

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**MODELAGEM DE PADRÕES DE VIAGENS E EXPANSÃO**  
**URBANA**

**RONNY MARCELO ALIAGA MEDRANO**

**ORIENTADOR: PASTOR WILLY GONZALES TACO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES**

**PUBLICAÇÃO: T.DM-009A/12**

**BRASÍLIA/DF: MARÇO – 2012**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**MODELAGEM DE PADRÕES DE VIAGENS E EXPANSÃO**  
**URBANA.**

**RONNY MARCELO ALIAGA MEDRANO**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE**  
**ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE**  
**TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE**  
**DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU**  
**DE MESTRE EM TRANSPORTES**

**APROVADA POR:**

---

**Prof. Pastor Willy Gonzales Taco, Dr (ENC-UnB)**  
**(Orientador)**

---

**Prof<sup>a</sup> Yaeko Yamashita, PhD (ENC-UnB)**  
**(Examinador Interno)**

---

**Prof. José Aparecido Sorratini, PhD (UFU)**  
**(Examinador Externo)**

**BRASÍLIA/DF, 28 DE MARÇO DE 2012**

## FICHA CATALOGRÁFICA

MEDRANO, RONNY MARCELO ALIAGA

Modelagem de padrões de viagens e expansão urbana. [Distrito Federal] 2012.  
xvii, 156p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Transportes, 2012).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1.Comportamento de viagem

2.Expansão urbana

3.Padrões de viagens baseadas em atividades

4.Modelagem de equações estruturais

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MEDRANO, R. M. A. (2012). Modelagem de padrões de viagens e expansão urbana. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação T.DM-009A/12, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 156p.

### 1.1 CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Ronny Marcelo Aliaga Medrano.

TÍTULO: Modelagem de padrões de viagens e expansão urbana.

GRAU: Mestre

ANO: 2012

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

---

Ronny Marcelo Aliaga Medrano  
ronnymarcelonmt@gmail.com.

## DEDICATÓRIA

Com todo o amor que dia após dia  
têm mostrado para mim, dedico este trabalho:  
Aos meus pais Marcelo e Maria,  
às minhas irmãs  
Evelyn e Melannie,  
às minhas avós  
Ruperta (in memoriam) e Francisca.

## **AGRADECIMENTOS**

Muitas pessoas me ajudaram, direta e indiretamente, na conclusão de mais essa etapa da minha vida, e relacionar todas é muito difícil. Por isso espero não esquecer ninguém nessa lista, mas se esquecer, que a pessoa saiba que a reconheço verdadeiramente.

Aos Professores do PPGT por ter me dado a possibilidade de estar aqui, e pelo ensino brindado durante todo este tempo.

Ao meu orientador e também meu grande amigo Prof. Dr. Pastor Willy Gonzales Taco, por haver confiado em mim e ter me oferecido a oportunidade de crescer nos meus conhecimentos, e, sobretudo pela amizade, conselhos, apoio e motivação em sempre seguir adiante.

Ao Alexandre e Lilian, dois grandes amigos que deus me permitiu conhecer, por ter sido neste árduo caminho da tese, conselheiros inseparáveis, amigos, irmãos maiores....

Ao Thadeu e sua maravilhosa família Mariana, Felipe e Thiago, pela amizade que formamos desde nosso encontro em Japão e o apoio quando cheguei ao Brasil.

Aos meus grandes e amigos da vida em Bolívia: Israel, Esteban, Carla, Dennis, Cyntia, Anabely, Maria, Nathalie, Servando pelo todo apoio e amizade a pesar da distância.

A meu irmão colombiano Juan Pablo, pela grande amizade que construímos durante nosso mestrado.

À CNPQ, pelo apoio financeiro, fundamental para a conclusão desse trabalho....

Ao Francisco, Vinicius, Erica, Rómea, Grazielle, José, amigos valiosos que conheci no Brasil e que compartilamos o dia após dia de árduo estudo no PPGT.

À Noêmia (irmã na orientação de mestrado), Jesiel e ao pequeno Artur pela amizade, e acompanhamento durante o desenvolvimento da dissertação.

Aos meus compatriotas e grandes amigos: Carlos Pacheco e Jannet Llanque.

Ao senhor Isaias, senhora Wilma, Poliana e sua família, meus grandes amigos do Piauí.

Ao Alencar, Márcia, Thais e Mateus, meus grandes amigos de Goiana.

Ao meu ex-chefe Rodrigo Rodriguez pelo todo apoio e confiança durante meu trabalho na prefeitura de La Paz, que me permitiu interessar-me mais na pesquisa em transporte.

À Claudia Mendoza grande amiga e ex-colega com quem conseguimos mudanças na prefeitura de La Paz em pro de melhorar a mobilidade dos cidadãos, pelo apoio e motivação a pesar da distância.

Aos amigos que encontre ao chegar: Mariana Paiva, Denise, Fabrício, Ingrid, Rodrigo Caudullo, Fernanda Rezende, Alam Guimarães, Lucinei, Julio Sanches.

Ao professor da Faculdade de Estatística Alan Ricardo Da Silva pelas sugestões, apoio e a oportunidade de aprendizagem de estatística espacial que permitiu melhorar meus conhecimentos em transporte.

Ao professor da Faculdade de Estatística George Von Borries pelo apoio e ensino da análise multivariada e de modelagem com equações estruturais.

Ao pessoal administrativo do PPGT, Adilson e Lucinete.

Aos engenheiros Rene Chávez e Waldo Yanaguaya pelo apoio nas cartas de recomendação.

Aos colegas que entraram depois de mim, a responsabilidade é de vocês para melhorar o PPGT.

