamento de tempo do indivíduo, reflete, simultaneamente, os componentes infraestrutural e temporal da acessibilidade. Sendo assim, nas seções subsequentes serão levantadas relações de causalidade, apoiando-se na literatura e na representação conceitual apresentada na Figura 12, atreladas às tipologias de exclusão social relacionada a transportes anteriormente enunciadas.

2.4.2 Relações de causalidade entre restrições individuais e participação em atividades

Em se tratando do aspecto causal da relação entre as restrições individuais a que um indivíduo está sujeito e a sua participação em atividades, tomando por base a representação conceitual de Siqueira (2020), pode-se afirmar, inicialmente, que a *renda* dos indivíduos exerce considerável influência no seu nível de participação em atividades e, consequentemente, está diretamente associada a um maior ou menor risco de ESRT. Esta afirmação fundamenta-se no argumento de que a renda se relaciona ao número de oportunidades disponíveis (Casas, 2007), já que os padrões de localização de grupos sociais

de baixa renda em cidades do Sul Global estão associados a cenários de segregação socioespacial e à marginalização dos referidos grupos (Oviedo; Sabogal, 2020) – devido aos elevados preços do solo em regiões com maior concentração de oportunidades (Lucas, 2011).

Evidências empíricas encontradas na literatura, atreladas ao contexto de cidades do Sul Global, corroboram com a ideia de que o nível de renda do indivíduo exerce influência direta em seu nível de participação em atividades diversas. A exemplo disso, Bocarejo e Oviedo (2012), investigando o contexto da cidade de Bogotá, encontraram uma taxa de realização de 1,5 viagens por dia para os segmentos de menor renda. Em contrapartida, o percentual do orçamento familiar dedicado ao transporte ultrapassa os 20%, demonstrando um elevado custo apesar dos níveis relativamente baixos de produção de viagens. Outrossim, os resultados obtidos pelos autores evidenciaram que as áreas da cidade onde concentram-se os segmentos de menor renda estão associadas a menores níveis de acesso às oportunidades, sendo esses refletidos nos maiores tempos de deslocamento observados, com a baixa renda apresentando um tempo de deslocamento 48% maior que o tempo observado para os estratos de renda mais elevada. Ademais, no contexto investigado, constatou-se uma influência direta da renda nas decisões de atividades dos indivíduos, visto que estes optam por realizar trajetos mais custosos em termos temporais visando uma economia financeira, bem como para acessar oportunidades de emprego que lhes proporcionem um aumento no orçamento familiar.

De igual modo, os resultados obtidos por Lucas (2011) para o contexto da África do Sul, onde a maioria da população urbana é composta por domicílios de baixa renda, apontam uma dependência do serviço de transporte público devido ao baixo nível de acesso a veículos privados, em decorrência das elevadas distâncias a serem percorridas na tentativa de acessar oportunidades essenciais, dado que grande parte da população de baixa renda vive em regiões periféricas, distantes das oportunidades, o que, por sua vez, limita seu espaço potencial de ação. No referido contexto, a renda dos indivíduos não apenas limita seu acesso a oportunidades de trabalho e lazer, mas também inviabiliza seu crescimento pessoal e profissional, visto que, devido aos altos custos para se deslocar, além das elevadas distâncias a oportunidades de educação, muitas pessoas têm seu acesso a escolas e universidades limitado, impedindo-as de desenvolver as habilidades necessárias a sua inserção no mercado de trabalho e, com isso, corroborando para a manutenção de sua qualidade de vida atual.

Além disso, devido à impossibilidade de arcar com os custos do transporte, muitos indivíduos são privados de relações sociais com amigos e familiares. Outrossim, vale ressaltar que, a exemplo do que foi observado em Bogotá, no contexto sul-africano percebe-se uma influência direta da renda dos indivíduos sobre suas decisões de atividades, visto que, devido

aos referidos custos com transporte, estes priorizam a realização de atividades mandatórias, como o trabalho, em detrimento de outros tipos de atividades; dado que, pelo orçamento familiar restrito, alterações no orçamento dedicado a transportes implicariam em impossibilidade de acesso ao local de trabalho.

Ureta (2008), analisando a cidade de Santiago, evidenciou um contexto de concentração das oportunidades de trabalho nas áreas em que se localizam os segmentos sociais de maior renda, imputando à baixa renda um tempo exacerbado de deslocamento para acessar não apenas as referidas atividades, como também atividades relacionadas à educação e ao lazer. Ademais, devido às elevadas distâncias a serem percorridas para acessar os diversos tipos de oportunidades, os indivíduos de baixa renda dependem de serviços de transporte público, notadamente dos ônibus, para se deslocar. No entanto, devido aos elevados custos associados à utilização deste modo de transporte, a população economicamente vulnerável opta por se deslocar a pé, o que, por sua vez, limita sua capacidade de participação em atividades.

No contexto brasileiro, Luz *et al.* (2022), analisando a cidade de São Paulo, constataram que um aumento na renda de indivíduos com baixa renda *per capita* familiar tem um impacto significativo na elevação de seu nível de participação em atividades, corroborando com a hipótese de que menores níveis de renda tendem a diminuir o número de oportunidades disponíveis (Casas, 2007).

Ademais, para além da renda do indivíduo, sua *idade* pode exercer considerável influência em seu nível de participação em atividades essenciais e não essenciais, contribuindo ou não para a elevação de seu risco de ESRT. Indo ao encontro dessa hipótese, Shergold e Parkhurst (2012) argumentam que uma idade elevada pode levar a um contexto de exclusão, notadamente, devido a um potencial declínio fisiológico. Denmark (1998) corrobora com essa ideia ao atribuir à elevação da idade uma série de limitações físicas que contribuem para o não atendimento de necessidades sociais básicas, elevando, por conseguinte, o risco de ESRT para este grupo populacional.

Nesse contexto, percebem-se dois efeitos decorrentes da idade do indivíduo em seu nível de participação em atividades. O primeiro deles está associado à redução da capacidade física e da saúde do indivíduo, dificultando o seu deslocamento por modos ativos, inclusive para, por exemplo, acessar os pontos de parada atrelados à rede de transporte público. O segundo, por sua vez, é mediado pela disponibilidade de modos individuais motorizados, notadamente o automóvel, visto que este modo se constitui como essencial para muitos idosos (Shergold; Parkhurst, 2012).

Nesse aspecto, Engels e Liu (2011) argumentam que, devido a limitações físicas, muitos idosos, antes dependentes do automóvel para se locomover diariamente, são impelidos a parar de dirigir, afetando a si próprios e a possíveis dependentes, adentrando em um cenário de risco de exclusão caso não disponham de modos alternativos de locomoção. Visto que, aqueles com estilo de vida orientado ao automóvel, vivendo em localidades que, pela distância a oportunidades essenciais, geram dependência deste modo, tendem a se tornar mais vulneráveis caso a disponibilidade deste modo seja reduzida ou impossibilitada (Shergold; Parkhurst, 2012). Evidências empíricas da cidade de São Paulo vão ao encontro dos argumentos anteriormente enunciados, apontando que acima de um certo limiar de idade, seu aumento acarreta uma redução do número de atividades realizadas pelos indivíduos (Luz *et al.*, 2022).

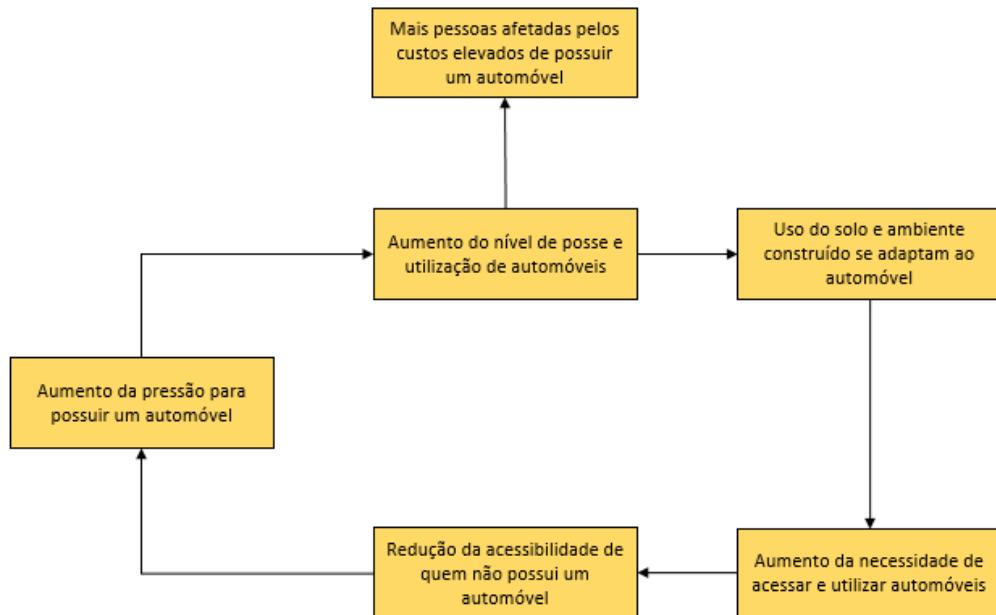
Outro aspecto importante da influência da idade na participação em atividades dos indivíduos reside no potencial de exclusão associado a indivíduos mais jovens, notadamente aqueles que não atingiram a idade necessária para dirigir, visto que estes, por não possuírem liberdade de deslocamento, tornam-se dependentes da disponibilidade de um automóvel e de um condutor no momento em que a viagem é requerida. Ademais, apesar da possibilidade de utilização do transporte público ou mesmo de modos ativos, estes possuem maiores riscos associados à sua utilização, sendo a segurança um fator limitante na realização de viagens para este grupo de indivíduos. Sendo assim, sem acesso ao transporte motorizado individual ou a alternativas seguras, pessoas mais jovens são impedidas de participar de determinadas atividades (Denmark, 1998).

Os parágrafos anteriores destacaram a influência da *disponibilidade de um veículo motorizado individual* no nível de participação em atividades dos indivíduos. A este respeito, Mattioli (2014) menciona que a indisponibilidade deste modo de transporte pode impactar negativamente a inclusão social dos indivíduos, caso o acesso aos serviços e oportunidades por meio de modos alternativos seja problemático. Knowles (2006) vai ao encontro deste pensamento ao afirmar que à medida que as distâncias de viagem e a motorização elevam-se, também aumentam os prejuízos associados à incapacidade de cobrir essas distâncias ou de não ter acesso a um carro, sendo estes manifestados, por exemplo, em tempos mais longos de viagem (Hine, 2004), devido, notadamente, aos padrões dispersos de uso do solo que, por sua vez, resultam em elevadas distâncias entre destinos (Mattioli, 2014).

Para Farber e Páez (2011), os referidos padrões de uso do solo são resultado da aparente acessibilidade que o automóvel forneceu a lugares distantes dos grandes centros urbanos, tornando-os passíveis de desenvolvimento, fragmentando o espaço urbano e, por sua

vez, induzindo uma maior motorização. Mattioli (2014) representa conceitualmente as relações anteriormente enunciadas (Figura 14), destacando a relação retroalimentada entre o aumento da motorização e as configurações de uso do solo.

Figura 14: Relação retroalimentada entre níveis de motorização e padrões de uso do solo.



Fonte: Adaptado e traduzido de Mattioli (2014).

Nesse contexto, a indisponibilidade deste modo de transporte pode impactar a participação em atividades dos indivíduos tanto através do desencorajamento atrelado a uma maior percepção de impedância associada ao deslocamento, quanto por meio do excesso de tempo atrelado ao acesso a determinada oportunidade por meio de modos alternativos de transporte, notadamente o transporte público, reduzindo o orçamento de tempo do indivíduo para a realização de outras atividades (Farber; Páez, 2011). Vale ressaltar, no entanto, que, de acordo com a representação, o risco de exclusão não está atrelado apenas a indisponibilidade do automóvel, mas também à sua posse, visto que, devido aos custos cada vez mais elevados de manter e se deslocar por este modo, esta exerce considerável pressão sobre os orçamentos familiares, reduzindo o espaço potencial de ação dos indivíduos e, consequentemente, sua participação em atividades (Mattioli, 2014; Kenyon; Lyons; Rafferty, 2002).

Ademais, a literatura ressalta a elevada importância da educação na melhoria da qualidade de vida dos indivíduos (Lucas, 2012), sendo considerada uma necessidade primária e, por conseguinte, essencial ao ser humano (Pereira; Schwanen; Banister, 2017). Nesse contexto, *baixos níveis de escolaridade* constituem-se como fatores de risco atrelados à um cenário de exclusão social (Kenyon; Lyons; Rafferty, 2002; Luz; Portugal, 2022). O referido risco pode se manifestar de diversas formas, dentre as quais pode-se destacar a

impossibilidade de acessar determinada oportunidade de emprego, atrelada a uma melhor remuneração, devido à falta de qualificação, o que, por sua vez, torna-se um impeditivo à saída de um cenário de exclusão (Social Exclusion Unit, 2003; Lucas, 2011).

Percebe-se, nesse contexto, a relação retroalimentada entre os níveis de escolaridade e a renda dos indivíduos (Kenyon; Lyons; Rafferty, 2002), sendo o impacto da renda na educação percebido pelos custos associados ao transporte, que podem interferir no processo decisório de onde estudar, sendo a escolha baseada na distância à oportunidade e não na qualidade do ensino (Social Exclusion Unit, 2003); ou ainda impossibilitar o acesso dos indivíduos a espaços educacionais (Lucas, 2011). Por outro lado, o impacto da educação (ou da falta dela) na renda dos indivíduos manifesta-se na manutenção dos baixos níveis de renda em decorrência da impossibilidade de ascensão profissional pela falta de qualificação a oportunidades melhor remuneradas.

Evidências empíricas encontradas por Luz *et al.* (2022) corroboram com os argumentos anteriormente expostos ao constatar, no contexto latino-americano, que quanto menor o nível de escolaridade, menor a quantidade de atividades recreacionais e de lazer em que o indivíduo efetivamente participa; o que, por sua vez, pode indicar, dentre outros aspectos, restrições orçamentárias que impossibilitam a participação em atividades não essenciais, sendo isto, notadamente, fruto de uma menor qualificação profissional, com consequente impacto na remuneração do indivíduo.

Por fim, a literatura aponta que o *gênero* de um indivíduo influencia no seu nível de participação em atividades e, por conseguinte, no seu risco de exclusão social (Kwan, 1999; Hine, 2004; Casas, 2007; McCray; Brais, 2007; Engels; Liu, 2011). Para Kwan (1999), isto se dá, notadamente, devido às maiores restrições espaço-temporais experienciadas por mulheres, em decorrência de suas responsabilidades com a casa e com o trabalho (McCray; Brais, 2007). As evidências empíricas encontradas por Siqueira *et al.* (2022), representativas do contexto de grandes metrópoles brasileiras, vão ao encontro dos argumentos expostos anteriormente ao apontar que as atribuições domésticas das mulheres são, em média, superiores às dos homens, o que, por sua vez, limita sua inserção no mercado de trabalho.

Outro aspecto atrelado ao maior número de restrições para indivíduos do sexo feminino está associado à disponibilidade de um automóvel. Os resultados encontrados por Hine (2004) evidenciaram diferenças entre homens e mulheres no acesso a bens e serviços, devido, notadamente, à disponibilidade deste modo de transporte, estando em consonância com a ideia de que homens têm prioridade sobre o uso dos veículos, o que, por conseguinte, implica em uma acessibilidade reduzida para mulheres em decorrência da menor posse e uso

de veículos motorizados individuais (Siqueira *et al.*, 2022); com consequente pressão sobre seu orçamento de tempo, devido à necessidade de utilização do transporte público, atrelados a restrições nas distâncias médias percorridas e maiores tempos de viagem (McCray; Brais, 2007; Siqueira *et al.*, 2022).

Diante do que foi exposto, com relação às relações de causalidade evidenciadas entre as restrições individuais de determinados segmentos populacionais e o nível de participação em atividades dos indivíduos, percebe-se que estas exercem considerável influência em seu risco de ESRT, sendo este notadamente manifestado na forma de: *exclusão de oportunidades*, dado o contexto de segregação socioespacial vivenciado pelos indivíduos de baixa renda; *econômica*, devido aos elevados custos para se deslocar, com consequente impacto sobre o orçamento familiar; *física*, devido às limitações experienciadas por indivíduos com idade elevada; e *temporal*, decorrente dos elevados tempos de deslocamento para acessar às oportunidades, com impacto significativo sobre o orçamento de tempo do indivíduo para a realização de outras atividades.

2.4.3 Relações de causalidade entre os subsistemas de uso do solo e transportes e a participação em atividades

A seção anterior, dentre outros aspectos, evidenciou relações de causalidade entre uso do solo, renda dos indivíduos (Ureta, 2008; Lucas, 2011; Oviedo; Sabogal, 2020) e disponibilidade de veículos motorizados individuais (Fárber; Paez, 2011; Mattioli, 2014). Nesse contexto, em complemento ao que foi exposto, Ma, Kent e Mulley (2018) mencionam que o padrão espacial de uso do solo, associado ao planejamento territorial (Van Wee; Geurs, 2011), possui considerável influência na decisão locacional do indivíduo. Assim, considerando um contexto de concentração de atividades essenciais (Denmark, 1998), percebe-se um decaimento no gradiente de preços das residências à medida que a distância às oportunidades aumenta - segregando determinados segmentos populacionais e, consequentemente, elevando as distâncias que estes percorrem diariamente, bem como seu tempo de deslocamento - conforme evidências empíricas encontradas no contexto da América-Latina (Bocarejo; Oviedo, 2012); o que, por sua vez, associa-se a um maior comprometimento de seu orçamento familiar.

Em oposição a esse contexto, alterações no padrão espacial de uso do solo podem estar associadas à descentralização de oportunidades essenciais através de uma maior diversificação do uso do solo em regiões periféricas; permitindo, por conseguinte, uma

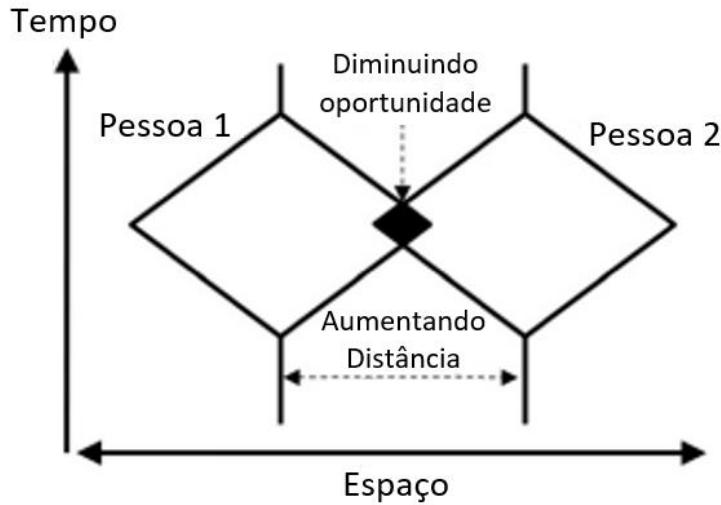
redução considerável nos tempos de deslocamento e nas distâncias percorridas diariamente por segmentos populacionais vulneráveis. Ademais, as referidas alterações contribuem diretamente para uma maior utilização de modos ativos de transporte, reduzindo a necessidade de modos motorizados individuais e, consequentemente, impactando positivamente o orçamento familiar, em decorrência da redução nos custos com transporte (Ma; Kent; Mulley, 2018).

Nesse contexto, visto que comunidades segregadas estão associadas a uma baixa diversidade de uso do solo (Yang, 2008), e que as distâncias de viagem estão diretamente relacionadas às externalidades negativas advindas do transporte (Scheiner, 2010), promover uma diversificação do uso do solo, notadamente em regiões vulneráveis, possibilita maiores investimentos monetários e temporais em outras necessidades específicas de viagem; antes inviáveis em termos de custo e tempo devido às elevadas distâncias enfrentadas (Marquet; Miralles-Guasch, 2014). Sendo assim, a promoção de uma acessibilidade local, evidenciada pela maior proximidade às oportunidades, ao reduzir a necessidade de grandes deslocamentos, impacta diretamente no subsistema de transportes através da redução dos carregamentos na rede (Marquet; Bedoya; Miralles-Guasch, 2016), contribuindo para a diminuição do risco de exclusão social à medida que alivia as restrições espaço-temporais de grupos sociais com baixos níveis de acessibilidade (Boussauw; Van Meeteren; Witlox, 2014).

A relação supracitada entre os subsistemas de uso do solo e transportes é amplamente reconhecida na literatura e se dá de diversas formas, a exemplo do que foi apresentado na Figura 14, onde a expansão urbana corrobora diretamente para o desenvolvimento de sistemas de transportes orientados ao automóvel, que, por sua vez, modificam os padrões de uso do solo em um ciclo contínuo entre os referidos subsistemas. No entanto, cidades com altos níveis de motorização estão diretamente associadas a elevados níveis de congestionamento, com consequente redução das velocidades de deslocamento, e, por conseguinte, das distâncias passíveis de serem percorridas durante as horas de pico (Lee *et al.*, 2009), acarretando em perdas significativas em termos de acessibilidade quando comparadas a cidades mais densas e com usos de solo diversificados (Farber; Páez, 2011).

Nesse contexto, para Farber e Páez (2011), a dispersão das atividades, somada aos altos níveis de congestionamento decorrentes da crescente motorização restringe a habilidade dos indivíduos de efetivamente participarem de atividades discricionárias, bem como de desenvolverem interações sociais (Figura 15).

Figura 15: Oportunidade de interação entre indivíduos.



Fonte: Adaptado e traduzido de Farber e Páez (2011)

Sendo assim, apesar de teoricamente maiores níveis de motorização estarem associados a uma maior capacidade de alcançar as localidades, as elevadas distâncias e a operação da rede viária acima de sua capacidade comprometem o orçamento de tempo dos indivíduos, inviabilizando sua participação efetiva na sociedade e, consequentemente, elevando o seu risco de exclusão social.

Percebe-se, portanto, que, em se tratando das relações de causalidade entre os subsistemas de uso do solo e transportes e a participação em atividades dos indivíduos, os referidos subsistemas podem contribuir positiva ou negativamente para o risco de ESRT, estando associados, notadamente: à *exclusão de oportunidades*, decorrentes dos padrões dispersos e pouco diversificados de uso do solo; e à *exclusão temporal*, associada aos altos níveis de congestionamento, com consequente impacto sobre as velocidades e, por conseguinte, sobre os tempos de deslocamento dos indivíduos, reduzindo o número de oportunidades acessíveis a este em uma dada janela de tempo.