## **RESUMO**

### **MODELAGEM DE PADRÕES DE VIAGENS E EXPANSÃO URBANA**

Este trabalho teve como objetivo principal investigar a relação de causalidade entre expansão urbana e padrões de viagens baseadas em atividades. Para tanto foi elaborado o Modelo “Activity-Based Travels of Urban Sprawl (ABTUS)” para comprovar a hipótese de relação causal entre fatores da expansão urbana e padrões de viagens baseadas em atividades. Cinco vetores de expansão urbana foram identificados e os padrões de viagens mais representativos foram baseados nas sequências de atividades Residência Trabalho e Residência Estudo. Assim, a estrutura teórica do modelo ABTUS foi fundamentada em três processos: i) produção de espaço, ii) socioeconômico, iii) interação espacial/temporal, considerando que esses são interdependentes e interagem simultaneamente na causalidade do processo de geração de demanda de viagens. Por meio da utilização da modelagem com equações estruturais, o modelo ABTUS foi aplicado para um estudo de caso do Distrito Federal para o ano 2000. À partir dos resultados obtidos foram reunidos indícios para não rejeitar a relação causal entre expansão urbana e padrões de viagens baseadas em atividades. Conclui-se que a expansão urbana é um subsistema dentro do sistema urbano no qual interagem simultaneamente os processos interdependentes: i) produção de espaço, ii) socioeconômico e iii) interação espacial/temporal para influenciar causalmente na geração da demanda de viagens baseadas em atividades.

Palavras-chave: expansão urbana; abordagem de viagens baseadas em atividades; modelagem por equações estruturais; sistema de informação geográfica.

## **ABSTRACT**

### **TRAVEL PATTERNS AND URBAN SPRAWL MODELING**

The scope of this study was to search about the causal relationship between urban sprawl and activity travel patterns. The model “Activity-Based Travels of Urban Sprawl (ABTUS)” was developed to test the hypothesis of causal relationship between urban sprawl and activity travel patterns. Five urban sprawl vectors were identified and the most representative activity travel patterns were those based in home-work and home-study. The ABTUS model theory structure was based in the following consideration: there are three interdependent processes: i) urban space production, ii) socioeconomic, iii) spatial/temporal interaction that simultaneity interact to have a causal influence on the travel demand generation process. Structural Equation Modeling was applied to test ABTUS in a study case of the Distrito Federal-Brazil for the year 2000. The statistics analysis allowed not to reject the casual relationship between urban sprawl and activity travel patterns. So, it was possible to conclude that urban sprawl is an urban subsystem where interdependent process: i) urban space production, ii) socioeconomic, iii) spatial/temporal interaction who simultaneity interact to have a causal influence on the activity travel demand generation process.

Key words: urban sprawl; activity-based travel approach; structural equation modeling; geographic information system.



## **RESUMEN**

### **MODELAJE DE PADRONES DE VIAJES E EXPANSIÓN URBANA**

El objetivo de este estudio fue investigar acerca de la relación de causalidad entre expansión urbana e padrones de viajes basados en actividades. El modelo “Activity-Based Travels of Urban Sprawl (ABTUS)” fue elaborado con la finalidad de comprobar la hipótesis de relación causal entre expansión urbana e padrones de viajes basados en actividades. Cinco vectores de expansión urbana fueron identificados e los padrones de viajes mas representativos fueron aquellos basados en las actividades casa-trabajo e casa-estudio. La estructura teórica del modelo ABTUS fue fundamentada en tres procesos: i) producción de espacio urbano, ii) socioeconómico, iii) interacción espacial/temporal considerados interdependientes que interactúan simultáneamente en la causalidad del proceso de generación de demanda de viajes. Por medio de la utilización del modelaje con ecuaciones estructurales, el modelo ABTUS fue aplicado para un estudio de caso de Distrito Federal-Brasil para el año 2000. A partir de los resultados estadísticos obtenidos, se reunieron indicios para no rechazar la relación causal entre expansión urbana e padrones de viajes basados en actividades. Así, fue posible concluir que expansión urbana es un subsistema urbano donde procesos interdependientes: i) producción de espacio urbano, ii) socioeconómico, iii) interacción espacial/temporal) interactúan simultáneamente para tener una influencia causal en el proceso de generación de viajes basados en actividades.

Palabras clave: expansión urbana; aproximación de viajes basados en actividades; modelaje con ecuaciones estructurales; sistema de información geográfica.

## SUMARIO

|                                                                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>                                                                                             | <b>17</b> |
| 1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....                                                                                       | 19        |
| 1.3 HIPÓTESE .....                                                                                                    | 19        |
| 1.4 OBJETIVOS.....                                                                                                    | 19        |
| 1.5 JUSTIFICATIVA .....                                                                                               | 20        |
| 1.6 METODOLOGIA DA DISSERTAÇÃO.....                                                                                   | 21        |
| 1.7 ESTRUTURA DO ESTUDO.....                                                                                          | 23        |
| <b>2. TRANSPORTE E EXPANSÃO URBANA: A RELAÇÃO.....</b>                                                                | <b>24</b> |
| 2.1 EXPANSÃO URBANA .....                                                                                             | 24        |
| 2.1.1 Conceitos gerais.....                                                                                           | 25        |
| 2.2 FATORES ESPACIAIS DA EXPANSÃO URBANA .....                                                                        | 28        |
| 2.3 DEFINIÇÃO DE PADRÃO DE EXPANSÃO URBANA.....                                                                       | 36        |
| 2.4 USO DE SOLO E TRANSPORTE .....                                                                                    | 37        |
| 2.4.1 Teoria do Uso de Solo e Transporte .....                                                                        | 38        |
| 2.4.2 Modelos de Uso de Solo e Transporte.....                                                                        | 39        |
| 2.5 RELAÇÃO ENTRE EXPANSÃO URBANA E TRANSPORTE.....                                                                   | 41        |
| 2.5.1 Expansão urbana orienta o transporte: trabalhos pontuais consultados na literatura.....                         | 41        |
| 2.5.2 Transporte e fatores socioeconômicos orientam a expansão urbana: alguns trabalhos revisados na literatura ..... | 42        |
| 2.6 TÓPICOS CONCLUSIVOS .....                                                                                         | 43        |
| <b>3. EXPANSÃO URBANA E PADRÕES DE VIAGENS: A MODELAGEM .....</b>                                                     | <b>45</b> |
| 3.1 PADRÕES DE VIAGENS BASEADAS EM ATIVIDADES .....                                                                   | 45        |
| 3.1.1 Abordagem Baseada em Atividades.....                                                                            | 46        |
| 3.1.2 Análise de padrões de viagens baseadas em atividades.....                                                       | 47        |
| 3.1.2.1 Tipologia de padrões de viagem.....                                                                           | 50        |
| 3.2 FATORES INTERVENIENTES DA EXPANSÃO URBANA NOS PADRÕES DE VIAGENS BASEADAS EM ATIVIDADES.....                      | 53        |
| 3.2.1 Fatores da expansão urbana que influenciam diretamente os padrões de viagens .....                              | 53        |