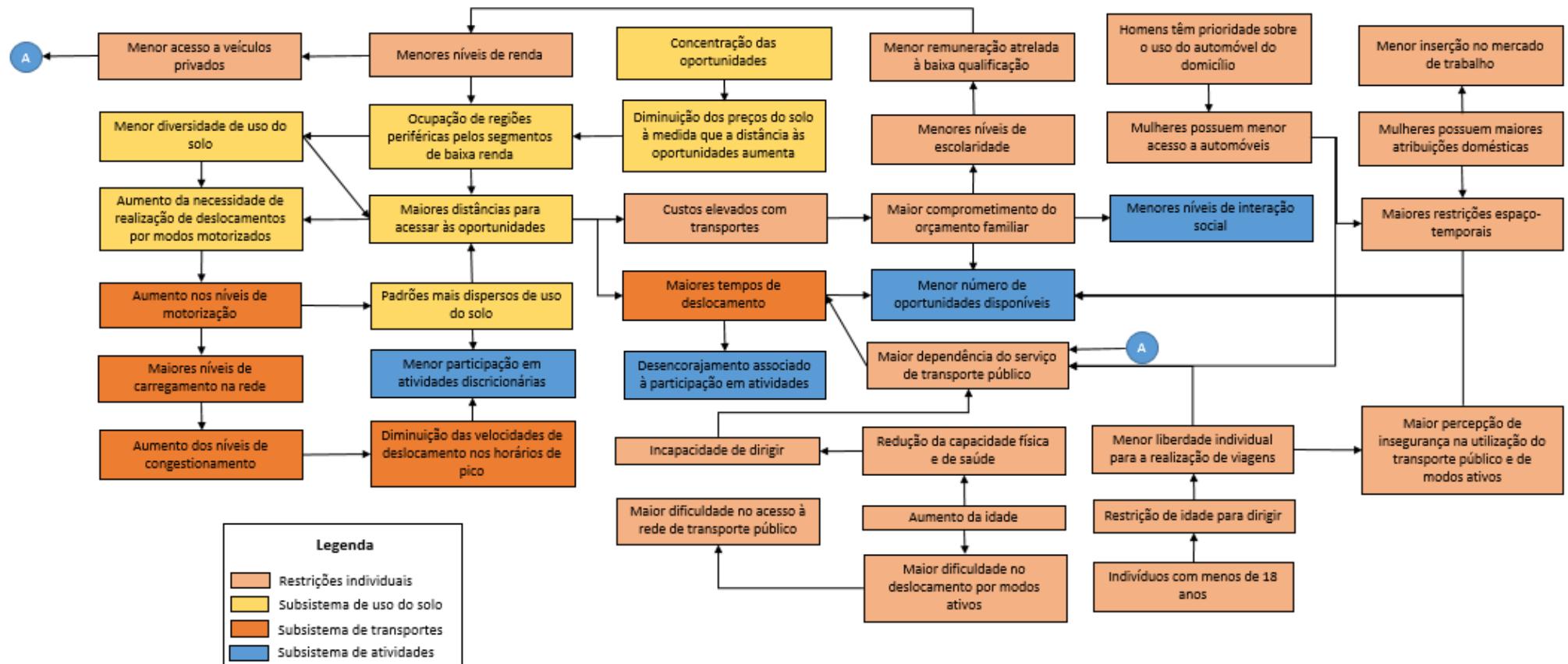
2.4.4 Mapa mental das relações de causalidade

A partir dos argumentos expostos nas seções anteriores, elaborou-se o mapa mental apresentado na Figura 16, que apresenta de forma sistemática as relações de causalidade entre os componentes da acessibilidade e a participação em atividades dos indivíduos, sendo: o componente individual manifestado, notadamente, através das restrições no acesso a veículos motorizados individuais, decorrentes de atributos relacionados aos indivíduos; o componente locacional, representado, essencialmente, pelos padrões de uso do

solo associados à promoção de desigualdades; e o componente infraestrutural atrelado ao desempenho observado e percebido das redes de transporte. Ressalta-se que, com relação ao componente temporal da acessibilidade, este apresenta-se indiretamente através do reconhecimento dos impactos sobre o orçamento de tempo dos indivíduos, que, por sua vez, tendem a diminuir o seu espectro de oportunidades disponíveis devido ao fato de que as atividades possuem duração e horários de funcionamento previamente delimitados.

Nesse sentido, a partir do mapa elaborado com base na representação conceitual apresentada na Figura 12, assim como em estudos empíricos revisados, é possível perceber como fatores sociodemográficos como renda, idade, escolaridade e gênero, bem como a restrição no acesso aos modos de transporte, notadamente, a veículos motorizados individuais, interagem com os subsistemas de transportes e uso do solo, impactando direta e indiretamente o nível de acesso dos indivíduos às atividades; contribuindo, por conseguinte, para um maior ou menor risco de exclusão social relacionada a transportes.

Figura 16: Mapa mental das relações de causalidade entre acessibilidade e participação em atividades.



Fonte: Elaborado pelo autor

2.5 Considerações finais

No decorrer deste capítulo, consolidou-se, *a priori*, o entendimento de que a acessibilidade possui um caráter multidimensional, atuando espacial e temporalmente tanto no contexto decisório quanto na participação efetiva dos indivíduos nas diversas atividades que estes desejam realizar. Nesse contexto, os componentes individual, temporal, infraestrutural e locacional da acessibilidade foram enquadrados na referida perspectiva de influência, de modo não apenas a reconhecer a acessibilidade como central neste processo, mas, notadamente, de compreender, através da representação conceitual apresentada na Figura 12, como esta influência se desenvolve no nível do indivíduo, em um contexto de tomada de decisão da sua participação em atividades.

Em seguida, buscou-se, baseado na representação conceitual, estruturar as relações de causalidade atreladas aos componentes da acessibilidade e a participação em atividades no nível do indivíduo, na perspectiva da exclusão social relacionada a transportes. Para tanto, foram inicialmente apresentadas as diversas tipologias associadas a este tipo de exclusão social, ressaltando sua estreita relação com a representação conceitual adotada, de modo a investigar possíveis relações de causa e efeito atreladas, notadamente, a restrições individuais, bem como aos subsistemas de uso do solo e transportes.

Por fim, de modo a melhor visualizar como as referidas relações interagem entre si e como impactam no nível de participação em atividades dos indivíduos, foram estruturadas hipóteses de causalidade, apresentadas na Figura 16, que servirão de base para a elaboração do diagrama causal, de modo a desenvolver a proposta metodológica de análise da relação causal entre acessibilidade e participação em atividades sob a ótica da ESRT que será apresentada no Capítulo 4. Nesse contexto, a partir da estruturação de um mapa mental das relações de causalidade dos componentes da acessibilidade sobre a participação em atividades, através da consolidação de uma representação conceitual dos determinantes das decisões de atividade, este capítulo buscou atender o primeiro objetivo específico desta dissertação.

Sendo assim, o capítulo subsequente buscará, com base em uma revisão de literatura, identificar lacunas na formulação dos modelos atrelados à investigação da relação entre acessibilidade e participação em atividades sob o ponto de vista da lógica da inferência causal, visando atender o segundo objetivo específico desta dissertação, servindo também de base para a construção da proposta metodológica apresentada no Capítulo 4.

3 ANÁLISE CRÍTICA DOS ESFORÇOS DE INVESTIGAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE ACESSIBILIDADE E PARTICIPAÇÃO EM ATIVIDADES

3.1 Introdução

Na modelagem estatística, a endogeneidade se manifesta através da correlação entre as variáveis explicativas e os erros residuais atrelados ao modelo de regressão, o que, por sua vez, compromete a consistência dos estimadores, enviesando os resultados obtidos e, por conseguinte, impedindo a identificação de relações de causalidade entre as variáveis explicativas atribuídas ao modelo e a variável dependente.

Wooldridge (2012) menciona três fontes principais de endogeneidade nos modelos de regressão: omissão de variáveis, erros de medição e simultaneidade. No contexto da relação entre acessibilidade e participação em atividades, Luz *et al.* (2022) argumentam que, na prática, as medidas de acessibilidade utilizadas apenas capturam alguns dos componentes que influenciam na possibilidade de participação dos indivíduos, estando, portanto, sujeitas a erros de endogeneidade decorrentes da omissão de variáveis. O referido argumento encontra fundamento na literatura, que afirma que cada medida de acessibilidade captura apenas uma faceta do que a acessibilidade representa (Thill; Kim, 2005), bem como das interações dos indivíduos com a estrutura espacial e a distribuição de oportunidades (Fransen *et al.*, 2018).

Ademais, erros de medição são frequentes no contexto da relação entre acessibilidade e participação em atividades, podendo estar atrelados, por exemplo, a erros na determinação da posição atual do indivíduo, associados ao cálculo de indicadores de acessibilidade baseados em localização. Ademais, em se tratando de indicadores de acessibilidade baseados em dados de GTFS, estes também podem relacionar-se a erros de mensuração, visto que, mesmo dispondo dos referidos dados, estes, em sua maioria, refletem uma tabela horária planejada da operação do transporte público, podendo, portanto, apresentar divergências significativas em relação ao que de fato está ocorrendo na realidade observada (Luz *et al.*, 2022).

Por fim, no que diz respeito à ocorrência de simultaneidade, que acontece quando uma ou mais variáveis explicativas são determinadas de forma conjunta com a variável dependente (Wooldridge, 2012), esta associa-se à incapacidade dos modelos estatísticos em determinar o sentido real da relação de causalidade. Visto que, como argumenta Hoyle (2012), a interpretação de uma estimativa estatística de efeitos diretos como um indicativo de causalidade assume que o modelo proposto está correto, ou seja, que X causa Y ou que X e Y

causam um ao outro de maneira recíproca. Sendo assim, a existência de uma correlação significativa entre duas variáveis ignora a possibilidade de que o sentido da causalidade seja inverso ao sentido assumido pelo modelo ou que haja uma relação de retroalimentação (Siqueira, 2020), manifestada, notadamente, quando as variáveis que constituem o modelo influenciam-se mutuamente em um processo contínuo (Luz *et al.*, 2022).

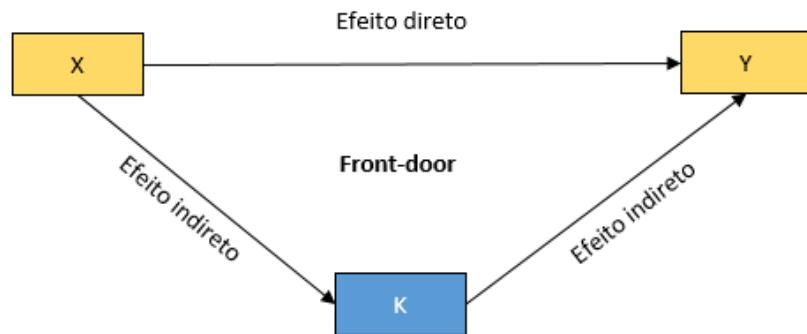
Nesse contexto, este capítulo vai ao encontro do segundo objetivo específico desta dissertação, buscando identificar lacunas na formulação dos modelos associados à investigação da relação entre acessibilidade e participação em atividades, relativas, notadamente, à existência de viés nos coeficientes estimados - sob o ponto de vista da lógica da inferência causal – tendo em vista que a divergência de resultados na literatura científica pode estar associada à ocorrência de endogeneidade na formulação dos modelos propostos.

3.2 Identificação de efeitos causais atrelados à relação entre acessibilidade e participação em atividades

Para Hoyle (2012), para que se possa inferir uma relação causal entre duas variáveis, cinco condições gerais devem ser satisfeitas: i) a causa presumida deve ocorrer antes do efeito presumido, ou seja, deve existir uma *precedência temporal*; ii) existe *associação* ou uma covariação observada entre X e Y; iii) existe *isolamento*, isto é, não há variáveis de confundimento, que, porventura, também exerçam efeito sobre Y; iv) a *forma da distribuição* dos dados é conhecida; e v) a *direção da relação de causalidade* está corretamente especificada.

Nesse contexto, os diagramas causais se apresentam como uma ferramenta útil na investigação das relações de causalidade entre as variáveis de um fenômeno (Pearl, 2000). Neste mecanismo de representação da relação causal entre as variáveis de interesse, os vértices são representativos das variáveis, enquanto as setas apresentam as direções de causalidade hipotetizadas entre estas. Ademais, de acordo com a teoria da inferência causal, denominam-se *caminhos de front-door*, os caminhos, definidos pelas hipóteses de efeitos causais, que se formam entre as variáveis de interesse, podendo estes ser diretos ou indiretos; neste último caso, mediados por variáveis intermediárias. A Figura 17 representa graficamente os conceitos anteriormente apresentados; nesta é possível visualizar os caminhos de *front-door* entre as variáveis X e Y, com a variável K mediando a relação indireta entre as referidas variáveis.

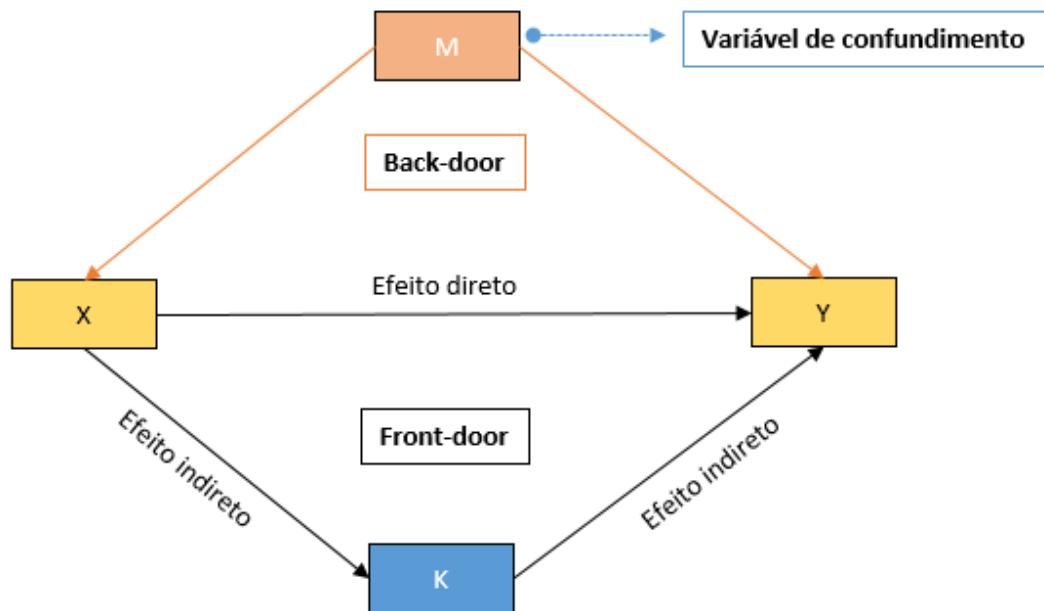
Figura 17: Diagrama causal ilustrativo dos caminhos de *front-door*.



Fonte: Elaborado pelo autor

Por outro lado, denominam-se *back-doors* os caminhos não direcionados decorrentes de causas comuns (variáveis de confundimento) entre as variáveis de interesse (Figura 18), estando associados a fontes de endogeneidade no diagrama causal, visto que geram correlações espúrias entre X e Y, atribuindo viés ao efeito causal de interesse. Nesse contexto, como argumenta Pearl (2000), a fim de identificar o efeito causal entre duas variáveis de interesse, faz-se necessário estabelecer um conjunto de variáveis de controle, de modo a bloquear todas as fontes de endogeneidade atreladas ao diagrama proposto. Sendo assim, os efeitos causais entre duas variáveis podem ser estimados quando todos os caminhos de *back-door* são bloqueados através do controle de variáveis, restringindo a transmissão dos efeitos causais aos caminhos de *front-door*.

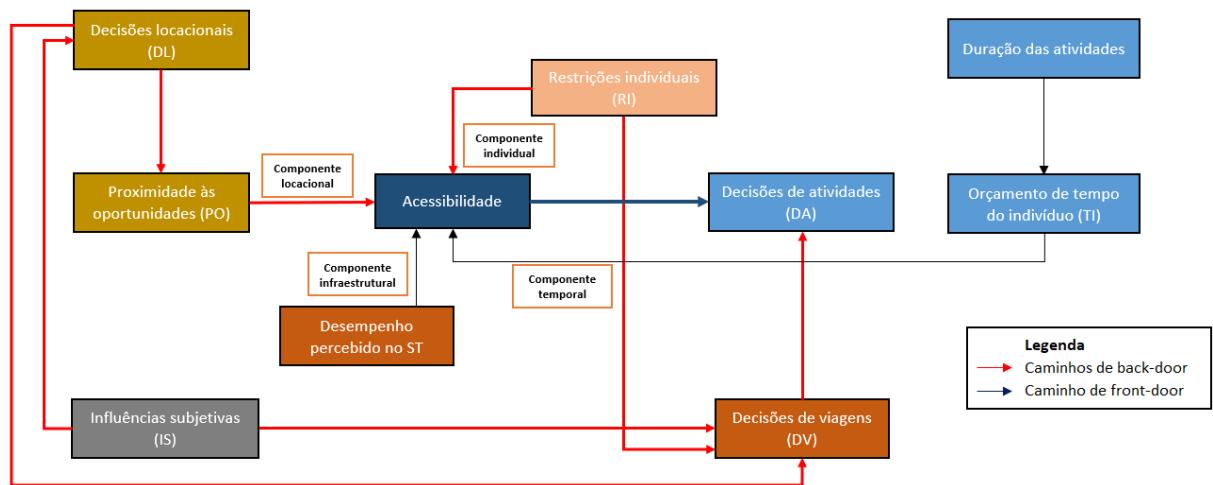
Figura 18: Diagrama causal ilustrativo dos caminhos de back-door.



Fonte: Elaborado pelo autor

Diante disso, é possível, a partir da representação conceitual apresentada na Figura 12, identificar os caminhos de *front-door* e *back-door* na relação entre acessibilidade e participação em atividades; sendo esta última representada pela demanda por atividades de acordo com a referida representação. A Figura 19 apresenta as relações causais atreladas à relação de interesse. Nesta, é possível identificar um único caminho de *front-door*, sendo este representado por um efeito direto da acessibilidade, manifestada, notadamente, pelos componentes infraestrutural e temporal, sobre as decisões de atividade do indivíduo.

Figura 19: Caminhos de *front-door* e *back-door* na relação entre acessibilidade e demanda por atividades.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ademais, é possível identificar três caminhos de *back-door* atrelados à relação de interesse. O primeiro está relacionado à influência mútua que as decisões locacionais (DL) exercem na acessibilidade (AC), através da proximidade às oportunidades (PO), como também nas decisões de atividades (DA), mediada pelas decisões de viagens (DV). O segundo caminho representa o efeito das restrições individuais (RI), que impactam indiretamente a demanda por atividades, através das decisões de viagens, assim como diretamente a acessibilidade através de seu componente individual. Já o terceiro caminho de *back-door* representa o efeito das influências subjetivas (IS), que impactam indiretamente a acessibilidade e as decisões de atividades através, respectivamente, das decisões locacionais e das decisões de viagens. Os referidos caminhos podem ser identificados tal como se segue:

$$AC \leftarrow PO \leftarrow DL \rightarrow DV \rightarrow DA$$

$$AC \leftarrow PO \leftarrow DL \leftarrow IS \rightarrow DV \rightarrow DA$$

$$AC \leftarrow RI \rightarrow DV \rightarrow DA$$

Portanto, o conjunto de variáveis de controle que bloqueia as *back-doors* explicitadas e, por conseguinte, impede que correlações espúrias sejam transmitidas à relação entre acessibilidade e participação em atividades é composto pelas variáveis *restrições individuais e proximidade às oportunidades*. A primeira decorre de interações familiares atreladas ao estágio de vida do indivíduo, à condição socioeconômica familiar e à estrutura familiar; que, por sua vez - através de fatores como permissão para condução veicular, restrições orçamentárias para transportes e disponibilidade de veículos privados - restringem o acesso aos modos de transporte, refletindo o componente individual da acessibilidade (Siqueira, 2020). A segunda, por sua vez, reflete o componente locacional da acessibilidade.

Nesse contexto, analisando os caminhos de *front-door* e *back-door* fica clara a importância da incorporação da acessibilidade em seus quatro componentes no esforço de investigação da referida relação de interesse. Ressalta-se ainda que no diagrama apresentado na Figura 19, a fim de evitar efeitos de *feedback* - visto que um diagrama causal, por definição, deve ser acíclico - não foram consideradas as influências exercidas pelas decisões de atividades em nenhum outro componente concernente ao modelo. Entende-se, no entanto, que a omissão das referidas relações não se constitui como um limitante no entendimento da relação causal entre acessibilidade e participação em atividades, visto que nenhuma das relações omitidas está atrelada a um possível caminho de *back-door*. Outrossim, a ênfase do referido trabalho reside na consolidação dos componentes da acessibilidade como determinantes das decisões de atividade do indivíduo, e, portanto, este não se propõe a investigar os efeitos decorrentes do referido processo decisório.

Com base no que foi exposto, a próxima seção busca analisar criticamente os esforços de investigação da relação entre acessibilidade e participação em atividades, verificando em que medida esses controlaram as possíveis fontes de viés associadas aos modelos propostos, incorporando, em sua completude, os quatro componentes da acessibilidade, conforme detalhado ao longo desta seção.

3.3 Revisão dos esforços de investigação da relação entre acessibilidade e participação em atividades sob à perspectiva da inferência causal

Diversos trabalhos se propuseram a analisar a relação entre acessibilidade e participação em atividades, tanto no nível do indivíduo quanto no nível do domicílio, utilizando diferentes modelos e medidas de acessibilidade. Sendo assim, ressalta-se que esta seção não se propõe a exaurir a totalidade dos trabalhos referentes a esta temática. Antes, se

propõe a evidenciar, à luz da teoria da inferência causal, com base no mecanismo causal apresentado na Figura 19, lacunas na modelagem da referida relação que podem estar influenciando, como apontado por Luz *et al.* (2022), divergências nos resultados empíricos encontrados na literatura.