|           |                                                                                                                      |           |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.2     | Fatores da expansão urbana, modelo policêntrico e sua influência nos padrões de viagens baseadas em atividades ..... | 53        |
| 3.3       | MODELAGENS EMPÍRICAS DA RELAÇÃO ENTRE EXPANSÃO URBANA E PADRÕES DE VIAGENS .....                                     | 54        |
| 3.4       | MODELAGEM DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS APLICADAS AO COMPORTAMENTO DE VIAGENS .....                                        | 57        |
| 3.4.1     | Modelagem de equações estruturais ( <i>structural equation modelling</i> ).....                                      | 57        |
| 3.4.1.1   | <i>Formulação de equações estruturais</i> .....                                                                      | 57        |
| 3.4.1.2   | <i>Considerações para Aplicação de SEM</i> .....                                                                     | 59        |
| 3.4.1.3   | <i>Processo de modelagem</i> .....                                                                                   | 60        |
| 3.4.2     | Modelagem de demanda de transporte com dados de seções cruzadas .....                                                | 62        |
| 3.4.3     | Modelagem da demanda de transporte baseada em atividades .....                                                       | 62        |
| 3.5       | TÓPICOS CONCLUSIVOS .....                                                                                            | 63        |
| <b>4.</b> | <b>MÉTODO DE MODELAGEM DA EXPANSÃO URBANA E PADRÕES DE VIAGENS .....</b>                                             | <b>65</b> |
| 4.1       | PRESUPOSTOS TEORICOS DO MODELO DE EXPANSÃO URBANA E PADRÕES DE VIAGENS (MEUPV) .....                                 | 67        |
| 4.2       | PREMISAS E RESTRIÇÕES DA MODELAGEM.....                                                                              | 69        |
| 4.2.1     | Premissas da modelagem .....                                                                                         | 69        |
| 4.2.2     | Restrições da modelagem.....                                                                                         | 69        |
| 4.3       | ETAPA 1: CONCEPÇÃO E SISTEMATIZAÇÃO DO MODELO ABTUS .....                                                            | 70        |
| 4.4       | ETAPA 2: DEFINIÇÃO VARIÁVEIS INDICADORAS .....                                                                       | 77        |
| 4.4.1     | Definição vetores de Expansão urbana .....                                                                           | 79        |
| 4.4.2     | Filtragem e seleção de Dados .....                                                                                   | 79        |
| 4.4.3     | Construção das variáveis indicadoras .....                                                                           | 80        |
| 4.4.3.1   | <i>Construtos latentes exógenos</i> .....                                                                            | 80        |
| 4.4.3.2   | <i>Constructo latente endógeno</i> .....                                                                             | 83        |
| 4.5       | ETAPA 3: DIMENSIONAMENTO E ESTIMAÇÃO DO MODELO ABTUS...85                                                            |           |
| 4.5.1.1   | <i>Análise estrutural baseada na covariância</i> .....                                                               | 85        |
| 4.5.1.2   | <i>Identificação do modelo</i> .....                                                                                 | 86        |
| 4.5.1.3   | <i>Máxima Verossimilhança (ML)</i> .....                                                                             | 88        |
| 4.6       | ETAPA 4: VALIDAÇÃO DO MODELO ABTUS .....                                                                             | 89        |
| 4.6.1     | Avaliação do ajuste e estimação do modelo .....                                                                      | 89        |
| 4.6.2     | Interpretação dos resultados .....                                                                                   | 90        |

|           |                                                                                          |            |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.6.3     | Modificação e aceitação do modelo. ....                                                  | 91         |
| 4.7       | TOPICOS CONCLUSIVOS .....                                                                | 92         |
| <b>5.</b> | <b>CASO DE ESTUDO .....</b>                                                              | <b>93</b>  |
| 5.1       | O CONTEXTO URBANO DO DISTRITO FEDERAL .....                                              | 93         |
| 5.1.1     | O processo de expansão urbana do Distrito Federal (1940-2000) .....                      | 94         |
| 5.1.2     | Crescimento populacional do DF .....                                                     | 96         |
| 5.2       | APLICAÇÃO DAS ETAPAS DO MÉTODO .....                                                     | 98         |
| 5.2.1     | Concepção e sistematização do modelo ABTUS .....                                         | 98         |
| 5.3       | DEFINIÇÃO VARIÁVEIS INDICADORAS .....                                                    | 99         |
| 5.3.1     | Definição dos vetores de expansão urbana .....                                           | 99         |
| 5.3.2     | Filtragem e seleção de dados.....                                                        | 103        |
| 5.3.3     | Construção das variáveis indicadoras .....                                               | 105        |
| 5.3.3.1   | <i>Construtos latentes exógenos</i> .....                                                | 105        |
| 5.3.3.2   | <i>Constructo latente endógeno</i> .....                                                 | 113        |
| 5.4       | DIMENSIONAMENTO E ESTIMAÇÃO DO ABTUS .....                                               | 116        |
| 5.5       | VALIDAÇÃO DO MODELO ABTUS.....                                                           | 118        |
| 5.6       | TOPICOS CONCLUSIVOS .....                                                                | 120        |
| <b>6.</b> | <b>ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>                                                      | <b>121</b> |
| 6.1       | RESULTADOS DA MODELAGEM.....                                                             | 121        |
| 6.1.1     | Avaliação global do ABTUS.....                                                           | 121        |
| 6.1.2     | Avaliação local MPEUPV.....                                                              | 122        |
| 6.1.2.1   | Fatores espaciais da expansão urbana .....                                               | 123        |
| 6.1.2.2   | Características socioeconômicas.....                                                     | 123        |
| 6.1.2.3   | Acessibilidade ao sistema de transporte .....                                            | 124        |
| 6.2       | INTERPRETAÇÃO DAS RELAÇÕES DE CAUSALIDADE.....                                           | 124        |
| 6.2.1     | Fatores espaciais da expansão urbana e geração de viagens baseadas em atividades.....    | 124        |
| 6.2.2     | Características socioeconômicas e geração de viagens baseadas em atividades              | 126        |
| 6.2.3     | Acessibilidade ao sistema de transporte e geração de viagens baseadas em atividades..... | 127        |
| 6.3       | PROPOSTA DE MODIFICAÇÃO DO ABTUS .....                                                   | 128        |
| 6.4       | A EXPANSÃO URBANA COMO UM INDICADOR DE TRANSPORTE.....                                   | 129        |

|           |                                            |            |
|-----------|--------------------------------------------|------------|
| <b>7.</b> | <b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>    | <b>132</b> |
| 7.1       | CONDICIONANTES NEGATIVAS DA PESQUISA ..... | 132        |
| 7.2       | CONCLUSÕES .....                           | 133        |
| 7.3       | RECOMENDAÇÕES .....                        | 138        |
| <b>8.</b> | <b>BIBLIOGRAFIA .....</b>                  | <b>139</b> |
|           | <b>APENDICE A .....</b>                    | <b>147</b> |

## LISTA DE QUADROS

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 2.1: Definições de expansão urbana e aspectos urbanos relacionados.....     | 28 |
| Quadro 3.1. Classificação do Sistema de Atividades proposta por Chapin (1972)..... | 48 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 3.1: Tipologias de padrões de viagens.....                                                                               | 52  |
| Tabela 3.2. Resumo das modelagens empíricas realizadas.....                                                                     | 56  |
| Tabela 4.1 - Indicadores Características socioeconômicas. ....                                                                  | 82  |
| Tabela 4.2 - Indicadores acessibilidade do sistema de transporte .....                                                          | 82  |
| Tabela 4.3: Indicadores padrões de viagens baseadas em atividades .....                                                         | 85  |
| Tabela 4.4: Medidas de ajuste .....                                                                                             | 90  |
| Tabela 5.1: População do Distrito Federal (1960-2000).....                                                                      | 98  |
| Tabela 5.2: Zonas de tráfego selecionadas para cada vetor de expansão urbana .....                                              | 103 |
| Tabela 5.3: Estatísticas descritivas das variáveis $DEN_R$ e $MIX_{US}$ para os correspondentes vetores de expansão urbana..... | 105 |
| Tabela 5.4: Estatísticas descritivas das variáveis indicadoras características socioeconômicas .....                            | 107 |
| Tabela 5.5: estatísticas descritivas das variáveis $Longred$ e $IndAcc$ segundo os vetores de expansão urbana.....              | 111 |
| Tabela 5.6: Frequência de padrões de viagens baseadas em atividades .....                                                       | 114 |
| Tabela 5.7: Descrição das variáveis latentes e parâmetros estruturais do MPEUPV .....                                           | 117 |
| Tabela 5.8: Descrição das variáveis indicadoras e parâmetros estruturais do MPEUPV ..                                           | 118 |
| Tabela 5.9: Efeitos totais estimados entre variáveis .....                                                                      | 119 |
| Tabela 5.10: Índices de avaliação do MPEUPV .....                                                                               | 119 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.1: População urbana e rural por grupo de desenvolvimento, 1950-2050. Adaptado de: United Nations Department of Economic and Social Affairs/Population Division (2007) ..... | 17 |
| Figura 1.2: Expansão urbana da cidade de La Paz-Bolivia.....                                                                                                                         | 18 |
| Figura 1.3: Estrutura do método de desenvolvimento da dissertação.....                                                                                                               | 22 |
| Figura 2.1: Ilustração do conceito de densidade. Modificado: Galster <i>et al.</i> 2001 .....                                                                                        | 30 |
| Figura 2.2: Representação da dimensão continuidade. Modificado: Galster <i>et al.</i> (2001)..                                                                                       | 31 |
| Figura 2.3: Representação da dimensão concentração. Modificado: Galster <i>et al.</i> (2001)..                                                                                       | 32 |
| Figura 2.4: Representação do desenvolvimento por agrupamento. Modificado: Galster <i>et al.</i> (2001) .....                                                                         | 33 |
| Figura 2.5: Representação da centralidade. Modificado: Galster <i>et al.</i> (2001).....                                                                                             | 33 |
| Figura 2.6: Representação da formação de núcleos. Modificado: Galster <i>et al.</i> (2001).....                                                                                      | 34 |
| Figura 2.7: Representação do usos mistos. Modificado: Galster <i>et al.</i> (2001) .....                                                                                             | 35 |
| Figura 2.8: Representação de proximidade. Modificado: Galster <i>et al.</i> (2001) .....                                                                                             | 36 |
| Figura 2.9: Esquema da definição de padrão de expansão urbana .....                                                                                                                  | 37 |
| Figura 2.10: O ciclo de retroalimentação uso de solo-transporte. Fonte: Wegener e Greiving (2001) .....                                                                              | 39 |
| Figura 2.11: Evolução dos modelos de uso de solo e de transportes. Fonte: Wegener e Fürst (1999) – Modificado (Arruda, 2004) .....                                                   | 41 |
| <b>Figura 2.12:</b> Relação expansão urbana - transporte.....                                                                                                                        | 42 |
| Figura 2.13: Relação Transporte - Expansão Urbana. ....                                                                                                                              | 43 |
| Figura 3.1: a) Representação de uma viagem, b) Esquema de sequência de viagens e atividades, adaptado de Jones <i>et al.</i> (1983). ....                                            | 50 |
| Figura 3.2: Relacionamento entre viagens e atividades por indivíduos de um domicílio. Fonte: Brog e Erl (1983) .....                                                                 | 51 |
| Figura 3.3: a) Padrão de viagem simples; b) Padrão de viagem encadeadas. Fonte: elaboração própria.....                                                                              | 51 |
| Figura 3.4: Diagrama de caminhos método SEM.....                                                                                                                                     | 58 |
| Figura 3.5: Método de seis etapas para SEM. Fonte: Hair <i>et al.</i> (2010).....                                                                                                    | 61 |
| Figura 4.1: Estrutura do método elaborado para aplicação do MPEPUV .....                                                                                                             | 66 |
| Figura 4.2: Estrutura das decisões de viagens e desenvolvimento urbano. Fonte: Taco, 2005.....                                                                                       | 67 |
| Figura 4.3 Representação padrão de expansão urbana – padrão de viagens urbanas.....                                                                                                  | 67 |
| Figura 4.4 Representação das viagens geradas por padrão de expansão urbana.....                                                                                                      | 68 |
| Figura 4.5 Representação da variância da acessibilidade por padrão de expansão urbana .                                                                                              | 68 |
| <b>Figura 4.8:</b> Representação da interação entre processos .....                                                                                                                  | 71 |
| Figura 4.6: Ilustração da relação causal entre padrão de expansão urbana e comportamento da demanda de viagem .....                                                                  | 74 |
| Figura 4.7: Ilustração da relação causal entre padrão de expansão urbana e comportamento da demanda de viagem .....                                                                  | 75 |
| Figura 4.9: Representação teórica do modelo estrutural.....                                                                                                                          | 76 |