Para tanto, revisaram-se trabalhos que objetivaram investigar o efeito da acessibilidade sobre a participação em atividades de indivíduos ou domicílios, analisando-os quanto ao controle das *back-doors* explicitadas na seção anterior, estando estas atreladas à incorporação das restrições individuais, manifestadas pelas interações familiares e pela restrição no acesso aos modos de transporte (componente individual da acessibilidade), bem como da proximidade às oportunidades (componente locacional da acessibilidade). Ademais, os referidos trabalhos também foram analisados quanto à incorporação em completude do efeito de *front-door* atrelado à relação entre acessibilidade e participação em atividades, através da consideração dos componentes infraestrutural e temporal da acessibilidade, tal como evidenciado na seção anterior.

As seções subsequentes discorrem acerca do processo de investigação supracitado, relativo a cada um dos trabalhos revisados, apoiando-se no mecanismo causal apresentado na Figura 19.

3.3.1 Wermuth (1982)

Wermuth (1982) se propôs a analisar os efeitos hierárquicos de características pessoais atreladas ao indivíduo, bem como de características associadas ao domicílio e à sua respectiva localização espacial, na demanda individual por atividades, sendo estas subdivididas em atividades de trabalho, educação/treinamento, compras, recreação e outras. Sendo assim, utilizando um modelo de análise de variância hierárquico, o autor investigou o efeito das categorias de fatores: características pessoais, características do domicílio e localização do domicílio, nos níveis de participação em atividades dos indivíduos.

No tocante às características pessoais dos indivíduos, foram utilizados fatores associados à idade, ao sexo, à ocupação e à disponibilidade de automóveis do indivíduo. Ademais, no que diz respeito às características do domicílio, consideraram-se fatores como tamanho e renda do domicílio, tipo de residência e posse de automóvel. Por fim, com relação às características atreladas à localização do domicílio, incorporaram-se fatores relacionados à estrutura social do ambiente residencial, bem como à acessibilidade a serviços e atividades.

Nesse contexto, reconhece-se que através da incorporação do componente locacional, manifestado nas características locacionais do domicílio - que incluem, dentre outros fatores, uma medida de acessibilidade atrelada ao subsistema de uso do solo – e do componente individual da acessibilidade, atrelado à consideração da disponibilidade de veículos individuais privados para cada indivíduo; que, por sua vez, reflete a restrição deste no acesso aos modos de transporte, o trabalho teve êxito em controlar os caminhos de *back-door* relativos à relação entre acessibilidade e participação em atividades, impedindo a transmissão de correlações espúrias ao efeito de interesse. Além disso, menciona-se que este foi bem-sucedido em considerar as interações relacionadas ao estágio de vida do indivíduo - manifestado pela consideração da variável *idade*, e à condição socioeconômica familiar; através da inserção da renda domiciliar ao modelo.

No entanto, o trabalho não considerou a percepção do indivíduo sobre o desempenho do subsistema de transportes, bem como as pressões sobre o orçamento de tempo deste em decorrência da realização das atividades; o que, por conseguinte, reflete a não incorporação ao modelo dos componentes infraestrutural e temporal da acessibilidade, respectivamente. Dessa forma, entende-se, pelo que foi explicitado na seção anterior, que os coeficientes estimados possuem fontes de viés, atreladas, notadamente à omissão de variáveis representativas do caminho de *front-door* na relação entre acessibilidade e participação em atividades.

A Tabela 1 sintetiza o detalhamento referente ao trabalho de Wermuth (1982) quanto aos aspectos anteriormente considerados.

Tabela 1: Síntese da análise do trabalho de Wermuth (1982).

Modelo estatístico	Medida de acessibilidade	Componente(s) da acessibilidade incorporado(s) ao modelo
ANOVA aninhada	Baseada em localização (características locacionais do domicílio) Disponibilidade de automóveis ao indivíduo	locacional individual

Fonte: Elaborado pelo autor

3.3.2 Golob (2000)

Por sua vez, Golob (2000) desenvolveu um modelo de geração de viagens, baseado em equações estruturais, no nível do domicílio, que conjuntamente incorporou três conjuntos de variáveis endógenas, a saber: participação em atividades, encadeamento de viagens e tempo de viagem, como uma função das características do domicílio. Nesse contexto, a participação em atividades foi incorporada ao modelo através do tempo gasto em atividades, fora do domicílio, relacionadas e não relacionadas ao trabalho. Outrossim, o modelo dispôs de variáveis exógenas relacionadas à demografia do domicílio, a variáveis socioeconômicas e a variáveis relativas a diferenças na utilização do tempo em diferentes dias da semana.

Ademais, foram consideradas, separadamente, quatro medidas de acessibilidade, incorporadas ao modelo como variáveis exógenas, sendo duas delas caracterizadas pela quantidade total de empregos e pela quantidade total de empregos no setor de varejo, considerando um limiar de distância equivalente a uma milha de cada domicílio; podendo, por conseguinte, ser entendidas como medidas de oportunidades cumulativas. Enquanto as outras duas incorporaram a atratividade no nível da zona, onde cada medida de acessibilidade atribuiu à atratividade da zona uma característica específica, a saber: o total de empregos e o total de domicílios. Vale ressaltar que para o segundo conjunto de medidas também foram incorporados à análise os tempos de viagem entre as zonas, representativos das impedâncias ao deslocamento.

Diante disso, percebe-se que o modelo, por meio dos indicadores utilizados, incorporou à análise o componente locacional da acessibilidade, notadamente através da distribuição espacial das oportunidades consideradas, o que, por conseguinte, implica que este foi capaz de controlar o caminho de *back-door* vinculado ao subsistema de uso do solo, incorporando variáveis de controle que atestam a proximidade às oportunidades. Por outro lado, apesar da incorporação de interações familiares – atreladas à condição socioeconômica familiar, considerada através da renda do domicílio, e à estrutura familiar, manifestada pela consideração da presença de adultos e crianças no domicílio - diferente do que foi observado em Wermurth (1982), a restrição no acesso aos modos para cada indivíduo não foi explicitamente mensurada. Dessa forma, argumenta-se que o trabalho não incorporou o componente individual da acessibilidade - e, consequentemente, a totalidade das restrições atreladas ao indivíduo - implicando na transmissão de correlações espúrias aos coeficientes

estimados devido ao caminho de *back-door* decorrente da influência mútua que as *restrições individuais* exercem sobre sua acessibilidade e suas decisões de atividades.

Outrossim, reconhece-se que o referido trabalho logrou êxito em incorporar os componentes infraestrutural, mediante a consideração das impedâncias associadas ao deslocamento, e temporal da acessibilidade, através da incorporação do efeito da duração de atividades relacionadas ao trabalho (mandatórias) sobre atividades não relacionadas ao trabalho (não mandatórias) - levando em conta as pressões sobre o orçamento de tempo dos indivíduos - representado em completude o caminho de *front-door* apontado no diagrama da Figura 19.

A Tabela 2 sintetiza o detalhamento referente ao trabalho de Golob (2000) quanto aos aspectos anteriormente considerados.

Tabela 2: Síntese da análise do trabalho de Golob (2000).

Modelo estatístico	Medida de acessibilidade	Componente(s) da acessibilidade incorporado(s) ao modelo
Modelagem de Equações Estruturais (SEM)	Baseada em localização (indicador de oportunidades cumulativas) Baseada em utilidade Duração de atividades mandatórias e não mandatórias	locacional infraestrutural temporal

Fonte: Elaborado pelo autor

3.3.3 *Zhang (2005)*

Zhang (2005) se propôs a investigar a relação entre a forma urbana, considerando uma medida de acessibilidade gravitacional, e a participação dos indivíduos em atividades não relacionadas ao trabalho e realizadas fora do domicílio, subdivididas em escola, compras, pessoais, sociais, transporte de terceiros e outras, através de uma perspectiva temporal. Nesse contexto, para além da participação em atividades, o autor incorporou à análise a duração e a frequência das viagens para a realização de determinada atividade. Assim, este considerou não apenas o tempo consumido por cada atividade, como também o percentual de tempo que cada atividade demanda, considerando um orçamento de tempo fixo de 24 horas.

Ademais, baseado na teoria econômica de alocação de recursos, *Zhang (2005)* argumenta que a alocação de tempo pelos indivíduos constitui-se como uma decisão de escolha, que, por conseguinte, determina como uma dada unidade de tempo será gasta. Nesse

sentido, para modelar o processo decisório relativo a como cada indivíduo aloca seu tempo nas diferentes atividades supracitadas, o autor fez uso de modelos de regressão logística, considerando a probabilidade de uma dada unidade de tempo ser alocada em uma atividade específica como uma função de um conjunto de variáveis explicativas, composto por: idade, gênero, número de pessoas e de crianças no domicílio, número de veículos por pessoa, renda domiciliar, permissão do indivíduo para dirigir, regime de trabalho do indivíduo e acessibilidade. Vale ressaltar que, com relação à medida de acessibilidade utilizada, a atratividade do destino, no nível da zona, foi mensurada através do número de empregos em cada zona, sendo consideradas diferentes tipologias de emprego a depender do tipo de atividade considerada.

Sendo assim, no contexto supracitado, reconhece-se que o caminho de *front-door* foi incorporado em completude. Primeiro, através da consideração do componente temporal da acessibilidade no modelo desenvolvido - dado que o autor levou em conta explicitamente o impacto da realização de atividades no orçamento de tempo do indivíduo. Depois, pela incorporação do componente infraestrutural da acessibilidade por meio da medida gravitacional considerada; que levou em conta a impedância de viagem atrelada ao deslocamento, considerada neste trabalho como a média de tempo de viagem entre zonas por carro e por transporte público. Estando, desse modo, em concordância com o diagrama apresentado na Figura 19.

Com relação aos caminhos de *back-door*, fica evidente a incorporação da variável de controle *proximidade às oportunidades* ao modelo, através da distribuição espacial destas no território concernente à região analisada; bloqueando, por conseguinte, a *back-door* atrelada ao subsistema de uso do solo, conforme explicitado na seção anterior. No entanto, entende-se que o referido trabalho não incorporou na totalidade a variável de controle *restrições individuais*, visto que apesar da consideração de fatores como o estágio de vida do indivíduo, manifestado através de sua idade, da condição socioeconômica familiar, atrelada ao nível de renda do domicílio, bem como da estrutura familiar, associada à presença de crianças no domicílio, Zhang (2005), a exemplo de Golob (2000), não incorporou à análise elementos que explicitamente mensurassem a disponibilidade de veículos privados para cada indivíduo, e que, por sua vez, atestassem a restrição individual no acesso aos modos de transporte. Portanto, entende-se, de acordo com o que foi exposto na seção anterior, que há correlações espúrias nos coeficientes estimados no referido trabalho, advindas, notadamente, da influência mútua das restrições individuais sobre a acessibilidade e a demanda por atividades. A Tabela 3

sintetiza o detalhamento referente ao trabalho de Zhang (2005) quanto aos aspectos anteriormente considerados.

Tabela 3: Síntese da análise do trabalho de Zhang (2005).

Modelo estatístico	Medida de acessibilidade	Componente(s) da acessibilidade incorporado(s) ao modelo
Regressão Logística	Baseada em localização (indicador gravitacional) Tempo de deslocamento para a realização de atividades e duração das atividades	locacional infraestrutural temporal

Fonte: Elaborado pelo autor

3.3.4 Bhat *et al.* (2013)

Bhat *et al.* (2013), por sua vez, desenvolveram um modelo de geração de padrões de atividades no nível do domicílio, que se propõe a predizer tanto as decisões independentes como as decisões conjuntas de participação em atividades de todos os indivíduos que compõem o domicílio, considerando atividades discricionárias e de manutenção, subdivididas em: compras, manutenção não relacionada a compras, social, entretenimento, visitas a amigos e família, recreação, comer fora, trabalho e outras. Para tanto, os autores fizeram uso de um modelo de alocação de tempo denominado MDCVE (do inglês, *Multiple Discrete Continuous Extreme Value*) capaz de considerar interações domiciliares, onde o componente discreto diz respeito a participar ou não de uma determinada alternativa de atividade e o componente contínuo está relacionado à quantidade de tempo que será investida.

Nesse contexto, considera-se que os domicílios buscam maximizar sua utilidade aleatória, sujeitos à restrição de que a soma de tempo investido nas diversas alternativas de atividade, considerando um período de 24 horas, deve ser igual ao tempo total disponível, considerando todos os membros do domicílio, para a realização de atividades não relacionadas ao trabalho que ocorram fora do âmbito da residência. Além disso, o modelo considera a probabilidade de alocação de tempo do domicílio, levando em conta a duração de cada atividade desenvolvida.

Com relação à acessibilidade, os autores fizeram uso de duas tipologias de métrica, sendo a primeira uma medida de oportunidades cumulativa, baseada no número de oportunidades de atividades alcançáveis em um limiar de tempo equivalente a 10 minutos. Por

outro lado, a segunda medida (do tipo gravitacional), calculada no nível da zona, considerou uma impedância baseada não apenas no tempo de viagem como também no seu custo monetário, sendo consideradas como medidas de atratividade as variáveis: emprego no varejo, emprego no varejo e serviços, emprego total e população.

Ademais, um conjunto de variáveis explicativas, para além das medidas de acessibilidade supracitadas, foi incorporado ao modelo. Estas incluem a *demografia do domicílio*, com variáveis associadas ao número de crianças que vão e que não vão à escola, ao número de idosos, a renda domiciliar e ao número total de veículos; e as *características dos indivíduos* - com variáveis relativas à máxima duração do trabalho entre as pessoas que compõe o domicílio, ao número de crianças, ao número de adultos com responsabilidade de transporte de crianças para atividades escolares, bem como à presença de uma mulher adulta e uma criança no domicílio.

Apreende-se do que foi exposto que o trabalho desenvolvido pelos autores foi bem-sucedido em incorporar os componentes temporal, locacional e infraestrutural da acessibilidade, visto que este considerou explicitamente em sua análise as restrições temporais associadas aos indivíduos que compõe o domicílio, levando em conta a duração das atividades e seu consequente impacto no orçamento de tempo. Ademais, as medidas de acessibilidade utilizadas levaram em conta não apenas a distribuição espacial das diversas oportunidades como também a impedância ao deslocamento, manifestada em termos temporais e monetários. Nesse sentido, como argumentado nos trabalhos de Golob (2000) e Zhang (2005), reconhece-se que o referido trabalho incorporou não apenas o caminho de *front-door* associado à relação entre acessibilidade (composta pelos componentes temporal e infraestrutural) e demanda por atividades, como também a variável de controle atrelada ao componente locacional da acessibilidade, bloqueando a transmissão de correlações espúrias advindas da influência mútua das decisões locacionais sobre a relação de interesse.

Apesar disso, entende-se que, pela não incorporação ao modelo de variáveis que atestem a parcela do orçamento familiar destinada a transportes, a disponibilidade de veículos privados para cada indivíduo e a condição deste quanto à permissão para dirigir, ou seja, o grau de restrição no acesso aos modos - sendo este um reflexo direto do componente individual da acessibilidade - o modelo desenvolvido está sujeito à endogeneidade. Já que, apesar da incorporação à análise de interações familiares associadas à condição socioeconômica, à estrutura familiar e ao estágio de vida dos indivíduos que compõem o domicílio, a variável de controle *restrições individuais* não foi incorporada em completude;

permitindo que a *back-door* relativa à sua influência sobre a acessibilidade, bem como sobre as decisões de atividades, transmita correlações espúrias à relação de interesse.

A Tabela 4 sintetiza o detalhamento referente ao trabalho de Bhat *et al.* (2013) quanto aos aspectos anteriormente considerados.

Tabela 4: Síntese da análise do trabalho de Bhat *et al.* (2013).

Modelo estatístico	Medida de acessibilidade	Componente(s) da acessibilidade incorporado(s) ao modelo
Valor Extremo Múltiplo Discreto	Baseada em localização (indicador de oportunidades cumulativas)	locacional
Contínuo (MDCEV)	Baseada em localização (indicador gravitacional) Duração de atividades discricionárias e de manutenção	infraestrutural temporal

Fonte: Elaborado pelo autor

3.3.5 Merlin (2015)

Merlin (2015) investigou como variações no ambiente construído exercem influência no nível de participação do domicílio em atividades não relacionadas ao trabalho. Para tanto, o autor incorporou à análise três medidas de participação em atividades, a saber: episódios de atividade individual (agregados no domicílio), episódios de atividade do domicílio (atrelados a viagens conjuntas para o mesmo destino, de múltiplos membros do domicílio), e viagens individuais encadeadas com base domiciliar. Ademais, foram consideradas três tipologias de domicílio de acordo com o nível de posse de veículos, partindo da premissa de que a influência que o ambiente construído exerce na participação em atividades é condicionada pela posse de veículos, sendo esses: domicílios sem veículos; domicílios com apenas um veículo e dois ou mais motoristas; e domicílios com quantidade de veículos mínima equivalente à quantidade de motoristas.

Outrossim, o trabalho considerou quatro grupos de variáveis explicativas, atreladas à demanda e à oferta de viagens do domicílio, a relações no domicílio e ao ambiente construído. Dentre as variáveis de demanda estão: número de crianças no domicílio, número de adultos empregados e não empregados no domicílio, renda domiciliar, idade média dos adultos no domicílio e percentual de adultos do sexo feminino. Por outro lado, as variáveis de oferta são compostas por: número de motoristas no domicílio, número de pessoas que

trabalharam ou foram para a escola no dia de viagem, número de pessoas que dirigiram para o trabalho ou para a escola no dia de viagem e média de tempo que os adultos gastam no trabalho.

Ademais, como variáveis de relacionamento atreladas ao domicílio foram consideradas: presença de um casal casado, presença de adultos relacionados, mas não casados, presença de adultos não relacionados e idade da criança mais jovem, sendo esta última variável subdividida em quatro grupos relativos à idade da criança. Por fim, as variáveis de ambiente construído consideradas incluem variáveis relativas à densidade populacional, residencial e de empregos, bem como ao tamanho de área urbana e de área metropolitana nas regiões de estudo consideradas. Vale ressaltar que o autor optou pela utilização de um modelo de regressão binomial negativo, sendo realizadas, de acordo com as categorizações anteriormente mencionadas, 36 regressões.

Nesse contexto, reconhece-se no referido trabalho o controle da *back-door* atrelada à influência do subsistema de uso do solo sobre a relação entre acessibilidade e participação em atividades - através da incorporação do componente locacional da acessibilidade - mediante a consideração de variáveis atreladas ao ambiente construído; impedindo a transmissão de correlações espúrias decorrentes do referido caminho à relação de interesse. Apesar disso, entende-se que os coeficientes estimados no referido trabalho estão sujeitos à endogeneidade, dado que apesar da ampla consideração da influência exógena das interações familiares, a análise não incorporou variáveis atreladas à restrição individual no acesso aos modos de transporte, impossibilitando, por conseguinte, o controle do caminho de *back-door* associado à influência mútua das restrições individuais sobre a relação de interesse e, consequentemente, transmitindo correlações espúrias aos coeficientes estimados.

No tocante ao caminho de *front-door* e, consequentemente, à consideração dos componentes temporal e infraestrutural à análise, reconhece-se a incorporação, em certa medida, do componente temporal da acessibilidade pela inserção de uma variável explicativa ao modelo relativa a restrições temporais, sendo relacionada ao tempo gasto em atividades de trabalho. Outrossim, devido a não incorporação ao modelo de variáveis explicativas concernentes ao desempenho percebido do subsistema de transportes, argumenta-se que este não considerou o componente infraestrutural da acessibilidade e, consequentemente, o caminho de *front-door* não foi considerado em completude no referido trabalho, estando, em consequência disso, sujeito a fontes de viés devido à omissão de variáveis importantes à explicação da relação de interesse.

A Tabela 5 sintetiza o detalhamento referente ao trabalho de Merlin (2015) quanto aos aspectos anteriormente considerados.

Tabela 5: Síntese da análise do trabalho de Merlin (2015).

Modelo estatístico	Medida de acessibilidade	Componente(s) da acessibilidade incorporado(s) ao modelo
Regressão Binomial Negativa	Baseada em localização (densidade de empregos e domicílios) Tempo gasto na realização de atividades mandatórias	locacional temporal

Fonte: Elaborado pelo autor

3.3.6 Fransen *et al.* (2018)

Fransen *et al.* (2018) se propuseram a modelar a participação em atividades discricionárias no nível do indivíduo utilizando uma medida de acessibilidade espaço-temporal, incorporando os padrões espaciais do indivíduo, suas restrições temporais diárias, bem como a impedância associada ao deslocamento, manifestada nos tempos de viagem. Ademais, a medida levou em conta a quantidade de tempo que cada indivíduo pode gastar em determinada atividade, a depender de sua agenda diária. Nesse contexto, a acessibilidade de um indivíduo é definida como a quantidade de tempo que este dispõe para a realização de atividades discricionárias, dadas as suas restrições espaço-temporais.

Para modelar a referida relação, os autores utilizaram um modelo de regressão binomial negativo inflado de zero, onde além da acessibilidade foram incorporadas variáveis sociodemográficas com habilidade para afetar simultaneamente a participação em atividades dos indivíduos, a saber: idade, gênero, raça, permissão para dirigir, renda domiciliar, quantidade de pessoas no domicílio e tipo de vizinhança. Nesse contexto, reconhece-se que o modelo incorporou interações familiares atreladas, notadamente, ao estágio de vida e a condição socioeconômica familiar, sem, no entanto, considerar explicitamente a dinâmica associada à estrutura familiar. Outrossim, apesar de considerar deslocamentos por automóvel e incorporar a condição do indivíduo quanto à permissão para dirigir, não foi mensurada explicitamente a disponibilidade de automóveis para cada indivíduo, impedindo a aferição de sua condição de restrição no acesso aos modos de transporte. Sendo assim, com base no diagrama apresentado na Figura 19, pode-se afirmar que o referido trabalho não controlou o caminho de *back-door* associado ao efeito simultâneo das restrições individuais sobre a

acessibilidade e a participação em atividades dos indivíduos e, por conseguinte, os coeficientes estimados estão sujeitos à endogeneidade pela transmissão de correlações espúrias à relação de interesse.

Ademais, por meio da medida de acessibilidade considerada, reconhece-se a incorporação ao modelo do componente temporal da acessibilidade - por meio da duração das atividades e de seu respectivo efeito no orçamento de tempo do indivíduo, bem como por meio das restrições temporais baseadas na agenda diária deste. Analogamente, reconhece-se a incorporação do componente locacional da acessibilidade - através da consideração da distribuição espacial das oportunidades - e do componente infraestrutural da acessibilidade, por meio dos tempos de viagem entre os diferentes pares origem-destino; o que, por sua vez, atesta conjuntamente o controle da *back-door* relativa à influência mútua que as decisões de localização do indivíduo exercem sobre a relação de interesse; bem como a consideração em completude do caminho de *front-door* apresentado na seção anterior.

A Tabela 6 sintetiza o detalhamento referente ao trabalho de Fransen *et al.* (2018) quanto aos aspectos anteriormente considerados.

Tabela 6: Síntese da análise do trabalho de Fransen *et al.* (2018).

Modelo estatístico	Medida de acessibilidade	Componente(s) da acessibilidade incorporado(s) ao modelo
Regressão Binomial Negativa	Baseada em localização (índicador gravitacional)	locacional
Inflada de Zero	Espaço-temporal (duração das atividades)	infraestrutural temporal

Fonte: Elaborado pelo autor

3.3.7 Allen e Farber (2020)

Allen e Farber (2020), por sua vez, se propuseram a quantificar a relação entre acessibilidade e participação em atividades, no nível do indivíduo, através da estimação de modelos de geração de atividades, de modo a investigar em que medida alterações no acesso às oportunidades estão associadas a maiores ou menores níveis de participação em atividades fora do domicílio. Além de um modelo global, os autores estratificaram os modelos de regressão binomial negativa desenvolvidos de modo a incorporar os efeitos do aumento da acessibilidade sobre a participação em atividades em domicílios de baixa renda e sem posse de automóveis, que, por conseguinte, são dependentes do transporte público para os

deslocamentos diários, sendo mais vulneráveis a um cenário de pobreza de transportes. Ressalta-se ainda que apenas foram considerados na análise os indivíduos com idade igual ou superior a 18 anos.

No que diz respeito ao indicador de acessibilidade utilizado, os autores optaram por um indicador gravitacional, sendo o número de empregos na zona a medida de atratividade atrelada a esta. Entretanto, diferente dos trabalhos anteriormente elencados, que mensuraram a impedância associada ao deslocamento unicamente pelo tempo de viagem e/ou pelo custo monetário, Allen e Farber (2020) consideraram, para além do tempo de viagem no veículo, o tempo a pé no deslocamento entre o domicílio e a parada de ônibus, o tempo de espera pelo transporte público e o tempo associado à realização de transbordos. Outrossim, para além da métrica de acessibilidade, outras variáveis explicativas foram incorporadas aos modelos desenvolvidos, sendo estas notadamente relacionadas à renda domiciliar, à quantidade de veículos por domicílio, ao gênero, à quantidade de pessoas por domicílio, à idade, ao regime de trabalho e estudo do indivíduo, à tipologia residencial e à densidade de atividades atreladas à vizinhança em que se localiza o domicílio.

Diante disso, reconhece-se, em primeiro lugar, que o trabalho desenvolvido incorporou interações familiares atreladas, notadamente, ao estágio de vida do indivíduo - desconsiderando, no entanto, indivíduos com idade inferior a 18 anos, o que pode constituir-se como uma limitação da referida análise - bem como à condição socioeconômica familiar e à estrutura familiar, sendo explicitamente mensurados os efeitos distributivos de ganhos potenciais de acessibilidade ante condições específicas de renda. Apesar disso, as complexas relações atreladas à disponibilidade de veículos para cada indivíduo, relacionadas à restrição deste no acesso aos modos de transporte e, por conseguinte, ao componente individual da acessibilidade, não foram explicitamente mensuradas, apesar da consideração da taxa de veículos por pessoa no domicílio; o que, por sua vez, implica na não incorporação em completude das restrições individuais atreladas ao indivíduo. Em consequência disso, baseado no argumento apresentado na seção anterior, pode-se afirmar que os coeficientes estimados apresentam viés decorrente, notadamente, da correlação espúria transmitida através do caminho de *back-door* relativo à influência simultânea das restrições individuais sobre a acessibilidade e a demanda por atividades dos indivíduos.

Além disso, visto que o componente temporal da acessibilidade não foi incorporado à análise, dado que esta restringiu-se à utilização de um indicador gravitacional - que, como uma medida agregada, não tem como considerar as pressões sobre o orçamento de tempo do indivíduo; atestando exclusivamente para a incorporação dos componentes

locacional (controlando o caminho de *back-door*) e infraestrutural da acessibilidade - o caminho de *front-door* não foi considerado em completude. Dessa forma, pode-se argumentar, baseado no diagrama apresentado na Figura 19, que os coeficientes estimados apresentam endogeneidade devido à omissão de variáveis explicativas importantes na compreensão da relação de interesse.

A Tabela 7 sintetiza o detalhamento referente ao trabalho de Fransen *et al.* (2018) quanto aos aspectos anteriormente considerados.

Tabela 7: Síntese da análise do trabalho de Allen e Farber (2020).

Modelo estatístico	Medida de acessibilidade	Componente(s) da acessibilidade incorporado(s) ao modelo
Regressão Binomial Negativa	Baseada em localização (índicador gravitacional)	locacional infraestrutural

Fonte: Elaborado pelo autor

3.3.8 Luz *et al.* (2022)

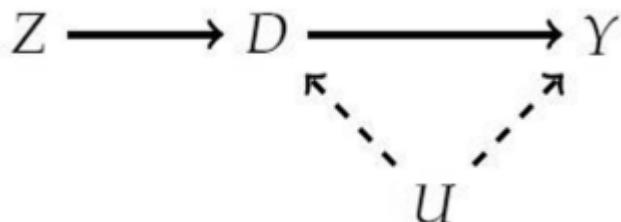
Mais recentemente, Luz *et al.* (2022) se propuseram a inferir explicitamente uma relação causal entre a acessibilidade e a participação em atividades no nível do indivíduo, levando em conta, notadamente, as consequências sociais da referida participação – constituindo-se como o único dentre os trabalhos revisados a levar em consideração a ocorrência de endogeneidade na formulação dos modelos, bem como a abordar a relação causal de interesse sob a perspectiva da ESRT. Nesse contexto, os autores consideraram três tipologias de atividades, sendo estas: atividades mandatórias, tais como estudo e educação; atividades discricionárias, relacionadas, por exemplo, a compras e lazer; e atividades totais, onde não houve distinção de propósitos. Com relação à medida de acessibilidade utilizada, os autores optaram por uma medida de acessibilidade cumulativa, atrelada à proporção de empregos formais acessíveis por transporte público em um dado limiar de tempo. Foram testados limiares temporais de 30, 60, 90 e 120 minutos, sendo adotado para as análises um limiar de 90 minutos. Sendo assim, o nível de acessibilidade de um indivíduo foi determinado através da localização de seu domicílio, levando em conta a medida de acessibilidade ativa considerada.

Ademais, os autores desenvolveram modelos de regressão Poisson, com variáveis dependentes associadas ao número de atividades em que o indivíduo participou, atreladas a cada tipologia considerada. Diante disso, para além da acessibilidade, foram incorporadas ao

modelo variáveis explicativas relativas a informações sociodemográficas dos indivíduos e a características da região onde este reside, sendo estas: renda mensal familiar per capita, idade, posse de veículos privados, gênero, número de pessoas na família, proporção de pessoas negras na região, *status* associado ao estudo, ao trabalho e à família, região de vulnerabilidade social, nível de educação, renda individual, densidade populacional e presença de crianças ou idosos dependentes no domicílio. Neste aspecto, é válido ressaltar que todos os indivíduos com idade inferior a 18 anos ou superior a 65 anos morando com outros no mesmo domicílio foram considerados dependentes.

Outrossim, o trabalho desenvolvido pelos autores demonstrou uma preocupação associada ao controle do risco de endogeneidade associado ao modelo. Nesse sentido, os autores optaram por controlar a endogeneidade na relação entre acessibilidade e participação em atividades por meio da incorporação de uma variável instrumental ao modelo. A Figura 20 explicita a estratégia utilizada, onde Z representa a variável instrumental, D representa a acessibilidade, Y o número de atividades que um indivíduo participou e u representa todos os fatores não observados que afetam simultaneamente a acessibilidade e a participação em atividades dos indivíduos.

Figura 20: Representação da estratégia baseada em uma variável instrumental.



Fonte: Luz *et al.* (2022)

Dessa forma, a escolha de uma variável instrumental pressupõe que Z possua elevada correlação e produza um efeito causal em D , bem como apenas afete Y por meio de D , sendo ainda independente de u , também não se correlacionando com o resíduo da regressão de D em Y . Sendo assim, os autores argumentam que através deste método é possível mensurar o efeito médio de D em Y através do instrumento Z , sem a necessidade de ajustar por eventuais variáveis de confundimento que possam enviesar o efeito causal de interesse. Como variável instrumental, os autores adotaram a variável *distância da margem do rio para a primeira escola construída pelos jesuítas na cidade de São Paulo*.

Diante do que foi exposto, pode-se argumentar que, pela lógica da inferência causal, baseando nos argumentos apresentados na seção 3.2, os autores lograram êxito em controlar o caminho de *back-door* associado à influência simultânea que as decisões de

localização dos indivíduos exercem tanto sobre a sua acessibilidade quanto sobre a sua participação em atividades; visto que, pela medida de oportunidades cumulativas utilizada, foi incorporado o componente locacional da acessibilidade. Ademais, apesar da não consideração em completude da variável de controle *restrições individuais* – devido a não incorporação de variáveis relacionadas a restrições no acesso aos modos de transporte – que está diretamente relacionada à transmissão de correlações espúrias à relação causal de interesse; entende-se que os coeficientes estimados no referido trabalho, através da estratégia de controle de endogeneidade utilizada, não apresentam fontes de viés decorrentes da ausência de controle estatístico do caminho de *back-door* relativo ao componente individual da acessibilidade.

No entanto, visto que a variável instrumental utilizada reflete unicamente o componente locacional da acessibilidade, argumenta-se que o trabalho não incorpora em completude o efeito de *front-door* na relação entre acessibilidade e participação em atividades – notadamente no que diz respeito à influência do componente temporal da acessibilidade; que reflete as pressões decorrentes da realização de atividades sobre o orçamento de tempo diário do indivíduo. Nesse sentido, entende-se que apesar de não estar sujeito a fontes de viés atreladas à endogeneidade nos coeficientes estimados, o referido trabalho apenas consegue estimar um efeito parcial (decorrente dos componentes locacional e infraestrutural da acessibilidade) da acessibilidade sobre a participação em atividades dos indivíduos. Dessa forma, os coeficientes estimados podem estar subestimando ou superestimando o efeito causal de interesse.

A Tabela 8 sintetiza o detalhamento referente ao trabalho de Luz *et al.* (2022) quanto aos aspectos anteriormente considerados.

Tabela 8: Síntese da análise do trabalho de Luz *et al.* (2022).

Modelo estatístico	Medida de acessibilidade	Componente(s) da acessibilidade incorporado(s) ao modelo
Regressão Poisson	Baseada em localização (indicador de oportunidades cumulativas)	locacional infraestrutural

Fonte: Elaborado pelo autor

3.3.9 Síntese dos resultados

A Tabela 9 sintetiza os resultados do referido processo de investigação nos trabalhos revisados. Nesta, fica evidente a existência de uma lacuna metodológica atrelada, em primeiro lugar, à transmissão de correlações espúrias à relação causal de interesse, estando

esta associada, notadamente, ao caminho de *back-door* vinculado ao efeito das restrições individuais sobre a acessibilidade e a participação em atividades. Outrossim, parte dos trabalhos revisados, ao não incorporarem na totalidade o caminho de *front-door* – manifestado pelos componentes infraestrutural e temporal da acessibilidade - na relação causal de interesse, podem ter atribuído viés às estimativas da referida relação.

Tabela 9: Incorporação das variáveis de controle e do caminho de *front-door* nos trabalhos revisados.

<i>Autor(es)</i>	<i>Restrições individuais</i> (<i>back-door</i>)	<i>Componente locacional</i> (<i>back-door</i>)	<i>Componente infraestrutural</i> (<i>front-door</i>)	<i>Componente temporal</i> (<i>front-door</i>)
Wermuth (1982)	•	•		
Golob (2000)		•	•	•
Zhang (2005)		•	•	•
Bhat <i>et al.</i> (2013)		•	•	•
Merlin (2015)		•		•
Fransen <i>et al.</i> (2018)		•	•	•
Allen e Farber (2020)		•	•	
Luz <i>et al.</i> (2022)		•	•	

Fonte: Elaborado pelo autor

3.4 Considerações finais

Este capítulo buscou identificar lacunas metodológicas atreladas aos esforços de investigação da relação entre acessibilidade e participação em atividades, indo ao encontro do segundo objetivo específico deste trabalho. Para tanto, inicialmente postulou-se o risco de endogeneidade atrelado à modelagem estatística, notadamente no que diz respeito a não incorporação de variáveis explicativas essenciais ao modelo, que, por sua vez, podem comprometer a interpretação causal dos coeficientes estimados. Nesse contexto, a teoria da inferência causal (Pearl, 2000) permitiu o estabelecimento de critérios objetivos para a identificação de variáveis que afetam diretamente a relação de interesse, sendo o conjunto formado pelas interações familiares, que incluem o estágio de vida do indivíduo, a condição socioeconômica familiar e a estrutura familiar (Siqueira, 2020), bem como pelos componentes individual, locacional, infraestrutural e temporal da acessibilidade (Geurs; Van wee, 2004), estabelecidos como fundamentais na investigação do efeito que a acessibilidade dos indivíduos exerce em seu nível de participação em atividades diversas.

Sendo assim, o referido capítulo revisou, sob a perspectiva da inferência causal, trabalhos que se propuseram a investigar a relação entre acessibilidade e participação em atividades. Nesse contexto, evidenciou-se nos trabalhos revisados uma lacuna metodológica atrelada à presença de endogeneidade nos coeficientes estimados através da transmissão de correlações espúrias advindas, notadamente, da não incorporação, em completude, da variável de controle *restrições individuais*, atrelada à consideração das interações familiares e do componente individual da acessibilidade, aos modelos desenvolvidos. Ademais, em alguns casos, a omissão de variáveis essenciais ao entendimento do efeito causal atrelado à relação de interesse, relativas aos componentes infraestrutural e temporal da acessibilidade, foi identificada como fonte de viés aos coeficientes estimados.

Diante da lacuna identificada, o próximo capítulo busca desenvolver uma proposta metodológica capaz de testar as hipóteses de causalidade inerentes à relação entre acessibilidade e participação em atividades - com base em dados observacionais, de modo a impedir que correlações espúrias sejam transmitidas ao efeito causal de interesse. A partir da incorporação da acessibilidade em seus quatro componentes, a referida proposta propõe-se a bloquear os caminhos de *back-door* explicitados a longo deste capítulo e, de igual modo, considerar, em completude, o caminho de *front-door* inerente à relação causal de interesse.

4 PROPOSTA METODOLÓGICA

4.1 Introdução

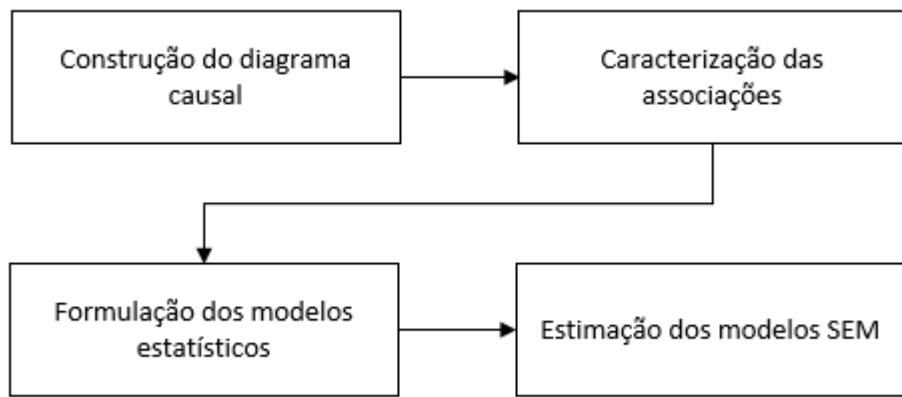
Inicialmente, é válido destacar que o fenômeno de interesse - relacionado ao entendimento da relação entre o nível de acesso às oportunidades e o grau de participação em atividades dos indivíduos - constitui-se como um fenômeno observacional. Já que cada indivíduo está imerso em contextos decisórios, intrinsecamente relacionados ao seu contexto socioespacial, que atestam seu conjunto de necessidades e desejos (Arentze; Timmermans, 2009); levando em conta restrições relativas a fatores como idade, renda, escolaridade, dentre outros (já explicitados nos capítulos 2 e 3). Estes limitam a utilização de técnicas experimentais (tais como pesquisas de preferência declarada) para a análise da referida relação; indo ao encontro da necessidade de utilização de dados observacionais no esforço de compreensão do aspecto causal envolvido na relação de interesse (Siqueira, 2020).

Ressalta-se ainda que todos os trabalhos revisados no capítulo anterior utilizaram-se de dados observacionais, advindos de diferentes bases, para a análise da relação entre acessibilidade e participação em atividades. Apesar disso, como argumentado no Capítulo 3, estes estão atrelados a fontes de endogeneidade concernentes, notadamente, a não incorporação de variáveis relativas aos caminhos de *back-door* e *front-door* identificados. Nesse contexto, Siqueira (2020) propõe que, a fim de identificar o efeito causal de interesse, o conjunto de dados a ser utilizado deve possuir informações referentes aos subsistemas de uso do solo, transportes e atividades, bem como às restrições individuais, sendo essas informações coletadas simultaneamente através de um mesmo instrumento.

Ademais, visto que as decisões de atividade são tomadas pelo indivíduo, a agregação dos dados deve permitir a análise no referido nível, permitindo ainda a consideração de interações intrafamiliares. Nesse contexto, o autor argumenta que, para a realidade brasileira - assumindo à utilização de dados secundários; devido, principalmente, à inviabilidade de realização de pesquisas e coletas de grande porte por fatores relativos ao custo e ao tempo necessários - as pesquisas origem-destino domiciliares (que englobam dados sobre indivíduos, famílias, atividades e deslocamentos) constituem-se como a principal fonte de dados disponível. Estas podem ser combinadas com outras bases de modo a obter um conjunto robusto de dados que cumpra ao propósito de investigar, por meio de inferência causal, a relação de causa-efeito entre a acessibilidade dos indivíduos e seu nível de participação em atividades diversas.

Sendo assim, este capítulo busca desenvolver uma proposta metodológica capaz de testar as hipóteses de causalidade inerentes à relação entre o nível de acessibilidade e a participação em atividades do indivíduo, atestando seu risco de ESRT, com base em dados observacionais. Para tanto, baseado no trabalho de Siqueira (2020), que, por sua vez, apoia-se na teoria da inferência causal de Pearl (2000), propuseram-se as etapas metodológicas apresentadas na Figura 21 e detalhadas nas seções subsequentes.

Figura 21: Etapas metodológicas atreladas à investigação do efeito causal de interesse.

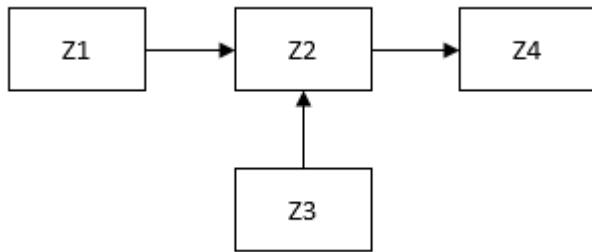


Fonte: Elaborado pelo autor

4.2 Construção do diagrama causal

A primeira etapa metodológica diz respeito à construção do diagrama causal da relação entre acessibilidade e participação em atividades. Neste ponto, faz-se necessário complementar o entendimento apresentado, *a priori*, no Capítulo 3 acerca do que são diagramas causais e de qual a sua função na compreensão da relação causal de interesse entre a acessibilidade e a participação em atividades dos indivíduos. Sendo assim, pode-se argumentar que um diagrama causal se constitui, essencialmente, como um meio de representação das hipóteses de causalidade atreladas a determinado conjunto de dados, concorrentes a um fenômeno específico. Ademais, a construção do referido diagrama encontra embasamento na teoria matemática dos grafos, que fornece uma linguagem matemática afeita a lidar com problemas que envolvem causalidade, através de operações matemáticas simples (Pearl; Glymour; Jewell, 2016); o que, por sua vez, torna a terminologia utilizada nos referidos diagramas relativamente intuitiva (Siqueira, 2020). A Figura 22 apresenta um diagrama causal ilustrativo, por meio do qual pode-se elucidar alguns conceitos inerentes à teoria anteriormente mencionada.

Figura 22: Diagrama causal ilustrativo.



Fonte: Elaborado pelo autor

Em primeiro lugar, pode-se afirmar que o diagrama causal apresentado na Figura 22 possui arestas direcionadas, que saem de um nó, sendo os nós representativos das variáveis, tal como introduzido no Capítulo 3, em direção a outro nó, indicando a direção de causalidade hipotetizada. Ademais, visto que não há caminhos direcionados que saiam de determinado nó e retornem para este, diz-se que o diagrama é acíclico, já que, em outras palavras, não se observa relação de retroalimentação entre as variáveis que compõem o modelo. As características mencionadas atestam para a necessidade de que o diagrama causal construído seja um diagrama acíclico direcionado (DAG, da sigla em inglês), devido à incorporação de premissas essenciais no estudo da causalidade, atreladas, notadamente, à identificação de efeitos causais e à explicação de uma variável através, unicamente, de suas causas diretas (Condição de Markov) (Pearl, 2000).