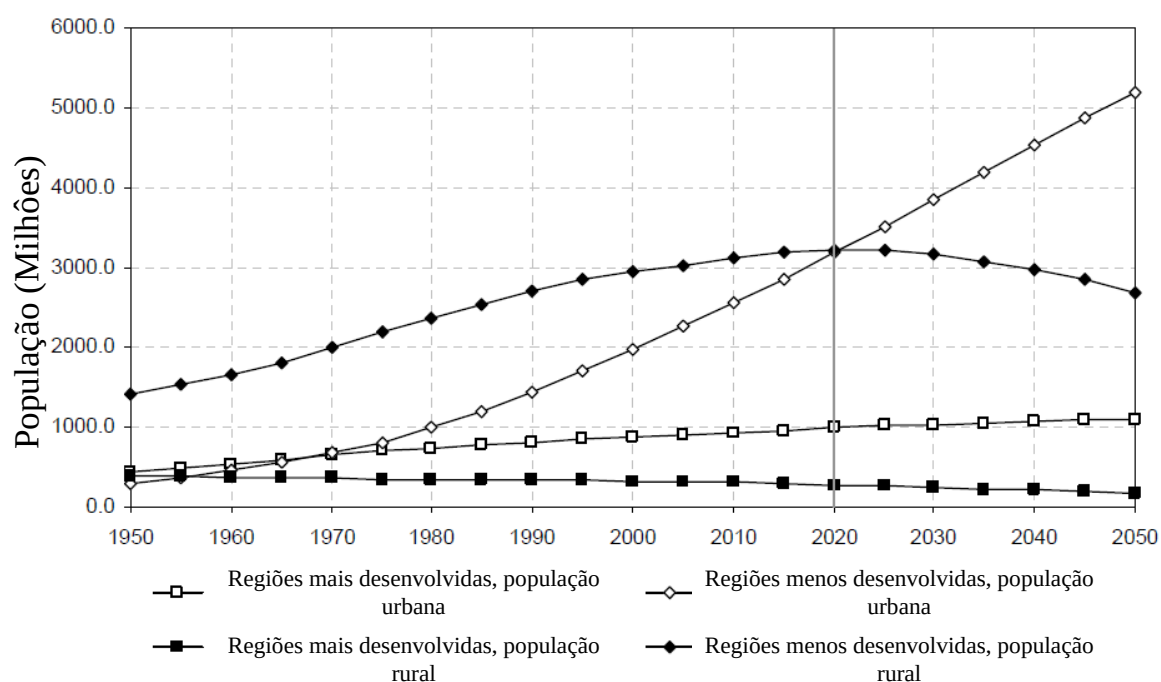
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 4.10: Proposta do modelo ABTUS .....                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 77  |
| Figura 4.11: Detalhamento da etapa 2. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 78  |
| Figura 4.12: Estrutura de filtragem e seleção dos dados.....                                                                                                                                                                                                                                                                      | 80  |
| Figura 4.13: Representação da atratividade de uma zona .....                                                                                                                                                                                                                                                                      | 81  |
| Figura 5.1: Estrutura Geopolítica do Distrito Federal .....                                                                                                                                                                                                                                                                       | 94  |
| Figura 5.2: Representação do processo de expansão urbana do DF. Fonte: Adaptado de Motta <i>et al.</i> (2001) .....                                                                                                                                                                                                               | 95  |
| Figura 5.3: ABTUS simplificado para aplicação.....                                                                                                                                                                                                                                                                                | 99  |
| Figura 5.4: Identificação dos eixos de expansão. ....                                                                                                                                                                                                                                                                             | 101 |
| Figura 5.5: Vetores de expansão.....                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 102 |
| Figura 5.6: <i>Box-plots</i> indicando a média, os percentis, e o mínimo e o máximo dos valores de viagens produzidos por zona de tráfego de acordo ao vetor de expansão urbana .....                                                                                                                                             | 104 |
| Figura 5.7: <i>Scatter plot</i> entre total de viagens produzidas e total de residentes para cada vetor de expansão urbana, com uma regressão linear e limites de 95% de confiança.....                                                                                                                                           | 105 |
| Figura 5.8: Mapa temático da densidade residencial no Distrito Federal ano 2000.....                                                                                                                                                                                                                                              | 106 |
| Figura 5.9: Mapa temático distribuição do $MIX_{US}$ nas zonas de tráfego selecionadas .....                                                                                                                                                                                                                                      | 106 |
| Figura 5.10: <i>Box-plots</i> das características socioeconômicas por vetor de expansão urbana, a) Nro. de mulheres à partir de 15 anos, b) Nro. de Homens à partir de 15 anos, c) Média da renda familiar, d) Nro. de famílias com renda familiar a partir de 20 salários mínimos, e) Nro. de famílias com 2 ou mais carros..... | 110 |
| Figura 5.11: Mapa temático da extensão da rede viária de cada zona de tráfego selecionada do DF.....                                                                                                                                                                                                                              | 112 |
| Figura 5.12: Mapa temático do índice de acessibilidade por distância média entre zonas de tráfego selecionadas .....                                                                                                                                                                                                              | 112 |
| Figura 5.13: Tendências de deslocamento da Matriz OD 2000 do DF.....                                                                                                                                                                                                                                                              | 113 |
| Figura 5.14: Fluxos de viagens HW para cada vetor de expansão urbana.....                                                                                                                                                                                                                                                         | 115 |
| Figura 5.15: Modelo Activity-Based Travels of Urban Sprawl (ABTUS) .....                                                                                                                                                                                                                                                          | 116 |
| Figura 6.1: ABTUS com parâmetros padronizados.....                                                                                                                                                                                                                                                                                | 122 |
| Figura 6.2: Representação do equilíbrio entre mistura de uso de solo e densidade residencial.....                                                                                                                                                                                                                                 | 125 |
| Figura 6.3: Modificação da relação acessibilidade no ABTUS .....                                                                                                                                                                                                                                                                  | 128 |
| Figura 6.4: Modificação proposta do ABTUS .....                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 129 |
| Figura 6.5: Representação da expansão urbana como um subsistema .....                                                                                                                                                                                                                                                             | 131 |