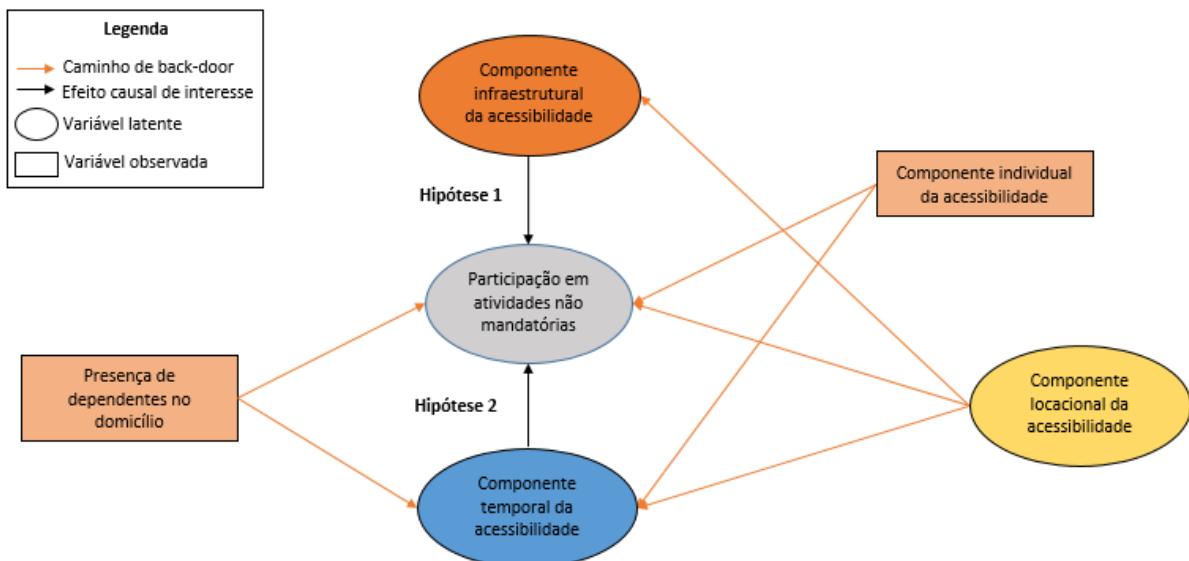
Posto isto, pode-se adentrar na terminologia utilizada para descrever os diagramas causais. De acordo com Pearl, Glymour e Jewell (2016), quando uma aresta direcionada inicia em uma variável em direção a uma segunda variável, denomina-se a primeira *mãe* da segunda, e a segunda *filha* da primeira. Nesse contexto, baseado na Figura 22, pode-se afirmar que Z2 é *mãe* de Z4 e, simultaneamente, *filha* de Z1 e Z3. Ademais, segundo os autores, o caminho entre duas variáveis constitui-se como um caminho direcionado quando este pode ser traçado ao longo das setas, ou seja, de acordo com o sentido exposto no diagrama, de tal modo que nenhuma variável no referido caminho esteja associada a duas arestas direcionadas para si, ou para fora de si, simultaneamente. Portanto, percebe-se na Figura 22 a existência de dois caminhos direcionados: $\{(Z1, Z2), (Z2, Z4)\}$, $\{(Z3, Z2), (Z2, Z4)\}$, e um caminho não direcionado $\{(Z1, Z2), (Z3, Z2)\}$, visto que a variável Z2 recebe duas setas de sentidos conflitantes, sendo, por conseguinte, denominada *collider*, podendo produzir associação espúria caso controlada.

Nesse contexto, se duas variáveis estão conectadas por um caminho direcionado, pode-se afirmar que a primeira variável se constitui como um ancestral comum de todas as

demais variáveis no caminho, o que, por sua vez, equivale dizer que todas as demais variáveis no caminho direcionado são descendentes da primeira variável. Na representação da Figura 22, a variável Z1 possui 2 descendentes (Z2 e Z4), enquanto a variável Z4 possui 3 ancestrais (Z1, Z2 e Z3). Por fim, no tocante às variáveis que compõem o diagrama causal, estas podem ser subdivididas em dois grupos (Pearl; Glymour; Jewell, 2016), a saber: variáveis exógenas e variáveis endógenas. Pode-se argumentar que o primeiro grupo é externo ao modelo, ou seja, opta-se por não considerar como as variáveis atreladas a este são causadas e, portanto, as referidas variáveis não podem apresentar ancestrais no mecanismo causal representado. Por outro lado, com relação ao segundo grupo, argumenta-se que toda variável endógena em um modelo é descendente de, pelo menos, uma variável exógena, sendo, portanto, passível de explicações causais.

Diante do que foi exposto, propôs-se o diagrama causal da Figura 23, baseado na Representação Conceitual (Figura 12) e no Mapa Mental das relações de causalidade (Figura 16), bem como no mecanismo de identificação dos caminhos de *front-door* e *back-door*, apresentado no Capítulo 3, que traduz as hipóteses de causalidade sistematizadas em variáveis passíveis de testes empíricos. Nesse contexto, ressalta-se, *a priori*, que, no diagrama apresentado, tal como argumentado ao longo do Capítulo 3, os caminhos de *front-door* na relação causal entre acessibilidade e participação em atividades associam-se ao efeito direto dos componentes temporal e infraestrutural da acessibilidade sobre a referida participação.

Figura 23: Diagrama causal da relação entre acessibilidade e participação em atividades.

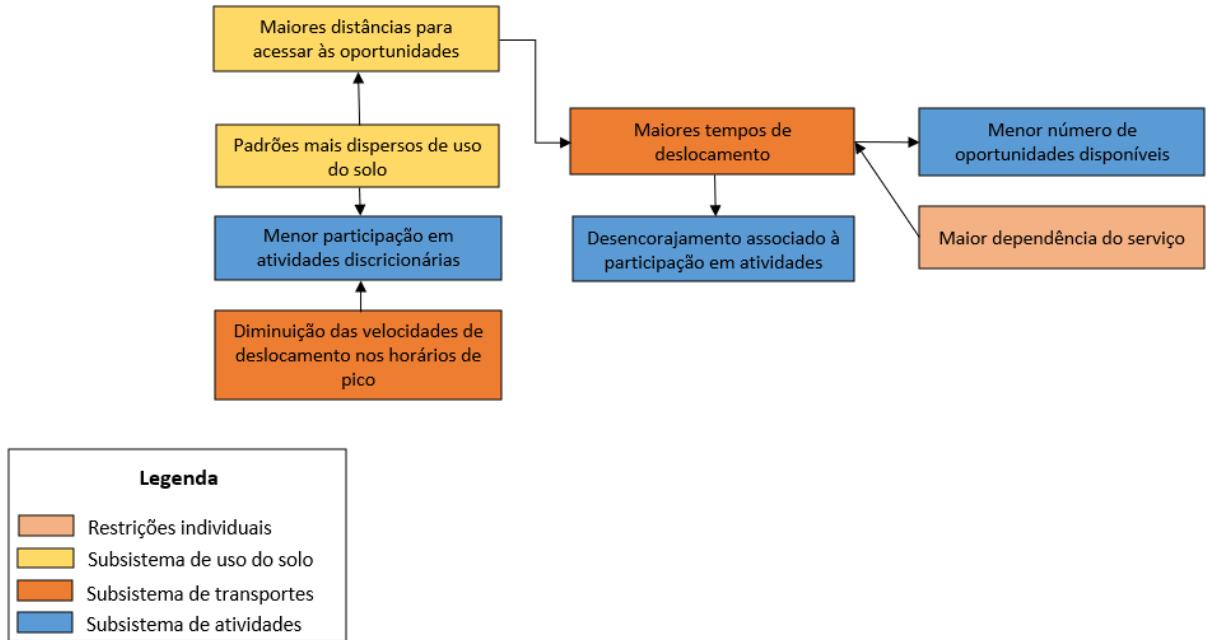


Fonte: Elaborado pelo autor

No entanto, como argumentado por diversos autores (Hagerstrand, 1970; Garling *et al.*, 1998; Golob, 2000; Maat e Timmermans, 2009), deve-se fazer uma distinção, neste ponto, entre: (i) atividades mandatórias, de cunho laboral ou educacional, consideradas fixas; e (ii) atividades não mandatórias, de caráter mais flexível, considerando que o primeiro grupo de atividades, através da pressão sobre o orçamento de tempo do indivíduo, componente temporal da acessibilidade, determina a participação deste em atividades enquadradas no segundo grupo. Nesse aspecto, assume-se, *a priori*, que os efeitos causais dos componentes temporal e infraestrutural da acessibilidade se dão sobre a participação do indivíduo em atividades não mandatórias, hipotetizando-se que ambos são positivos, ou seja, quanto maior o nível de acessibilidade infraestrutural, refletido em menores impedâncias associadas ao deslocamento, maior a participação individual em atividades não mandatórias (Hipótese 1). Ademais, quanto menores as pressões sobre o orçamento de tempo do indivíduo, refletindo maiores níveis de acessibilidade temporal, maior o seu nível de engajamento em atividades não mandatórias (Hipótese 2). Sendo assim, sob a ótica da exclusão social relacionada a transportes, um efeito positivo da acessibilidade, representada pelos dois componentes supracitados, sobre a participação em atividades não mandatórias constitui-se como um indicativo de que menores níveis de acessibilidade estão associados a um maior risco de ESRT.

É válido elucidar, neste ponto, que as pressões sobre o orçamento de tempo do indivíduo para a realização de atividades não mandatórias, representativas do efeito do componente temporal da acessibilidade sobre a participação individual na referida tipologia de atividades, decorrem, notadamente, de duas fontes principais, associadas à duração das atividades mandatórias e ao tempo de deslocamento para a sua realização. A representação conceitual (Figura 12) proposta no Capítulo 2, representativa do contexto decisório individual associado à escolha de que atividades realizar, enfatizou o impacto da duração das atividades sobre o orçamento de tempo do indivíduo. Além disso, considerando um contexto de realização de deslocamento, o Mapa Mental (Figura 16) construído no referido capítulo incorporou a influência do tempo de deslocamento no nível de participação do indivíduo em atividades (Figura 24).

Figura 24: Influência do tempo de deslocamento sobre a participação em atividades.



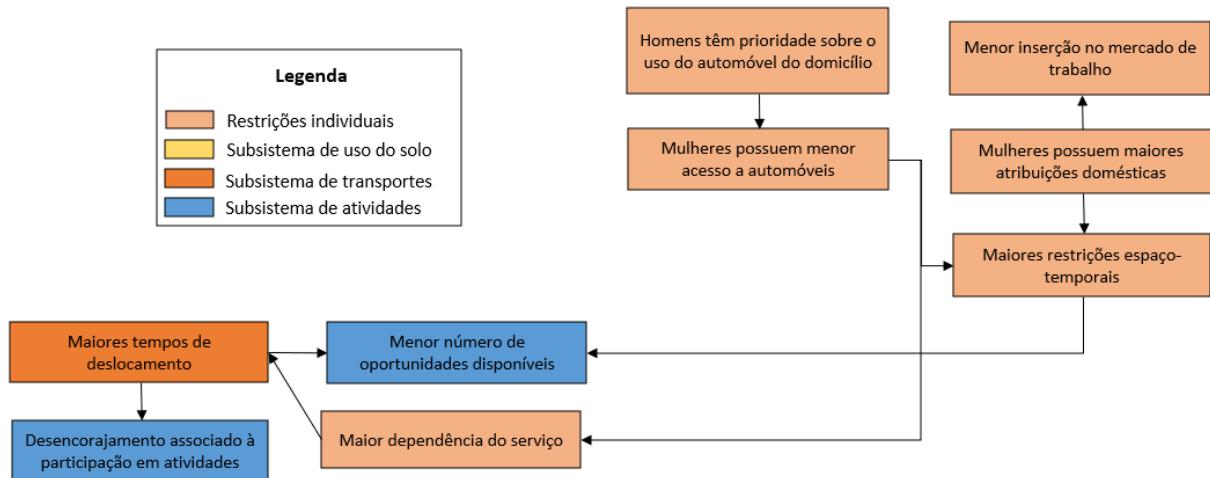
Fonte: Elaborado pelo autor

Outrossim, percebe-se no Diagrama Causal proposto (Figura 23) a existência de caminhos de *back-door*, que, se não controlados, podem transmitir correlações espúrias aos efeitos causais de interesse, enviesando os coeficientes estimados. Nesse contexto, de modo a bloquear possíveis fontes de viés, incorporaram-se ao mecanismo causal proposto variáveis de controle, controladas através de controle estatístico, associadas aos componentes locacional e individual da acessibilidade, bem como à presença de dependentes no domicílio.

Ressalta-se que a presença no domicílio de dependentes, indivíduos com idade inferior a 18 anos ou superior a 64 anos, refletindo a estrutura familiar, atua como um caminho de *back-door* na estimação do efeito causal entre o componente temporal da acessibilidade e a participação em atividades não mandatórias, visto que, ao exercer maiores pressões sobre o orçamento de tempo do responsável, esta associa-se a maiores restrições espaço-temporais para a realização da referida tipologia de atividades. Neste ponto, faz-se necessário reconhecer o papel moderador exercido pelo gênero do indivíduo na investigação da relação causal entre acessibilidade e participação em atividades não mandatórias, visto que este associa-se à produção de efeitos causais distintos a depender do estrato analisado (Pearl *et al.*, 2016) e, portanto, sua não explicitação no Diagrama Causal da Figura 23 deve-se, notadamente, à necessidade de que este seja controlado mediante a segmentação da amostra considerada.

A análise do Mapa Mental (Figura 16) apresentado no Capítulo 2 evidencia a heterogeneidade de efeitos causais concernentes ao gênero do indivíduo (Figura 25), estando esta notadamente associada às maiores atribuições do lar associadas às mulheres, sendo a referida característica amplificada com a presença de dependentes no domicílio; o que, por sua vez, atribui ao gênero feminino maiores restrições espaço-temporais e, por conseguinte, um menor orçamento de tempo diário para a realização de atividades mandatórias e não mandatórias.

Figura 25: Explicitação do efeito moderador atrelado à variável gênero.



Fonte: Elaborado pelo autor

Argumento análogo ao exposto anteriormente pode ser utilizado para justificar a não explicitação de variáveis atreladas à condição socioeconômica familiar e à idade do indivíduo. Tal como apresentado no Mapa Mental da Figura 16, as referidas variáveis associam-se à produção de efeitos causais distintos a depender do estrato analisado; devendo, portanto, ser controladas mediante segmentação amostral. Dessa forma, observam-se diferenças significativas - em termos de participação em atividades não mandatórias e do efeito da acessibilidade sobre a referida tipologia de atividades - entre aqueles com restrição de idade para dirigir ou com limitações físicas; decorrentes da idade avançada (que exercem um papel impeditivo no acesso a determinados modos de transporte); e aqueles que não experimentam restrições decorrentes de sua idade, bem como entre indivíduos de baixa renda e indivíduos de alta renda, tal como argumentado ao longo do Capítulo 2.

No tocante aos componentes locacional e individual da acessibilidade, pode-se argumentar, de acordo com o mecanismo de identificação proposto no Capítulo 3 e no Mapa Mental da Figura 16, que estes constituem caminhos de *back-door* na relação entre os componentes infraestrutural e temporal da acessibilidade e a participação em atividades não mandatórias, tal como disposto no diagrama causal da Figura 23. Visto que, para além de sua

influência direta no nível de participação em atividades não mandatórias dos indivíduos, estes também afetam diretamente os componentes da acessibilidade representativos dos caminhos de *front-door* considerados - pois, à medida que a distância às oportunidades aumenta, elavam-se os tempos de deslocamento na rede, com consequente redução do tempo disponível para a realização de atividades discricionárias e de manutenção. De igual modo, a restrição no acesso aos modos de transporte, notadamente a veículos individuais motorizados; representativa do componente individual da acessibilidade, está associada a uma maior dependência da rede de transporte público, tal como explicitado no Mapa Mental da Figura 16 (com consequente diminuição dos níveis de acessibilidade temporal e infraestrutural).

Por fim, como constata-se no Diagrama Causal proposto, as variáveis atreladas aos componentes infraestrutural, temporal e locacional da acessibilidade, bem como à participação em atividades não mandatórias foram representadas como latentes (ou não observadas); o que, por sua vez, significa que estas serão representadas por indicadores, (compostos por variáveis observadas) que refletem às variáveis de interesse. Isto se deve à necessidade de eliminar erros de medição, sendo estes associados a dificuldades na coleta dos dados - ou mesmo à ausência destes - bem como à adoção de variáveis *proxy*, que, por sua vez, podem atribuir viés às estimativas causais de interesse (Shipley, 2016).

4.3 Caracterização das associações

A segunda etapa metodológica diz respeito à caracterização das associações entre as variáveis explicitadas no Diagrama Causal da Figura 23. Nesse sentido, assume-se, *a priori*, que a existência de causalidade entre duas variáveis implica a existência de correlação entre estas, ressalta-se que a recíproca a esta afirmação não se constitui como verdadeira, ou seja, onde há correlação não necessariamente existe causalidade. Com esta finalidade, podem-se realizar duas tipologias distintas de testes, a saber: testes de dependência e testes de independência entre variáveis exógenas.

No que diz respeito aos testes de dependência, estes estão associados, como a referida nomenclatura indica, à investigação da existência de correlação entre as variáveis que compõem os efeitos causais de interesse, hipotetizados no Diagrama Causal; por conseguinte, estão diretamente conectadas por uma seta no referido diagrama. A referida investigação é realizada através de um teste de hipóteses, onde a hipótese nula é representativa da inexistência de correlação entre o par de variáveis investigado e, portanto, a obtenção de um *valor-p* inferior ao nível de significância estabelecido implica, para além da *rejeição da*

referida hipótese, na sustentação da argumentação associada à existência de evidências suficientes, no nível de significância estabelecido, de que o par de variáveis investigado, representativo do efeito causal hipotetizado de interesse, possui um grau de associação estatisticamente significativo.

Ademais, com relação aos testes de independência entre variáveis exógenas, definidas por Pearl, Glymour e Jewell (2016) como variáveis que não apresentam causas explicitadas no mecanismo causal hipotetizado, estes estão atrelados à premissa de que se duas variáveis são exógenas ao modelo, estas são incondicionalmente independentes devido, notadamente, à inexistência de efeitos causais de qualquer ordem entre si. Além disso, analogamente aos testes de dependência, a investigação de independência incondicional entre duas variáveis exógenas é realizada através de um teste de hipóteses com hipótese nula idêntica à explicitada anteriormente. No referido contexto, a obtenção de um *valor-p* superior ao nível de significância estabelecido implica não apenas na *não rejeição da hipótese nula*, como também aponta para a existência de uma independência incondicional entre as variáveis. A Tabela 10 sintetiza os testes de hipóteses relativos à verificação da dependência entre as variáveis que compõem os efeitos causais hipotetizados, assim como da independência incondicional entre as variáveis exógenas incorporadas ao modelo.

Tabela 10: Testes de dependência e independência.

Hipótese nula	Teste de dependência	Teste de independência
	Valor-p < α	Valor-p > α
$\rho_{xy} = 0$	<ul style="list-style-type: none"> - Rejeita-se a hipótese nula; - Há evidências suficientes, no nível de significância α, para afirmar que as variáveis apresentam correlação entre si. 	<ul style="list-style-type: none"> - Não se rejeita a hipótese nula; - Não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula de que as variáveis são incondicionalmente independentes entre si.

Fonte: Elaborado pelo autor

Diante do que foi exposto, espera-se, com base nos testes de hipóteses anteriormente enunciados, encontrar evidências suficientes para *rejeitar a hipótese nula* no caso dos testes de dependência, e para *não rejeitar a hipótese nula* no caso dos testes de independência entre variáveis exógenas, em um dado nível de significância. No entanto, como ressalta Siqueira (2020), caso duas variáveis exógenas apresentem correlação significativa entre si, este não se constitui como um indício de que o mecanismo causal hipotetizado é

inválido, sendo possível adotar covariâncias entre as referidas variáveis de modo a eliminar possíveis vieses que possam comprometer as estimações.

Ressalta-se, no entanto, que, levando em conta o mecanismo causal proposto na etapa metodológica anterior - visto que os componentes infraestrutural, temporal e locacional da acessibilidade, bem como a participação em atividades não mandatórias, constituem-se como variáveis latentes que não possuem nesta etapa valores numéricos conhecidos - a realização de testes de hipóteses sobre a correlação entre as variáveis do modelo; considerando a premissa de causalidade anteriormente especificada, torna-se limitada. Nesse interim, visto tratar-se de uma etapa preliminar, a não realização desta não prejudica os resultados posteriores atrelados à estimação e interpretação dos coeficientes estruturais à luz do fenômeno da ESRT.

4.4 Formulação dos modelos estatísticos

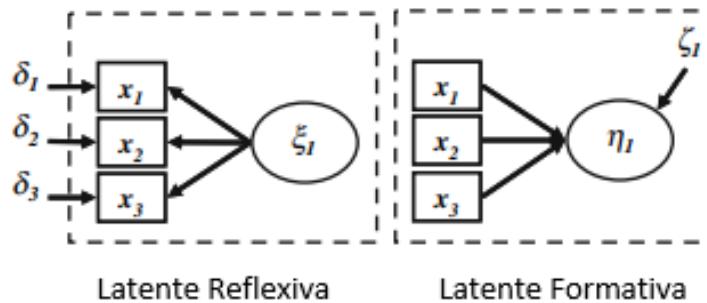
A terceira etapa metodológica relaciona-se à formulação dos modelos estatísticos. Nesse contexto, para os fins deste trabalho, optou-se pela utilização de uma modelagem de equações estruturais - *Structural Equation Modeling* (SEM). Esta pode ser definida pela utilização de modelos lineares atrelados à verificação da relação entre variáveis (Hoyle, 2012) e, além disso, descrita como uma combinação da análise de fatores e de regressão generalizada (Scheiner; Holz-Rau, 2007) – devido à possibilidade de incorporação de variáveis não observadas (latentes) à modelagem; estando estas presentes no mecanismo causal hipotetizado na Figura 23, bem como à estimação de efeitos diretos e indiretos decorrentes da relação entre as variáveis explicitadas no modelo. Ademais, esta não se limita, como nos modelos de regressão, à investigação do efeito de variáveis exógenas sobre uma única variável endógena (Scheiner; Holz-Rau, 2007).

Schumaker e Lomax (2010) argumentam que a modelagem SEM apresenta uma lógica pré-definida, sendo a especificação do modelo o primeiro passo da referida análise. A especificação mencionada consiste, notadamente, na determinação de equações para o modelo estrutural, atreladas à explicação de cada variável endógena presente no diagrama causal. Com o modelo especificado, procede-se de modo à identificá-lo através da designação dos parâmetros que o compõem como *livres*, *fixos* ou *restritos*, onde *parâmetros livres* são desconhecidos e, por conseguinte, precisam ser estimados, *parâmetros fixos* são aqueles que assumem, arbitrariamente, determinado valor numérico, tipicamente 0 ou 1 (Schumaker;

Lomax, 2010), e *parâmetros restritos* são representativos de parâmetros levados à equivalência com um ou mais parâmetros presentes no modelo.

Ademais, como apresentado na Figura 23, o mecanismo causal hipotetizado apresenta variáveis latentes com a finalidade de sistematizar conceitos abstratos e eliminar possíveis vieses decorrentes de erros de medição. Nesse aspecto, torna-se necessário enquadrar esta tipologia de variável na discussão levantada no parágrafo anterior, a respeito da especificação e identificação do modelo estrutural. Sendo assim, o primeiro passo da especificação de variáveis latentes é realizado de modo a postulá-las como causas das covariâncias/correlações entre os indicadores que as compõem, sendo neste caso denominadas variáveis latentes reflexivas; ou como influenciadas pelos referidos indicadores e, por conseguinte, expressando uma condição de existência independente dos dados observados, sendo nesta situação denominadas variáveis latentes formativas (Grace; Bollen, 2008).

Figura 26: Classificação das variáveis latentes.



Fonte: Adaptado de Grace e Bollen (2008)

Partindo da classificação representada na Figura 26, as variáveis latentes podem ser especificadas através (i) de uma única equação estrutural, no caso de latentes formativas, sendo a variável latente explicada através de seus indicadores e de uma parcela de erro residual, ou (ii) de várias equações estruturais, no caso de latentes reflexivas, em que cada indicador é definido como uma função da variável latente a que está relacionado e de um erro de medição. Outrossim, em se tratando da identificação do modelo estrutural, Schumaker e Lomax (2010) argumentam que, a fim de evitar problemas de identificação, faz-se necessário que um indicador de cada variável latente tenha seu coeficiente fixado a 1, ou que a variância de cada variável latente presente no modelo tenha sua variância fixada ao referido valor numérico, de modo a definir uma escala de medição para cada variável latente. Diante disso, pode-se afirmar que a condição necessária para que um modelo estrutural seja dito identificado ou superidentificado é que o número de graus de liberdade atrelados a este seja igual ou superior a 0, respectivamente.

Por fim, faz-se necessário reconhecer que, visto que a modelagem SEM consiste essencialmente de uma modelagem estatística, esta está atrelada a uma série de premissas que devem ser conhecidas e satisfeitas nas análises realizadas, a fim de evitar erros atrelados à interpretação dos resultados obtidos. Nesse contexto, Shipley (2016) destaca que as variáveis endógenas devem seguir uma distribuição normal multivariada. Além disso, o conjunto de dados analisado deve ser formado por observações independentes e geradas pelo mesmo processo causal (homogeneidade causal).

4.5 Estimação dos modelos de equações estruturais

A quarta etapa metodológica relaciona-se à estimação dos modelos de equações estruturais, sendo uma consequência direta da etapa anterior. Neste ponto, é válido ressaltar que o referido procedimento se inicia pelo cálculo de uma matriz de covariâncias observada entre as variáveis que compõem o modelo. Em seguida, os parâmetros atrelados ao diagrama causal especificado são calculados de modo que a diferença entre as matrizes de covariâncias modelada, derivada do conjunto de equações estruturais especificados na etapa anterior, e observada seja mínima (Scheiner; Holz-Rau, 2007). De modo prático, em um cenário hipotético em que a subtração direta dos elementos da matriz observada pelos elementos da matriz modelada forneça um resultado nulo, pode-se afirmar que o modelo estrutural concebido se adequa perfeitamente aos dados (Schumaker; Lomax, 2010).

Ademais, no processo de modelagem de equações estruturais, é imprescindível que o modelador opte por um método de estimação adequado aos seus propósitos. Visto que, o processo de estimação dos modelos estruturais desenvolvidos envolve a utilização de diferentes funções de minimização. São abundantes os procedimentos disponíveis na literatura, incluindo, dentre outros, a família de estimadores de máxima verossimilhança (Bollen, 1989), que assume as premissas de normalidade multivariada dos dados e de correta especificação do modelo proposto, bem como a família de estimadores de mínimos quadrados - que pode relaxar a premissa relativa à distribuição dos dados, a exemplo do estimador de mínimos quadrados ponderados (Browne, 1984).

Após a estimação dos parâmetros, associada à convergência do modelo com base no método de estimação adotado, a diferença entre as matrizes observada e modelada são testadas por significância (Scheiner; Holz-Rau, 2007). Neste ponto, Schumaker e Lomax (2010) argumentam que a estatística de teste referente à aderência do modelo segue uma distribuição qui-quadrado com número de graus de liberdade equivalente à diferença entre o

número de variâncias e covariâncias únicas e o número de parâmetros estimados no modelo. Sendo assim, nesta etapa do procedimento metodológico procede-se de modo a realizar um teste de hipóteses (Tabela 11), com hipótese nula atrelada, como argumentado anteriormente, à igualdade entre as matrizes observada e modelada. Assim, para valores da estatística de teste inferiores a um nível de significância pré-estabelecido, rejeita-se a hipótese nula, o que, por sua vez, culmina na ineficácia do mecanismo causal hipotetizado em explicar as covariâncias atreladas ao conjunto de dados analisado. Por outro lado, como argumentam Scheiner e Holz-Rau (2007), a aderência do modelo pode ser entendida como satisfatória quando o teste realizado não apresenta significância estatística.

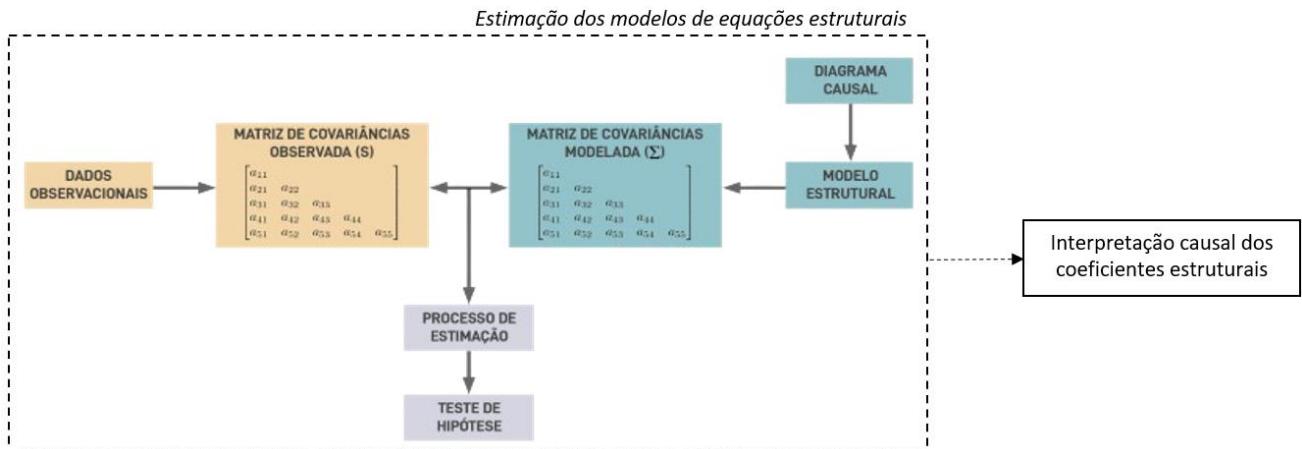
Tabela 11: Teste de hipóteses relativo ao poder explicativo do mecanismo causal.

Hipótese nula	Valor-p < α	Valor-p > α
$S = \beta(\theta)$	<ul style="list-style-type: none"> - Rejeita-se a hipótese nula; - O mecanismo causal não é eficaz em explicar as correlações entre os dados observados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Não se rejeita a hipótese nula; - O mecanismo causal proposto é adequado ao entendimento do fenômeno investigado.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao final do processo de estimação, torna-se possível interpretar causalmente os coeficientes estruturais estimados. A Figura 27 apresenta o fluxograma atrelado aos passos concorrentes à esta quarta etapa metodológica.

Figura 27: Fluxograma de estimação dos modelos de equações estruturais.



Fonte: Adaptado de Siqueira (2020)

4.6 Considerações finais

Este capítulo buscou desenvolver uma proposta metodológica capaz de testar as hipóteses de causalidade relacionadas à relação entre acessibilidade e participação em atividades dos indivíduos e, consequentemente, seu risco de ESRT, utilizando dados observacionais. Para tanto, inicialmente enquadrou-se a natureza do fenômeno investigado como observacional, ressaltando o fato de que todos os trabalhos revisados no Capítulo 3 realizaram suas respectivas análises com esta tipologia de dados. Ademais, forneceram-se argumentos favoráveis à utilização conjunta de dados advindos de pesquisas domiciliares e de bases secundárias no referido esforço de investigação. A partir disso, a proposta metodológica consistiu de quatro etapas principais, a saber: construção do diagrama causal; caracterização das associações; formulação dos modelos estatísticos; e estimação dos modelos de equações estruturais, visto que se optou pela utilização da abordagem SEM.

Nesse contexto, propôs-se um diagrama causal que sistematiza os conhecimentos construídos ao longo dos Capítulos 2 e 3, inerentes, respectivamente, ao mapa mental das relações de causalidade e às fontes de endogeneidade na relação entre acessibilidade e participação em atividades dos indivíduos. Neste, hipotetiza-se que o efeito causal da acessibilidade, representada pelos componentes temporal e infraestrutural, sobre a participação em atividades não mandatórias é positivo. Outrossim, baseado nos argumentos fornecidos ao longo deste capítulo e do anterior, a presença de dependentes no domicílio, bem como os componentes locacional e individual da acessibilidade foram incorporados como variáveis de controle ao referido mecanismo causal, considerando ainda o caráter moderador da variável gênero e, por conseguinte, propondo que esta seja controlada mediante segmentação amostral. Além disso, devido à possibilidade de eventuais erros de medição, levando em conta a complexidade do fenômeno investigado, as variáveis relativas aos componentes temporal, infraestrutural, locacional e à participação em atividades não mandatórias foram incorporadas ao diagrama causal como latentes.

Outrossim, tomando por base o diagrama causal proposto, as demais etapas metodológicas, apoiando-se na lógica da inferência causal desenvolvida por Pearl (2000), buscam, em suma: especificar e identificar os modelos estruturais e de medição, dada a natureza latente de algumas variáveis incorporadas ao modelo; e, por fim, estimar os parâmetros atrelados aos modelos de equações estruturais anteriormente especificados e identificados. Ademais, através da verificação de que o mecanismo causal hipotetizado é capaz de explicar satisfatoriamente as correlações observadas no conjunto de dados, torna-se

possível atribuir significado causal aos coeficientes estruturais concernentes ao diagrama proposto.

Diante do que foi exposto, o próximo capítulo busca desenvolver uma aplicação do método proposto, levando em conta o contexto experienciado por indivíduos de baixa renda na cidade de Fortaleza, indo ao encontro do último objetivo específico deste trabalho e, por conseguinte, demonstrando a aplicabilidade do método desenvolvido no contexto de metrópoles latino-americanas.

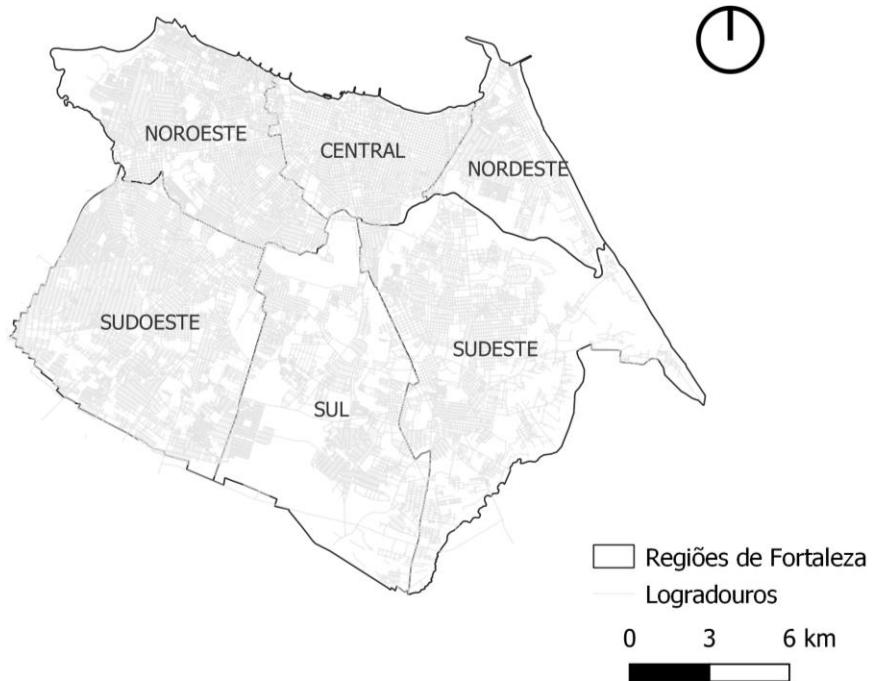
5 APLICAÇÃO: ANÁLISE DO RISCO DE EXCLUSÃO SOCIAL RELACIONADA A TRANSPORTES DA POPULAÇÃO DE BAIXA RENDA EM FORTALEZA

Este capítulo visa analisar a relação entre acessibilidade, participação em atividades e risco de ESRT de indivíduos de baixa renda na cidade de Fortaleza, buscando demonstrar a aplicabilidade do método proposto no capítulo anterior, tomando por base o Diagrama Causal apresentado na Figura 23. Para tanto, inicialmente faz-se necessário contextualizar a problemática em questão, de modo a relacioná-la aos conhecimentos construídos ao longo deste trabalho, notadamente no que tange à possibilidade de que indivíduos de baixa renda na referida cidade estejam submetidos a um cenário de risco de ESRT.

5.1 Contextualização da problemática

De acordo com o último levantamento censitário realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a cidade de Fortaleza, capital do estado do Ceará, constitui-se como a quarta maior cidade do Brasil, com cerca de 2,4 milhões de habitantes (IBGE, 2022). Como grande parte das metrópoles latino-americanas, a referida cidade teve seu processo de urbanização marcado pela velocidade e pelo desordenamento urbano, tendo seu início na década de 1930 através, notadamente, de ocupações de baixa renda pelo êxodo rural, sendo reforçado pela implementação de políticas públicas que preconizaram a construção de conjuntos habitacionais destinados à população de baixa renda nas periferias urbanas, corroborando para a consolidação de um arranjo espalhado da cidade (Lima *et al.*, 2021). Para Andrade *et al.* (2020), a região central de Fortaleza (Figura 28) concentra grande parte da oferta de comércios, serviços e estabelecimentos institucionais, o que, por sua vez, corrobora para um distanciamento cada vez maior entre a população de baixa renda e às oportunidades atreladas à cidade, visto que esta reside principalmente nas regiões periféricas a sudoeste e sul do município, tendo uma presença pouco significativa nas regiões central e sudeste.

Figura 28: Divisão das regiões de Fortaleza.



Fonte: Elaborado pelo autor

O efeito direto do arranjo espacial observado consiste na elevação dos tempos de viagem associados a deslocamentos pendulares do tipo casa-trabalho - dada a baixa diversidade de uso do solo nas regiões periféricas; atreladas a uma monofuncionalidade residencial, com consequente impacto sobre o orçamento de tempo de indivíduos. Caso não possuam acesso a veículos motorizados individuais, estes tornam-se dependentes do transporte público urbano (Pinto *et al.*, 2022), levando, de acordo com evidências empíricas encontradas por Lima *et al.* (2021), cerca de 75 minutos para acessar as oportunidades de trabalho. Sendo, dessa forma, impelidos a buscar inserção no mercado de trabalho informal; comprometendo o orçamento familiar destinado ao transporte e elevando o seu risco de ESRT.

5.2 Dados da aplicação

No que diz respeito aos dados utilizados no referido esforço de aplicação, fez-se uso da Pesquisa Origem-Destino Domiciliar de Fortaleza, coletada mais recentemente em 2019, visto que esta possui informações detalhadas acerca dos indivíduos, contemplando não apenas seus contextos familiares, como também seus padrões de participação em atividades mandatórias e não mandatórias, resultando em uma amostra de 16.435 indivíduos de baixa

renda. Nesse contexto, baseado no Diagrama Causal apresentado na Figura 23, através da fonte de dados supracitada, obtiveram-se informações relacionadas à produção de viagens não mandatórias, bem como à duração associada a esta tipologia de atividade, compondo, desse modo, a latente participação em atividades não mandatórias, com agregação no nível do indivíduo.

Ademais, a partir da referida fonte de dados secundários foi possível congregar informações relativas à presença de dependentes no domicílio (incorporada à modelagem como uma variável binária), à quantidade de horas despendidas em atividades mandatórias, ao tempo de deslocamento para a realização da referida tipologia de atividade e à quantidade de veículos individuais motorizados no domicílio, incorporando os componentes temporal e individual da acessibilidade. Outrossim, para a composição da variável latente associada ao componente locacional da acessibilidade, que congrega indicadores, agregados no nível da zona, relativos à distância às centralidades e ao *mix* de uso do solo, fez-se uso da base de dados disposta em Sousa (2019). Além disso, para a obtenção dos indicadores relativos à variável latente atrelada ao componente infraestrutural da acessibilidade, associados ao tempo médio de deslocamento interzonal por transporte público e à área acessível por transporte público a partir de cada zona de tráfego delimitada, fez-se uso do pacote *r5r* (Pereira *et al.*, 2021), desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).

Desse modo, considerando a delimitação relacionada ao público-alvo do referido esforço de investigação, bem como o conjunto de dados utilizado, a amostra analisada, indo ao encontro da proposta metodológica apresentada no Capítulo 4, apenas considerou indivíduos entre 18 e 64 anos, assumindo uniformidade dos efeitos causais para a referida faixa etária. Por fim, dado o escopo desta aplicação, o controle da renda domiciliar deu-se pela consideração do Critério Brasil (ABEP, 2015), que realiza a segmentação socioeconômica dos domicílios de acordo com classes de renda. Nesse sentido, apenas foram considerados na amostra domicílios de baixa renda, pertencentes às classes C, D e E. Ressalta-se que, como argumentado no Capítulo 4, todas as demais variáveis de controle (*presença de dependentes no domicílio, componente locacional da acessibilidade e componente individual da acessibilidade*) foram controladas mediante controle estatístico.

5.3 Aplicação da proposta metodológica

De posse do diagrama causal apresentado no Capítulo 4, bem como da contextualização da problemática anteriormente enunciada, os tópicos subsequentes abordarão

a aplicação da proposta metodológica disposta, visando investigar, com base em dados observacionais e sob a perspectiva da inferência causal, a relação entre os componentes da acessibilidade e a participação em atividades não mandatórias, realizadas fora do âmbito do domicílio, tomando por base a população de baixa renda na cidade de Fortaleza.

5.3.1 Especificação das equações estruturais

No que diz respeito à formulação ou especificação dos modelos de equações estruturais, seguindo a lógica da modelagem SEM introduzida no capítulo anterior, esta constitui-se como a primeira etapa analítica atrelada ao referido esforço de modelagem, consistindo, essencialmente, na determinação de equações para o modelo estrutural, onde cada equação associa-se à explicação de uma variável endógena explicitada no Diagrama Causal da Figura 23; com as causas diretas de cada variável endógena são incorporadas à formulação como variáveis explicativas.

Ressalta-se que, como mencionado por Siqueira (2020), a representação das variáveis exógenas e dos erros residuais dá-se unicamente pela sua média, centrada em zero, e variância. Sendo assim, assumindo a premissa de linearidade nas relações causais dispostas no Diagrama Causal proposto, as equações estruturais implicadas pelo referido mecanismo são tais como se seguem:

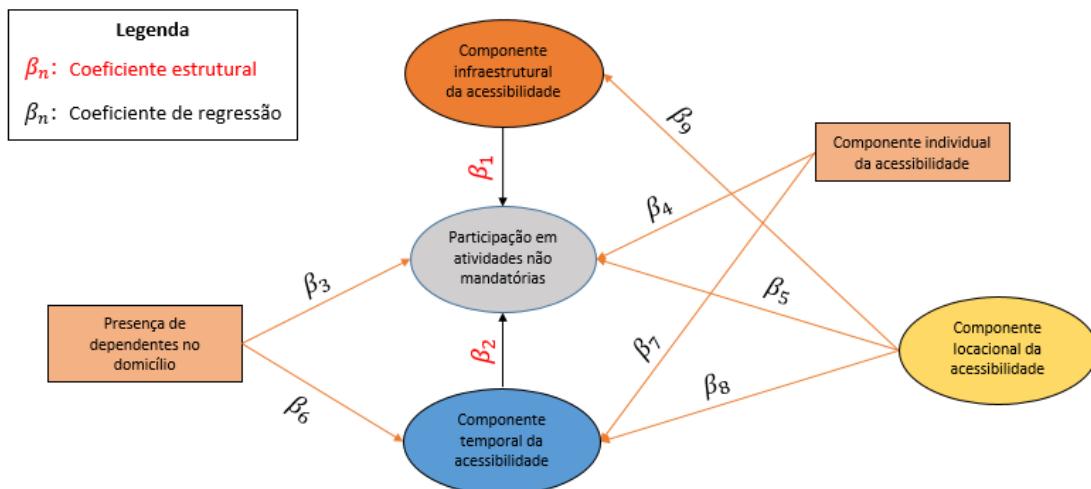
$$\begin{aligned}
 P_{atividades} &= \beta_1 \cdot Ac_{infra} + \beta_2 \cdot Ac_{temp} + \beta_3 \cdot Dependentes + \beta_4 \cdot Ac_{ind} + \beta_5 \cdot Ac_{loc} + \epsilon_1 \\
 Ac_{temp} &= \beta_6 \cdot Dependentes + \beta_7 \cdot Ac_{ind} + \beta_8 \cdot Ac_{loc} + \epsilon_2 \\
 Ac_{infra} &= \beta_9 \cdot Ac_{loc} + \epsilon_3 \\
 Dependentes &= distr(0, \sigma_{dependentes}^2) \\
 Ac_{ind} &= distr(0, \sigma_{Ac_{ind}}^2) \\
 Ac_{loc} &= distr(0, \sigma_{Ac_{loc}}^2) \\
 \epsilon_1 &= distr(0, \sigma_1^2) \\
 \epsilon_2 &= distr(0, \sigma_2^2) \\
 \epsilon_3 &= distr(0, \sigma_3^2)
 \end{aligned}$$

De posse das equações supracitadas, percebe-se que, para a referida aplicação, o esforço de investigação da relação entre os componentes da acessibilidade e a participação em atividades não mandatórias, realizadas fora do domicílio, envolve a estimação de nove coeficientes, denominados coeficientes de regressão do modelo SEM (Figura 30). No entanto, visto que o diagrama causal considerado faz distinção, com base no fenômeno investigado, entre variáveis a serem explicadas e variáveis de controle, presentes na estrutura causal proposta a fim de não transmitir correlações espúrias à relação causal de interesse, argumenta-

se que não faz parte do escopo deste trabalho inferir relações de causalidade a partir dos coeficientes associados ao subconjunto das variáveis de controle enunciadas no Capítulo 4.

Desse modo, apenas serão inferidas relações de causa e efeito a partir dos coeficientes, denominados coeficientes estruturais, concernentes às Hipóteses 1 e 2, relativas aos efeitos de *front-door* exercidos pelos componentes infraestrutural e temporal da acessibilidade sobre a participação dos indivíduos em atividades não mandatórias, tal como apresentado na Figura 29.