## 1. INTRODUÇÃO

As áreas urbanas, e em especial as metrópoles, vêm sofrendo com o fenômeno crescimento rápido e expansão urbana. Esse fenômeno só tem a crescer, considerando que previsões das Nações Unidas (2007) apontaram que até o ano 2050 70% da população mundial estará vivendo em cidades (Figura 1.1). O rápido processo de expansão urbana das cidades traz tanto benefícios socioeconômicos quanto custos ambientais às cidades. Em função disso, trata-se de um tema de grande importância para os tomadores de decisão e pesquisadores, especialmente quando estudada a sua relação com o transporte.

No capítulo 2 serão apresentadas algumas definições para o termo expansão urbana. Para essas, uma componente central é a descontrolada expansão territorial de uma dada cidade, e seus respectivos subúrbios, sobre o território rural ou semirural na periferia da área urbana. Cabe salientar que a expansão urbana influencia o desenvolvimento urbano de uma cidade.

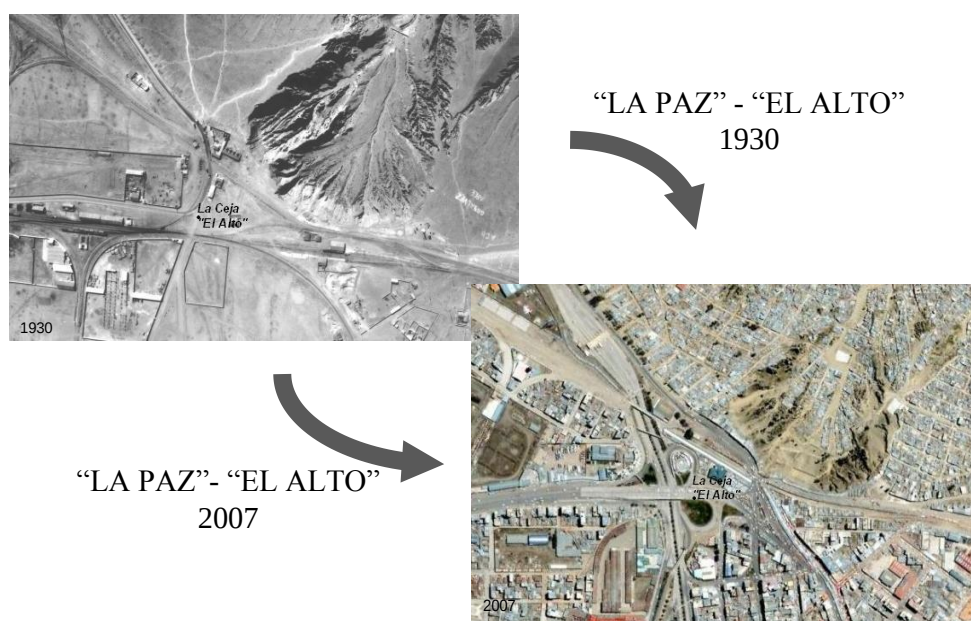


**Figura 1.1:** População urbana e rural por grupo de desenvolvimento, 1950-2050. Adaptado de: United Nations Department of Economic and Social Affairs/Population Division (2007)

O transporte é essencial para o bem-estar social e econômico da população, tem estrita relação com o desenvolvimento econômico das cidades, principalmente em países em

desenvolvimento (Zhao, 2010). O rápido processo de expansão urbana gera mudanças nos transportes, em particular nos padrões de viagens, tais como o aumento das viagens motorizadas e das distancias de viagens (Gakenheimer, 1999; Kenworthy, 1995).