Figura 29: Coeficientes a serem estimados.



Fonte: Elaborado pelo autor

Apesar de não ser possível inferir (com base no mecanismo causal hipotetizado) relações de causalidade atreladas aos coeficientes não estruturais, analisar os resultados do modelo quanto às variáveis Presença de Dependentes no Domicílio, Quantidade de Veículos Individuais Motorizados no Domicílio - representativa da restrição individual no acesso aos modos de transporte e, por conseguinte, do componente individual da acessibilidade (devido à estratificação da amostra) - e ao Componente Locacional da Acessibilidade (considerando o caráter moderador inerente ao gênero dos indivíduos) pode contribuir significativamente para uma melhor compreensão do risco de ESRT a que indivíduos de baixa renda em Fortaleza estão submetidos. Sendo esta cidade representativa do contexto de metrópoles latino-americanas.

5.3.2 Especificação das variáveis latentes

Com relação à presença de variáveis não observadas no mecanismo causal proposto, tal como apresentado no Capítulo 4, incorporou-se ao Diagrama Causal da Figura

23 quatro variáveis latentes reflexivas, a saber: participação em atividades não mandatórias, componentes locacional, infraestrutural e temporal da acessibilidade. Já no que diz respeito à formulação associada aos modelos de medição, tal como enunciado por Grace e Bollen (2008), consistiu na explicitação de várias equações estruturais, em que cada indicador é definido como função da variável latente a que está relacionado e de um erro de medição.

Os indicadores utilizados na composição das variáveis latentes supracitadas estão apresentados na Tabela 12, onde percebe-se que o destaque dado ao primeiro indicador em cada variável deve-se à definição de uma escala de medição para a variável latente, atrelada à fixação do coeficiente do referido indicador a 1, tal como explicitado nas equações que se seguem.

Tabela 12: Composição das variáveis latentes reflexivas.

Variável	Indicadores	Notação
- Duração das atividades não mandatórias		
Participação em atividades não mandatórias	mandatórias - Quantidade de viagens não mandatórias produzidas	- Duracao _{disc,manut} - Viagens _{disc,manut}
- Tempo médio de deslocamento interzonal por transporte público		
Componente infraestrutural da acessibilidade	- Área acessível por transporte público a partir de cada zona	- Tempo _{TP} - Area _{TP}
- Horas despendidas em atividades mandatórias		
Componente temporal da acessibilidade	- Tempo de deslocamento para realização de viagens mandatórias	- Horas _{mandat} - Tempo _{desloc}
- Distância euclidiana às centralidades		
Componente locacional da acessibilidade	- Mix de uso do solo na zona;	- Dist _{central} - MIX

Fonte: Elaborado pelo autor.

$$Duracao_{disc,manut} = 1 \cdot P_{atividades} + \epsilon_{medicao_1}$$

$$Viagens_{disc,manut} = \lambda_1 \cdot P_{atividades} + \epsilon_{medicao_2}$$

$$Tempo_{TP} = 1 \cdot Ac_{infra} + \epsilon_{medicao_3}$$

$$Area_{TP} = \lambda_2 \cdot Ac_{infra} + \epsilon_{medicao_4}$$

$$Horas_{mandat} = 1 \cdot Ac_{temp} + \epsilon_{medicao_5}$$

$$Tempo_{desloc} = \lambda_3 \cdot Ac_{temp} + \epsilon_{medicao_6}$$

$$Dist_{central} = 1 \cdot Ac_{loc} + \epsilon_{medicao_7}$$

$$MIX = \lambda_4 \cdot Ac_{loc} + \epsilon_{medicao_8}$$

Como apresentado na tabela supracitada, a participação do indivíduo em atividades não mandatórias foi mensurada através da quantidade de viagens desta tipologia

produzidas por este, incorporando o caráter derivado da demanda por transportes, associado ao argumento de que quanto maior o número de deslocamentos atrelados à realização de atividades não mandatórias, maior o nível de participação do indivíduo nesta tipologia de atividade. Ademais, considerando o fato de que a participação em atividades possui não apenas uma dimensão espacial, mas também uma dimensão temporal, incorporou-se à mensuração da latente um indicador associado ao tempo que o indivíduo despende na realização da referida tipologia de atividade, conferindo, desse modo, maior poder explicativo à variável participação em atividades não mandatórias, através da consideração de que indivíduos que despendem maior tempo na realização de atividades não mandatórias possuem maiores níveis de participação nestas.

Além disso, no que diz respeito ao componente temporal da acessibilidade, este foi mensurado através da quantidade de horas despendidas em atividades mandatórias, bem como do tempo de deslocamento para a realização desta tipologia de atividade, refletindo a influência da realização de atividades mandatórias sobre a participação em atividades não mandatórias. Tal escolha fundamenta-se no entendimento de que quanto maior a quantidade de tempo despendido diariamente pelo indivíduo no deslocamento e na realização efetiva de atividades mandatórias como trabalho ou estudo, maior a pressão sobre o seu orçamento de tempo diário e, consequentemente, menor o espectro temporal diário disponível para a realização de atividades não mandatórias que, porventura, este deseje realizar.

A latente atrelada ao componente locacional da acessibilidade, por sua vez, foi mensurada através de um indicador de distância às centralidades, calculado no nível da zona, bem como um indicador de *mix* de uso do solo na zona. Nesse contexto, argumenta-se que quanto maior a distância entre o local de moradia do indivíduo e às oportunidades de atividades, maior a impedância associada ao deslocamento e, por conseguinte, ao nível de participação em atividades não mandatórias, com impacto direto sobre o orçamento de tempo diário do indivíduo. Outrossim, assume-se que, quando somada à impedância provocada pelo distanciamento das atividades, um baixo *mix* de uso do solo tende a desincentivar a participação em atividades não mandatórias, não fornecendo alternativas suficientes para que esta ocorra nas proximidades do domicílio e, por conseguinte, influenciando não apenas a quantidade de viagens desta tipologia produzidas, como também a duração destas.

O componente infraestrutural da acessibilidade, por sua vez, foi mensurado considerando unicamente atributos vinculados à rede de transporte público de Fortaleza, sob a premissa de que indivíduos de baixa renda em Fortaleza tendem a se deslocar utilizando majoritariamente este modo de transporte. Nesse sentido, incorporaram-se indicadores

relativos ao tempo médio de deslocamento, no nível da zona, por transporte público, bem como à área acessível por transporte público a partir de cada zona, capturando assim a influência da rede de transporte público, em termos de impedância ao deslocamento, no nível de participação em atividades não mandatórias de indivíduos de baixa renda em Fortaleza.

Com o modelo completamente especificado, pode-se mensurar o número de graus de liberdade do modelo SEM proposto através da diferença entre a quantidade de informações presentes no modelo, calculada em função do número de variáveis (indicadores), e o número de parâmetros livres, determinado em função dos quantitativos associados aos coeficientes do modelo estrutural, às variâncias atreladas às variáveis exógenas, aos erros residuais, aos coeficientes do modelo de medição e aos erros de medição. Constatase que o modelo especificado dispõe de $10(10 + 1)/2 = 55$ informações. Por outro lado, somando-se a quantidade de coeficientes estruturais (9), variâncias atreladas às variáveis exógenas (3), erros residuais (3), coeficientes do modelo de medição (4) e erros de medição (8), chega-se ao quantitativo de 27 parâmetros livres, resultando em 28 graus de liberdade atrelados ao modelo especificado.

5.3.3 Método de estimação adotado

No que diz respeito ao método de estimação adotado, estabeleceu-se *a priori* que, devido à hipótese de heterogeneidade de efeitos causais no mecanismo proposto, dada a consideração do caráter moderador atrelado ao gênero do indivíduo, segmentou-se a amostra considerada em dois grupos distintos, a saber: *Feminino baixa renda* (Fbr) e *Masculino baixa renda* (Mbr). Foram então estimados os modelos SEM, por meio da abordagem SEM multigrupos, para cada um dos estratos considerados, permitindo assim a comparação estatística dos valores estimados, visto que o referido processo de estimação é realizado conjuntamente para ambos os estratos.

Reitera-se que a adoção da abordagem SEM multigrupos altera o quantitativo, apresentado na seção anterior, referente ao número de informações, parâmetros livres e graus de liberdade do modelo. Nesse contexto, devido à segmentação da amostra, faz-se necessário estimar interceptos para cada variável do modelo. Assim, utilizando a referida abordagem, tem-se um total de 65 informações e 37 parâmetros livres por estrato considerado, o que, por conseguinte, resulta em 56 graus de liberdade atrelados ao modelo especificado, permitindo a realização de testes inferenciais.

Outrossim, visto que a utilização de estimadores de máxima verossimilhança assumem a premissa de que as variáveis endógenas do modelo seguem uma distribuição normal multivariada e assumindo que, devido à natureza complexa do fenômeno investigado, bem como ao elevado tamanho de amostra considerado, esta tende a não ser satisfeita, fez-se uso, através do pacote *lavaan* na linguagem R, de um estimador de máxima verossimilhança com erros padrões robustos (MLM), relaxando a premissa de normalidade multivariada dos dados. A Tabela 13 apresenta os resultados do teste qui-quadrado para os modelos estimados. Ressalta-se que, considerando a não normalidade dos dados, conduziu-se, para além do teste qui-quadrado padrão, um teste escalado de Satorra-Bentler, que ajusta os resíduos do modelo em casos de não normalidade.

Tabela 13: Teste qui-quadrado para os modelos estimados.

Grupo	Tamanho da amostra	Estatística qui-quadrado padrão	Estatística qui-quadrado escalada (Satorra-Bentler)	Valor-p
Feminino baixa renda	8459	675,601	699,772	< 0,001
Masculino baixa renda	7976	387,531	401,395	<0,001

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 13, percebem-se evidências para a rejeição da hipótese nula de compatibilidade entre as matrizes de covariâncias observadas e modeladas. No entanto, a referida constatação pode estar associada ao elevado poder estatístico dos testes, dados os elevados tamanhos de amostra considerados, bem como ao grande número de parâmetros a serem estimados. Sendo assim, faz-se necessário considerar medidas auxiliares de aderência, tais como o Índice de Ajuste Comparativo (CFI), o Erro Quadrático Médio da Aproximação (RMSEA), o Índice Tucker-Lewis (TLI) e o Resíduo Quadrático Médio Padronizado (SRMR). A Tabela 14 apresenta os valores associados às referidas métricas para o modelo estimado.

Tabela 14: Métricas de aderência para os modelos estimados.

Índice	Indicativo de bom ajuste	Estimativa (robusta)
CFI	CFI $\geq 0,95$	0,985
TLI	TLI $\geq 0,95$	0,973
RMSEA	RMSEA $\leq 0,05$	0,05
SRMR	SRMR $\leq 0,08$	0,027

Fonte: Elaborado pelo autor

Como pode-se perceber na Tabela 14, as medidas de aderência utilizadas corroboram com o argumento de que o mecanismo causal proposto é compatível com os padrões observados no conjunto de dados fornecidos para ambos os estratos considerados. Mais especificamente, visto que o SRMR reflete a média dos resíduos padronizados de um modelo SEM, é razoável argumentar que os modelos estimados apresentam resíduos padronizados de baixa magnitude, com reduzidas diferenças, em termos de desvios-padrão, entre as correlações observadas e estimadas pelo modelo.

Com o entendimento de que o mecanismo causal proposto é corroborado pelo modelo SEM estimado pelo método supracitado, pode-se atribuir significado causal aos coeficientes estruturais atrelados à relação entre os componentes temporal e infraestrutural da acessibilidade e a participação em atividades não mandatórias, bem como interpretar os coeficientes de regressão, inerentes às demais relações explicitadas no Diagrama Causal da Figura 23, à luz do fenômeno do risco de ESRT. As Tabelas 15 e 16 apresentam os resultados do processo de estimação para as relações dispostas no mecanismo causal proposto, considerando os modelos estrutural e de medição.

Tabela 15: Estimativas padronizadas do modelo estrutural.

Relação explicitada		Fbr	Mbr
ACESS_INFRA	PART_ATIV	-0,03	-0,02
ACESS_TEMP	PART_ATIV	-0,80	-0,79
DEPENDENTES	PART_ATIV	0,18	0,19
ACESS_IND	PART_ATIV	0,03	0,05
ACESS_LOC	PART_ATIV	0,03	0,04
DEPENDENTES	ACESS_TEMP	-0,14	0,09
ACESS_IND	ACESS_TEMP	0,08	0,08
ACESS_LOC	ACESS_TEMP	0,02	0,12
ACESS_LOC	ACESS_INFRA	0,72	0,71

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 16: Estimativas padronizadas do modelo de medição.

Variável latente	Indicador	Fbr	Mbr
PART_ATIV	VIAG_PROD	0,83	0,78
PART_ATIV	DURAÇÃO	0,52	0,64
ACESS_TEMP	HORAS_GASTAS	0,68	0,50
ACESS_TEMP	TEMP_DESLOC	0,59	0,52
ACESS_INFRA	TEMP_INTERZONAL	0,99	0,99
ACESS_INFRA	AREA_ACESS	-0,97	-0,97
ACESS_LOC	DIST_CENTRAL	0,94	0,95
ACESS_LOC	MIX_US	-0,44	-0,44

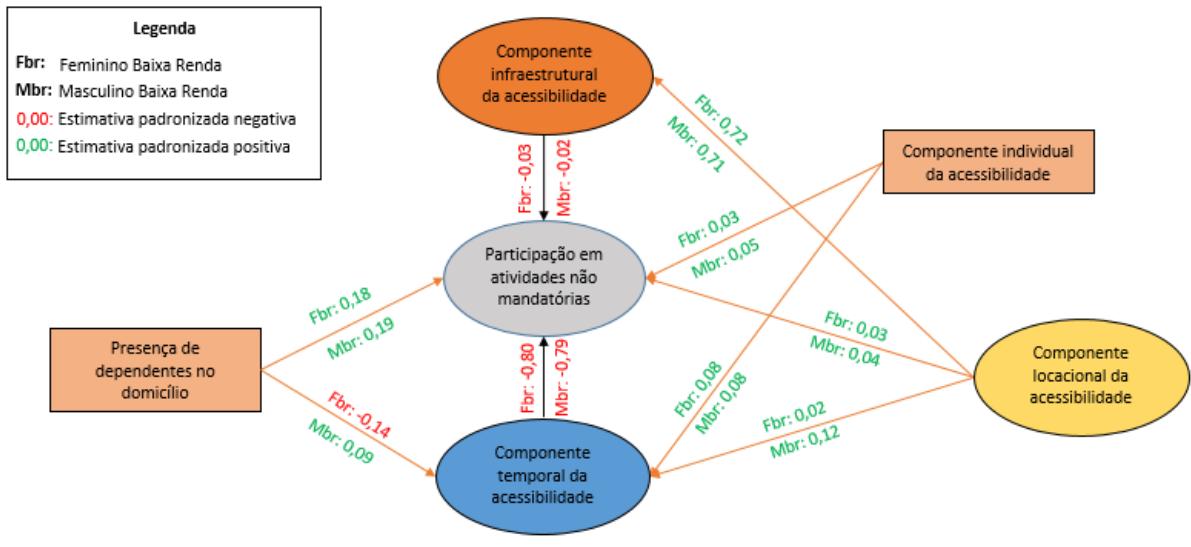
Fonte: Elaborado pelo autor

Reitera-se que a elevada magnitude dos coeficientes associados ao modelo de medição, para ambos os estratos considerados, constitui-se como representativa de uma especificação adequada dos referidos modelos, visto que se atrela, notadamente, a menores erros de medição. Outrossim, tal como hipotetizado anteriormente, percebe-se nas estimativas padronizadas dos coeficientes atrelados ao modelo estrutural a existência de processos causais distintos entre os gêneros masculino e feminino, corroborando o caráter moderador da referida variável. A seção subsequente apresenta as interpretações, causais e não causais, atribuídas às estimativas padronizadas do modelo estrutural relativo ao Diagrama Causal proposto na Figura 23, contribuindo fenomenologicamente à discussão do risco de exclusão social relacionada a transportes da população de baixa renda em Fortaleza.

5.3.4 Discussão fenomenológica acerca dos resultados da estimação

A Figura 30 explicita os resultados do processo de estimação dos coeficientes detalhados nas equações anteriormente apresentadas, pelo método descrito na seção 5.3.3. Neste aspecto, apesar da atribuição de significado causal unicamente à relação entre os componentes temporal e infraestrutural da acessibilidade sobre a participação em atividades não mandatórias, as relações associativas entre as demais variáveis que compõem o mecanismo causal especificado serão investigadas na perspectiva do risco de ESRT, de modo a identificar contribuições na compreensão do fenômeno investigado. Ressalta-se ainda que, tal como argumentado no Capítulo 4, a incorporação da variável Gênero como moderadora das relações causais investigadas resultou na obtenção de estimativas padronizadas inerentes a dois estratos distintos (*Feminino baixa renda* (Fbr) e *Masculino baixa renda* (Mbr)), tal como explicitado na seção anterior, dado o público-alvo do referido esforço de investigação.

Figura 30: Modelo SEM estimado para os dois estratos considerados.



Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados apresentados na Figura 30 destacam, inicialmente, que a presença de dependentes no domicílio tende a afetar de maneira oposta os estratos masculino e feminino de baixa renda no que diz respeito à participação em atividades mandatórias, tais como atividades de trabalho ou estudo. Tal argumento baseia-se no fato de que, dado que o componente temporal da acessibilidade é representado por indicadores relativos ao investimento de tempo na realização da referida tipologia de atividades, um efeito negativo da presença de dependentes no domicílio sobre o componente temporal da acessibilidade para Fbr (-0,14), em contraponto a um efeito positivo da referida relação para Mbr (0,09), é representativo do menor grau de participação do estrato feminino em atividades de trabalho e estudo devido, notadamente, às suas maiores atribuições do lar. Resultados que vão ao encontro dos obtidos por Siqueira (2020) no contexto da cidade de São Paulo, que revelaram o caráter limitante das atribuições domésticas sobre a inserção de mulheres no mercado de trabalho, bem como por Luz *et al.* (2022), relativo ao mesmo contexto, que constataram uma menor participação feminina, em comparação ao sexo masculino, em atividades mandatórias.

Outrossim, em consonância à argumentação construída ao longo do Capítulo 2 a respeito do impacto direto das pressões no orçamento de tempo do indivíduo sobre a sua participação em atividades não mandatórias, percebe-se que, para ambos os estratos considerados, o efeito causal do componente temporal da acessibilidade sobre a participação em atividades não mandatórias é negativo, o que, por sua vez, significa que quanto maior o tempo de deslocamento para a realização de atividades mandatórias, bem como a parcela do orçamento diário destinada à esta tipologia de atividades, menor a quantidade de

deslocamentos e, por conseguinte, o tempo despendido na realização de atividades discricionárias e de manutenção.

Nota-se, no entanto, que, no tocante ao referido efeito, apesar da proximidade em magnitude, indivíduos do sexo feminino tendem a ser mais sensíveis às pressões sobre seus orçamentos de tempo, em decorrência da participação em atividades de trabalho ou estudo, dadas as maiores restrições espaço-temporais experienciadas por estes, devido, possivelmente, à necessidade de conciliar as responsabilidades profissionais e domésticas (Kwan, 1999; McCray; Brais, 2007), sendo isto refletido nos valores dos coeficientes estruturais estimados para Fbr (-0,80) e Mbr (-0,79).

Nesse aspecto, sob a perspectiva do risco de ESRT, pode-se argumentar, com base no que foi exposto, que existe uma relação causal significativa entre o componente temporal da acessibilidade e o nível de participação individual em atividades não mandatórias. Dessa forma, para indivíduos de baixa renda que vivenciam um contexto marcado por elevados tempos de deslocamento pendulares do tipo casa-trabalho - bem como por jornadas de trabalho inflexíveis - quanto menor o tempo disponível para a realização de atividades discricionárias ou de manutenção, maior o risco de ESRT a que estes estão submetidos. Os resultados obtidos (apesar da pequena diferença de magnitude observada) corroboram com evidências empíricas de que este efeito se constitui como heterogêneo por gênero, reforçando o caráter moderador da referida variável na relação causal de interesse.

Vale ressaltar que, apesar de não estar atrelada a um efeito causal, a relação associativa positiva entre a presença de dependentes no domicílio e a participação em atividades não mandatórias para Fbr (0,18) e Mbr (0,19), reflete a influência do arranjo familiar sobre o nível de participação individual em atividades não compulsórias, visto que, pelo resultado apresentado, a presença de indivíduos em idade inferior a 18 anos ou superior a 64 anos no domicílio associa-se a uma maior participação dos demais indivíduos que o compõe em atividades discricionárias ou de manutenção. Para Luz *et al.* (2022), o referido fenômeno associa-se, notadamente, à presença de idosos no domicílio, que, por disporem de um maior orçamento de tempo diário, bem como de menores restrições orçamentárias, tendem a desenvolver maiores níveis de participação em atividades discricionárias, induzindo, por conseguinte, os níveis de participação na referida tipologia de atividades dos demais componentes do domicílio, devido à necessidade de um acompanhante.

No tocante ao efeito causal do componente infraestrutural da acessibilidade sobre a participação individual em atividades não mandatórias, percebe-se que este constitui-se como negativo para ambos os estratos considerados – Fbr (-0,03) e Mbr (-0,02). Nesse

aspecto, pode-se argumentar que, considerando o contexto de indivíduos de baixa renda em Fortaleza (com grande parcela cativa do transporte público para a realização de atividades), maiores tempos de deslocamento no acesso a atividades não compulsórias atuam de modo a desincentivar a participação do indivíduo na referida tipologia de atividades; elevando, por conseguinte, seu risco de ESRT.

Deve-se perceber, no entanto, que analisando as estimativas atreladas aos efeitos dos componentes infraestrutural e locacional da acessibilidade sobre a participação em atividades não mandatórias, nota-se relativa inelasticidade inerente aos coeficientes de ambos os estratos considerados; revelando uma tendência de realização de atividades não compulsórias - e, portanto, flexíveis do ponto de vista do local associado à sua realização - nas proximidades do domicílio onde o indivíduo reside (devido às suas restrições espaço-temporais). Nesse contexto, é razoável inferir, com base nos resultados apresentados, que indivíduos que residem em regiões com menores concentrações de oportunidades de caráter não compulsório associam-se a maiores riscos de ESRT no contexto considerado.

Por outro lado, nota-se relativa diferença na magnitude dos coeficientes associados ao efeito do componente locacional da acessibilidade sobre o componente temporal da acessibilidade (que reflete a participação individual em atividades mandatórias), para os estratos considerados - Mbr (0,12) e Fbr (0,02). Apesar do teor unicamente associativo, isto reflete a influência direta do fenômeno do *spatial mismatch* sobre o risco de exclusão social de indivíduos de baixa renda. Visto que, quanto maior a distância às centralidades, maior o tempo de deslocamento para a realização de atividades mandatórias. Ademais, quanto maior o mix de uso do solo de determinada região, menor o tempo necessário para acessar atividades compulsórias. Reitera-se que a referida influência (em se tratando de atividades mandatórias) é mais pronunciada no gênero masculino - tal fato pode estar associado ao maior grau de inserção deste estrato na referida tipologia de atividades.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O intuito deste trabalho consistiu em fornecer uma proposta metodológica capaz de analisar a relação entre acessibilidade e participação em atividades, à luz da teoria de inferência causal, sob a ótica do risco de exclusão social relacionada a transportes. Sendo assim, dada a natureza da problemática investigada, este capítulo se propõe a explicitar as contribuições metodológicas e fenomenológicas decorrentes do referido esforço de análise, destacando, dentre outros aspectos, suas limitações e potencialidades para trabalhos futuros.

6.1 Contribuições metodológicas

Como apresentado ao longo deste trabalho, diversos autores se propuseram a investigar a relação entre os níveis de acessibilidade de um indivíduo e o seu grau de participação em atividades sob uma perspectiva associativa, sem, no entanto, inferir relações de causalidade. Ademais, mesmo os trabalhos que levaram em conta a perspectiva causal através do controle de eventuais fontes de endogeneidade, associadas à transmissão de correlações espúrias à estimação dos efeitos de interesse, não incorporaram a acessibilidade em todas as suas dimensões, tal como defendido por Geurs e Van Wee (2004).

Nesse contexto, entende-se que a primeira contribuição metodológica do referido esforço de investigação consiste na consideração da acessibilidade a partir de seus quatro componentes (locacional, individual, temporal e infraestrutural), sob a perspectiva do risco de ESRT. Dessa forma, torna-se possível, através da teoria da inferência causal, identificar com clareza, a partir de um conhecimento estabelecido *a priori*, quais destes componentes devem ser considerados na investigação causal da relação entre acessibilidade e participação em atividades; e quais devem ser controlados, de modo a não transmitir correlações espúrias à relação de interesse.

Outrossim, argumenta-se que a incorporação de variáveis que refletem a participação em atividades mandatórias e não mandatórias como latentes ao modelo proposto possui relevância do ponto de vista metodológico, visto que, para além de incorporar de forma mais assertiva a complexidade associada ao fenômeno investigado, permitiu a estimação do efeito direto da realização de atividades mandatórias, sob a perspectiva das pressões sobre o orçamento de tempo diário do indivíduo, sobre a participação em atividades não mandatórias, levando em conta as implicações concernentes ao risco de exclusão social relacionada a transporte a que um indivíduo pode estar submetido.

Por fim, argumenta-se que a consideração do caráter moderador do gênero do indivíduo na relação causal entre acessibilidade e participação em atividades mandatórias e não mandatórias, sob a perspectiva do risco de ESRT, constitui-se como uma contribuição metodológica à investigação do fenômeno de interesse, dada a tendência dos trabalhos revisados em incorporá-lo explicitamente à formulação dos modelos estatístico estabelecidos, tendo os resultados obtidos no âmbito deste trabalho corroborado com a hipótese de que o efeito causal da acessibilidade sobre a participação individual em atividades apresenta-se como heterogêneo por gênero.

6.2 Contribuições fenomenológicas

Apesar do principal objetivo deste trabalho estar vinculado às contribuições metodológicas anteriormente detalhadas, o esforço de construção de um conhecimento a *priori* que embasasse a proposição de uma representação conceitual dos determinantes do processo decisório associado à participação em atividades, bem como de um Mapa Mental das hipóteses de causalidade envolvendo os subsistemas de uso do solo, transportes e um conjunto de restrições no nível do indivíduo, culminando na proposição de um diagrama causal, contribuiu significativamente para uma melhor compreensão do fenômeno do risco de exclusão social relacionada a transportes.

Nesse contexto, argumenta-se que a sistematização de como processos decisórios atrelados aos subsistemas de uso do solo e transportes, bem como restrições individuais, envolvendo não apenas o indivíduo, mas o arranjo familiar, precedem e influenciam a demanda individual pela realização de determinadas atividades, constitui-se como uma contribuição ao entendimento do fenômeno do risco de ESRT a que indivíduos possam estar submetidos, tendo em vista que a decisão de atividades, como foi tratado ao longo deste trabalho o referido processo decisório, reflete não apenas a participação efetiva do indivíduo em determinada atividade, como também os motivos atrelados a sua não participação.

Destarte, a estruturação de evidências empíricas encontradas na literatura, relativas a contextos do sul global, sob a perspectiva da participação em atividades e do risco de exclusão social relacionada a transportes, na forma de hipóteses de causalidade, através de um mapa mental, constitui-se como uma contribuição ao entendimento do fenômeno investigado, visto que sistematiza as possíveis inter-relações inerentes a um fenômeno essencialmente complexo, permitindo uma compreensão mais ampla dos fatores que podem

contribuir, direta ou indiretamente, para a desigualdade que se manifesta na forma de exclusão social.

Por fim, a aplicação da metodologia proposta no contexto de indivíduos de baixa renda que residem em Fortaleza forneceu evidências empíricas que corroboram com a hipótese central deste trabalho de que menores níveis de acessibilidade, notadamente relacionada às pressões sobre o orçamento de tempo do indivíduo, associam-se causalmente a um maior risco de que este seja socialmente excluído da participação em atividades não compulsórias devido a barreiras de transporte.

6.3 Limitações e recomendações para trabalhos futuros

A análise realizada neste esforço de investigação pautou-se no estabelecimento de que a sensibilidade atrelada ao risco de exclusão social relacionada a transportes baseia-se, notadamente, na participação individual em atividades não mandatórias, sendo esta mensurada através de indicadores relativos à produção de viagens e à duração da referida tipologia de atividades. No entanto, devido a limitações inerentes à principal base de dados utilizada, a hipótese de que os baixos níveis de participação em atividades não compulsórias decorrem de uma escolha individual não foi incorporada ao processo de modelagem.

Nesse contexto, recomenda-se que, através de bases de dados alternativas, trabalhos futuros incorporem o caráter voluntário atrelado a não participação em atividades não compulsórias, de modo a obter um entendimento mais abrangente do fenômeno do risco de exclusão social relacionada a transportes a que indivíduos possam estar submetidos. Outrossim, a aplicação desenvolvida neste trabalho limitou-se a investigar o risco de exclusão social relacionada a transportes da população de baixa renda em Fortaleza, sendo esta representativa do contexto experienciado em cidades latino-americanas. No entanto, reconhecendo que a renda do indivíduo exerce um efeito moderador sobre a relação causal de interesse, recomenda-se que trabalhos futuros avancem na compreensão de como o risco de ESRT é sensível à condição socioeconômica individual, dentro do contexto supracitado.

REFERÊNCIAS

- ABEP - Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (2015) Critério de Classificação Econômica Brasil, 2015.
- ALLEN, J.; FARBER, S. Planning transport for social inclusion: An accessibility-activity participation approach. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 78, 1 jan. 2020.
- ANDRADE, B. R. et al. Efeitos da periferização nos níveis de acessibilidade aos empregos da população de baixa renda em Fortaleza. **Transportes**, v. 28, n. 3, p. 46–60, 31 ago. 2020.
- ARENTE, T. A.; TIMMERMANS, H. J. P. A need-based model of multi-day, multi-person activity generation. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 43, n. 2, p. 251–265, 2009.
- BENEVENUTO, R.; CAULFIELD, B. Poverty and transport in the global south: An overview. **Transport Policy**, v. 79, p. 115–124, 1 jul. 2019.
- BHAT, C. R. et al. A household-level activity pattern generation model with an application for Southern California. **Transportation**, v. 40, n. 5, p. 1063–1086, set. 2013.
- BOCAREJO S., J. P.; OVIEDO H., D. R. Transport accessibility and social inequities: a tool for identification of mobility needs and evaluation of transport investments. **Journal of Transport Geography**, v. 24, p. 142–154, set. 2012.
- BOISJOLY, G. et al. Accessibility measurements in São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba and Recife, Brazil. **Journal of Transport Geography**, v. 82, 1 jan. 2020.
- BOLLEN, K. A. **Structural Equations with Latent Variables**. [s.l.] Wiley, 1989.
- BOUSSAUW, K.; VAN MEETEREN, M.; WITLOX, F. Short trips and central places: The home-school distances in the Flemish primary education system (Belgium). **Applied Geography**, v. 53, p. 311–322, 2014.
- BROWNE, M. W. Asymptotically distribution-free methods for the analysis of covariance structures. **British Journal of Mathematical and Statistical Psychology**, v. 37, n. 1, p. 62–83, 1984.
- BURCHARDT, T.; LE GRAND, J.; PIACHAUD, D. Social Exclusion in Britain 1991–1995. **Social Policy & Administration**, v. 33, n. 3, p. 227–244, set. 1999.
- CASAS, I. Social Exclusion and the Disabled: An Accessibility Approach*. **The Professional Geographer**, v. 59, n. 4, p. 463–477, nov. 2007.
- CASS, N.; SHOVE, E.; URRY, J. Social Exclusion, Mobility and Access. **The Sociological Review**, v. 53, n. 3, p. 539–555, 25 ago. 2005.

- CERVERO, R.; KOCKELMAN, K. Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 2, n. 3, p. 199–219, set. 1997.
- CHURCH, A.; FROST, M.; SULLIVAN, K. Transport and social exclusion in London. **Transport Policy**, v. 7, n. 3, p. 195–205, jul. 2000.
- DALVI, M. Q.; MARTIN, K. M. The measurement of accessibility: some preliminary results. **Transportation**, v. 5, p. 17–42, 1976.
- DENMARK, D. The outsiders: Planning and transport disadvantage. **Journal of Planning Education and Research**, v. 17, p. 231–245, 1998.
- DIJST, M. Time Geographic Analysis. Em: **International Encyclopedia of Human Geography**. [s.l.] Elsevier, 2009. p. 266–278.
- DING, Y.; LU, H.; SUN, X. Impact of Improved Accessibility on Shopping Activity: Person-Based Measure. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 142, n. 3, set. 2016.
- ENGELS, B.; LIU, G. J. Social exclusion, location and transport disadvantage amongst non-driving seniors in a Melbourne municipality, Australia. **Journal of Transport Geography**, v. 19, n. 4, p. 984–996, jul. 2011.
- FARBER, S.; PÁEZ, A. Running to stay in place: the time-use implications of automobile oriented land-use and travel. **Journal of Transport Geography**, v. 19, n. 4, p. 782–793, jul. 2011.
- FRANSEN, K. et al. A spatio-temporal accessibility measure for modelling activity participation in discretionary activities. **Travel Behaviour and Society**, v. 10, p. 10–20, 1 jan. 2018.
- GARCIA LOPES PINTO, D.; GRANGEIRO LOUREIRO, C. F.; FRANCO LEITE DE MATOS SOUSA, F. As desigualdades socioespaciais na acessibilidade ao trabalho em Fortaleza sob distintas métricas. **Transportes**, v. 30, n. 1, p. 2656, 30 abr. 2022.
- GARLING, T. et al. The spatiotemporal sequencing of everyday activities in the large-scale environment. **Journal of Environmental Psychology**, v. 6, p. 261–280, 1986.
- GARLING, T. et al. Computer simulation of household activity scheduling. **Environment and Planning A**, v. 30, p. 665–679, 1998.
- GEURS, K. T.; VAN WEE, B. Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions. **Journal of Transport Geography**, v. 12, n. 2, p. 127–140, jun. 2004.
- GOLOB, T. F. A simultaneous model of household activity participation and trip chain generation. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 34, n. 5, p. 355–376, jun. 2000.

- GRACE, J. B.; BOLLEN, K. A. Representing general theoretical concepts in structural equation models: The role of composite variables. **Environmental and Ecological Statistics**, v. 15, n. 2, p. 191–213, jun. 2008.
- HÄGERSTRAND, T. What about people in Regional Science? **Papers of the Regional Science Association**, v. 24, n. 1, p. 6–21, dez. 1970.
- HANSEN, W. G. How Accessibility Shapes Land Use. **Journal of the American Planning Association**, v. 25, n. 2, p. 73–76, 1959.
- HINE, J. Transport Disadvantage and Social Exclusion in Urban Scotland. **Built Environment**, v. 30, n. 2, p. 161–171, 1 jun. 2004.
- HINE, J.; MITCHELL, F. Better for everyone? Travel experiences and transport exclusion. **Urban Studies**, v. 38, n. 2, p. 319–332, 2001.
- HOYLE, R. H. **Handbook of structural equation modeling**. New York: The Guilford Press, 2012.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. População e domicílios – primeiros resultados do Censo Demográfico 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.
- JEEKEL, J. F.; MARTENS, C. J. C. M. Equity in transport: Learning from the policy domains of housing, health care and education. **European Transport Research Review**, v. 9, n. 4, 1 dez. 2017.
- KENYON, S.; LYONS, G.; RAFFERTY, J. Transport and social exclusion: investigating the possibility of promoting inclusion through virtual mobility. **Journal of Transport Geography**, v. 10, p. 207–219, 2002.
- KNOWLES, R. D. Transport shaping space: differential collapse in time-space. **Journal of Transport Geography**, v. 14, n. 6, p. 407–425, nov. 2006.
- KWAN, M. P. Gender and individual access to urban opportunities: A study using space–time measures. **Professional Geographer**, v. 51, n. 2, p. 210–227, 1 maio 1999.
- LEE, B. et al. Commuting trends in U.S. Cities in the 1990s. **Journal of Planning Education and Research**, v. 29, n. 1, p. 78–89, 2009.
- LEVITAS, R. et al. **The multi-dimensional analysis of social exclusion**. Department of Sociology and School for Social Policy, Townsend Centre for the International Study of Poverty and Bristol Institute for Public Affairs. University of Bristol, Bristol. 2007.
- LIMA, L. S. et al. Espaçamento urbano e seus impactos nas desigualdades socioespaciais da acessibilidade ao trabalho em Fortaleza. **Transportes**, v. 29, n. 1, p. 229–246, 30 abr. 2021.
- LUCAS, K. Making the connections between transport disadvantage and the social exclusion of low income populations in the Tshwane Region of South Africa. **Journal of Transport Geography**, v. 19, n. 6, p. 1320–1334, nov. 2011.

- LUCAS, K. Transport and social exclusion: Where are we now? **Transport Policy**, v. 20, p. 105–113, mar. 2012.
- LUZ, G. et al. Does better accessibility help to reduce social exclusion? Evidence from the city of São Paulo, Brazil. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 166, p. 186–217, 1 dez. 2022.
- LUZ, G.; PORTUGAL, L. Understanding transport-related social exclusion through the lens of capabilities approach. **Transport Reviews**, v. 42, n. 4, p. 503–525, 2022.
- MAAT, K.; TIMMERMANS, H. J. P. A causal model relating urban form with daily travel distance through activity/travel decisions. **Transportation Planning and Technology**, v. 32, n. 2, p. 115–134, abr. 2009.
- MA, L.; KENT, J. L.; MULLEY, C. Transport disadvantage, social exclusion, and subjective well-being: The role of the neighborhood environment—evidence from Sydney, Australia. **Journal of Transport and Land Use**, v. 11, n. 1, p. 31–47, 2018.
- MARICATO, E. Metrópole, legislação e desigualdade. **Estudos Avançados**, v. 17, p. 151–167, 2003.
- MARQUET, O.; BEDOYA, V. R.; MIRALLES-GUASCH, C. Local accessibility inequalities and willingness to walk in Latin-American cities: Findings from Medellín, Colombia. **International Journal of Sustainable Transportation**, v. 11, n. 3, p. 186–196, 16 mar. 2016.
- MARQUET, O.; MIRALLES-GUASCH, C. Walking short distances. The socioeconomic drivers for the use of proximity in everyday mobility in Barcelona. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 70, p. 210–222, 1 dez. 2014.
- MATTIOLI, G. Where Sustainable Transport and Social Exclusion Meet: Households Without Cars and Car Dependence in Great Britain. **Journal of Environmental Policy and Planning**, v. 16, n. 3, p. 379–400, 1 jul. 2014.
- MCCRAY, T.; BRAIS, N. Exploring the role of transportation in fostering social exclusion: The use of GIS to support qualitative data. **Networks and Spatial Economics**, v. 7, n. 4, p. 397–412, dez. 2007.
- MERLIN, L. A. Can the built environment influence nonwork activity participation? An analysis with national data. **Transportation**, v. 42, n. 2, p. 369–387, 1 mar. 2015.
- MOKHTARIAN, P. L.; CHEN, C. TTB or not TTB, that is the question: A review and analysis of the empirical literature on travel time (and money) budgets. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 38, n. 9–10, p. 643–675, 2004.
- MORENO-MONROY, A. I.; RAMOS, F. R. The impact of public transport expansions on informality: The case of the São Paulo Metropolitan Region. **Research in Transportation Economics**, v. 88, 1 set. 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Leaving no one behind: the imperative of inclusive development Report on the World Social Situation 2016.** [s.l: s.n.].

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **World Urbanization Prospects The 2018 Revision.** [s.l: s.n.].

OVIEDO, D.; SABOGAL, O. Unpacking the connections between transport and well-being in socially disadvantaged communities: Structural equations approach to low-income neighbourhoods in Nigeria. **Journal of Transport and Health**, v. 19, 1 dez. 2020.

PEARL, J. **CAUSALITY: Models, Reasoning, and Inference.** 1. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

PEARL, J.; GLYMOUR, M.; JEWELL, N. P. **Causal inference in statistics : a primer.** 1. ed. [s.l.] John Wiley & Sons Ltd, 2016.

PEREIRA, R. H. M.; SCHWANEN, T.; BANISTER, D. Distributive justice and equity in transportation. **Transport Reviews**, v. 37, n. 2, p. 170–191, 4 mar. 2017.

PEREIRA, R. H. M. et al. r5r: Rapid Realistic Routing on Multimodal Transport Networks with R5 in R. **Transport Findings**, 4 mar. 2021.

PINTO, D. G. L. et al. The effects of informality on socio-spatial inequalities in accessibility to job opportunities: Evidence from Fortaleza, Brazil. **Journal of Transport Geography**, v. 108, 1 abr. 2023.

PRESTON, J.; RAJÉ, F. Accessibility, mobility and transport-related social exclusion. **Journal of Transport Geography**, v. 15, n. 3, p. 151–160, maio 2007.

ROOT, G. S.; RECKER, W. **Toward a Dynamic Model of Individual Activity Pattern Formulation.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://escholarship.org/uc/item/7t72q459>>. Acesso em: 8 dez. 2024.

SCHEINER, J. Social inequalities in travel behaviour: Trip distances in the context of residential self-selection and lifestyles. **Journal of Transport Geography**, v. 18, n. 6, p. 679–690, nov. 2010.

SCHEINER, J.; HOLZ-RAU, C. Travel mode choice: Affected by objective or subjective determinants? **Transportation**, v. 34, n. 4, p. 487–511, jul. 2007.

SCHUMACKER, R. E.; LOMAX, R. G. **A beginner's guide to structural equation modeling.** [s.l.] Routledge, 2010.

SHERGOLD, I.; PARKHURST, G. Transport-related social exclusion amongst older people in rural Southwest England and Wales. **Journal of Rural Studies**, v. 28, n. 4, p. 412–421, 2012.

SHIPLEY, B. **Cause and Correlation in Biology.** [s.l.] Cambridge University Press, 2016.

SIQUEIRA, M. **Metodologia de Análise dos Determinantes da Demanda por Transportes no Paradigma da Inferência Causal**. Dissertação—Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2020.

SIQUEIRA, M. et al. Diagnosis of cause-effect relationships in mobility by gender in large Brazilian cities. **Transportes**, v. 30, n. 1, 30 abr. 2022.

SOCIAL EXCLUSION UNIT. **Making the Connections: Final Report on Transport and Social Exclusion**. Londres. 2003.

SOUSA, F. F. L. de M. **Diagnóstico estratégico das desigualdades socioespaciais na acessibilidade ao trabalho em Fortaleza**. 2019. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

THILL, J. C.; KIM, M. Trip making, induced travel demand, and accessibility. **Journal of Geographical Systems**, v. 7, n. 2, p. 229–248, 2005.

URETA, S. To move or not to move? Social exclusion, accessibility and daily mobility among the low-income population in Santiago, Chile. **Mobilities**, v. 3, n. 2, p. 269–289, jul. 2008.

URRY, J. The ‘System’ of Automobility. **Theory, Culture & Society**, v. 21, n. 5, p. 25–39, 2004.

VAN WEE, B. Land use and transport: research and policy challenges. **Journal of Transport Geography**, v. 10, n. 4, p. 259–271, dez. 2002.

VAN WEE, B.; GEURS, K. Discussing Equity and Social Exclusion in Accessibility Evaluations. **European Journal of Transport and Infrastructure Research**, v. 11, n. 4, p. 350–367, 2011.

VASCONCELLOS, E. A. Urban transport policies in Brazil: The creation of a discriminatory mobility system. **Journal of Transport Geography**, v. 67, p. 85–91, 1 fev. 2018.

WERMUTH, M. J. Hierarchical Effects of Personal, Household, and Residential Location Characteristics on Individual Activity Demand. **Environment and Planning A: Economy and Space**, v. 14, n. 9, p. 1251–1264, 24 set. 1982.

WOOLDRIDGE, J. M. **Introductory Econometrics: a modern approach**. 5. ed. Boston: Cengage Learning, 2012.

YANG, Y. A tale of two cities: Physical form and neighborhood satisfaction in Metropolital Portland and Charlotte. **Journal of the American Planning Association**, v. 74, n. 3, p. 307–323, 2008.

YIGITCANLAR, T. et al. Understanding Transport-Related Social Exclusion: A Multidimensional Approach. **Urban Policy and Research**, v. 37, n. 1, p. 97–110, 2 jan. 2019.

ZHANG, M. Exploring the relationship between urban form and nonwork travel through time use analysis. **Landscape and Urban Planning**, v. 73, n. 2–3, p. 244–261, 15 out. 2005.