Para Schwanen *et al.*, (2001), Cervero (2002, 2004, 2006), Camagni *et al.*, (2002), os problemas de transporte associados a expansão urbana são devidos ao desenvolvimento urbano periférico nos últimos 70 anos (Figura1.2). Esse desenvolvimento tem se caracterizado pelo modelo de expansão extensa, descontínua, de baixa densidade e espaços fragmentados, o qual impacta nos padrões espaciais de mobilidade. Assim, surgiram redes de fluxo mais complexas e dispersas, com distâncias e tempos de viagens mais longos.



**Figura 1.2:** Expansão urbana da cidade de La Paz-Bolivia

Observa-se que as realidades americanas, asiáticas e européias, apresentam padrões de expansão distintos da realidade latino-americana. A falta de políticas, planos urbanos e controles efetivos da maioria das cidades produz expansões urbanas caóticas, impactando na qualidade de vida dos cidadãos. Poucas cidades brasileiras conseguiram estabelecer a expansão urbana controlada e integrada a um sistema de transporte eficiente, como é o caso da cidade de Curitiba/PR, resultando em padrões de mobilidade urbana equilibrados.

Conforme afirmam Giuliano e Narayan (2003), as relações entre expansão urbana e os padrões de mobilidade urbana variam em função do contexto e das condições das cidades.

Como por exemplo, quando são consideradas as relações entre densidade habitacional, dependência do veículo privado ou uso de transporte público urbano.

Nesse contexto, considerando também o planejamento de transportes, a abordagem baseadas em atividades tem obtido grande sucesso em estudos relacionados à mobilidade urbana, bem como em relacionar diversos fatores, incluindo de uso de solo. Entretanto, há uma escassez de estudos que relacionem padrões de viagens baseadas em atividades e expansão urbana. Neste sentido, acredita-se que padrões de viagens baseadas em atividades podem ser úteis para subsidiar o entendimento acerca da expansão urbana e seu relacionamento com transportes. Portanto, é relevante demonstrar a relação entre fatores de expansão urbana e padrões de viagens baseadas em atividades.

Nesse contexto, é formulado o problema do presente estudo.

## **1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA**

“Qual a relação entre os padrões de expansão urbana e os padrões de viagens baseadas em atividades?”

## **1.3 HIPÓTESE**

Existe uma relação de causalidade entre os padrões de expansão urbana e os padrões de viagens baseadas em atividades.

## **1.4 OBJETIVOS**

Formular um modelo teórico para analisar a relação causal entre fatores de expansão urbana e os padrões de viagens baseadas em atividades.

Como objetivos específicos têm-se:

- Identificar os fatores intervenientes no processo de formação da expansão urbana;
- Identificar os fatores intervenientes no processo de formação de padrões de viagens baseadas em atividades;
- Formular um modelo estatístico, com base no modelo teórico, apto a analisar a relação causal entre fatores de expansão urbana e os padrões de viagens baseadas em atividades.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

O processo de planejamento do sistema de transporte urbano exige a obtenção de um grande número de informações não só relativas ao próprio sistema, mas também oriundas de dados socioeconômicos da população e da configuração urbana. A relação que existe entre os sistemas de transporte urbano, as configurações urbanas e as demais atividades da sociedade, fazem com que seja necessária a obtenção de informações sobre aspectos condicionantes das viagens urbanas.

Através dessas informações, é possível analisar as viagens urbanas e constatar como essas interagem com o ambiente urbano, econômico, espacial e cultural. Consequentemente, a compreensão da demanda de viagens urbanas, especificamente dos padrões de viagens urbanos gerados, pode contribuir em estudos, na elaboração de planos diretores e na formulação de políticas de transportes urbanos relacionados com a ocupação e expansão urbana.

Alem disso, o estudo relacionado a padrões de viagens e de expansão urbanas possibilita uma melhor compreensão da diversidade de padrões de atividades e de viagens realizadas pelos indivíduos, com base em um cenário futuro de crescimento urbano. Isso porque as viagens realizadas pelos indivíduos são afetadas pela forma como as atividades encontram-se distribuídas geograficamente no espaço urbano.

Segundo Takano (2010), projeções de demanda baseadas apenas no comportamento das pessoas no passado, sem considerar as influências do ambiente urbano, presumem implicitamente que as pessoas irão, em média, se comportar do mesmo modo no futuro. Entretanto, a idéia de um comportamento constante da demanda não é sustentável, isso porque as cidades se expandem rapidamente, algo que nem sempre é previsto em planos ou programas de mobilidade de longo prazo. Isso demonstra que é relevante considerar o processo de expansão urbana e a sua influência na geração de padrões de viagens, principalmente em planejamento em transportes.

Concluindo, o entendimento das eventuais relações entre o processo de expansão urbana e a geração de padrões de viagens baseadas em atividades pode servir como subsidio a medidas que busquem o desenvolvimento urbano sustentável. Assim, esse subsidio pode

trazer, de forma prática, possíveis reduções dos tempos e custos de viagens da população nas áreas urbanas, a sua capacidade em lidar com restrições de cunho espaço temporais impostas pela configuração urbana, repercutindo em melhorias em sua qualidade de vida.

## **1.6 METODOLOGIA DA DISSERTAÇÃO**

O método de abordagem adotado é o hipotético dedutivo. Pois a pesquisa realizada partiu da determinação de um problema, para o qual foi proposta uma explicação e direcionado o processo de investigação. Esse processo foi realizado a partir da aplicação de métodos científicos, alicerçados nas seguintes fases conforme a Figura 1.3:

**1º Fase - Revisão bibliográfica:** compreendeu o estudo aprofundado da relação entre expansão urbana e transporte. Também foi estudada a aplicação de equações estruturais em estudos relacionados a comportamento de viagens, incluindo abordagem de viagens baseadas em atividades. Com base nisso, foi possível identificar fatores intervenientes no processo de formação da expansão urbana e de padrões de viagens baseadas em atividades.

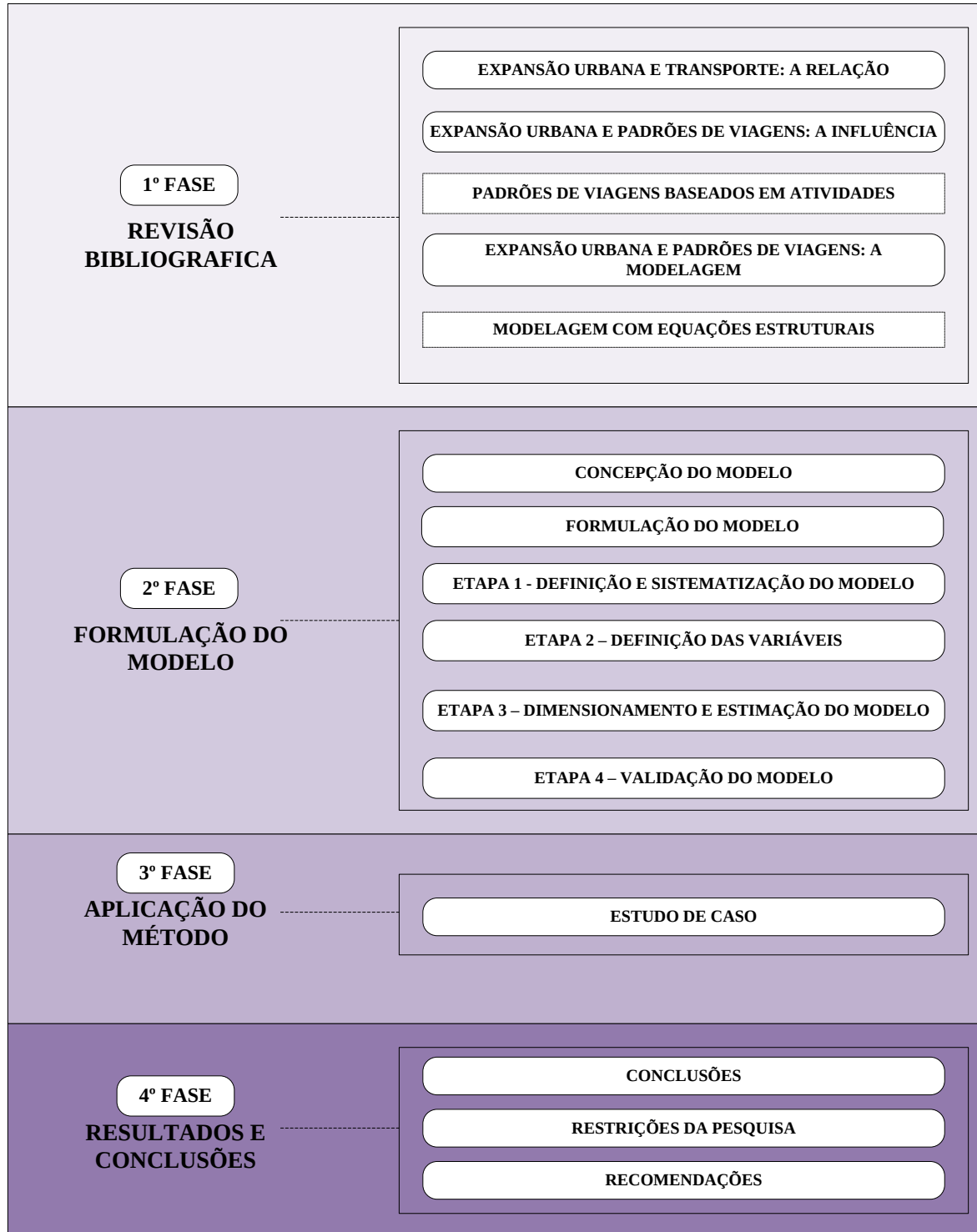
**2º Fase – Formulação dos modelos teórico e estatístico aptos a análise relação causal entre fatores de expansão urbana e os padrões de viagens baseadas em atividades.**

Nessa fase, foi elaborado o método para a construção do modelo “Activity-Based Travels of Urban Sprawl (ABTUS)”. Também foram definidas as considerações e restrições do modelo; as variáveis relacionadas à estrutura urbana e a expansão urbana; estrutura de relacionamento do modelo, teste e validação do modelo.

**3º Fase – Aplicação do modelo estatístico, apto a analisar a relação causal entre fatores de expansão urbana e os padrões de viagens baseadas em atividades, em estudo de caso.**

Nessa fase foi feita a aplicação do modelo ABTUS em um estudo de caso. Para tanto, seguiu-se as seguintes etapas: *i)* delimitação área de estudo; *ii)* montagem do banco de dados espaciais, obtidos através bancos geográficos tais como de imagens satélite, base de dados SIG; dados socioeconômicos e de viagens urbanas, tais como os dados da pesquisa domiciliar origem-destino realizada no ano 2000 pela CODEPLAN; *iii)* aplicação do método para implementação do modelo.

**4º Fase – Resultados e conclusões:** obtido o modelo ABTUS e sua respectiva aplicação, foi identificada a relação existente entre a expansão urbana e os padrões de viagens baseadas em atividades. Além disso, foram interpretados os resultados estatísticos obtidos.



**Figura 1.3:** Estrutura do método de desenvolvimento da dissertação

## **1.7 ESTRUTURA DO ESTUDO**

Essa dissertação está estruturada em oito capítulos, incluindo essa introdução. O capítulo 2 apresenta, inicialmente, conceitos e teorias referentes a expansão urbana e a sua relação com o transporte. Neste capítulo, expansão urbana é definida conceitualmente. Também é apresentada a fundamentação teórica acerca da relação entre a expansão urbana e o transporte.

No capítulo 3, é apresentada uma análise feita a partir de fatores da expansão urbana que influenciam nos padrões de viagens baseadas em atividades. Conceitos e teorias da abordagem comportamental de transporte, bem como a definição de padrões de viagens baseadas em atividades são apresentados também.

No capítulo 4 foram formulados os modelos teórico e estatístico, a fim de permitir a análise da relação causal entre fatores de expansão urbana e os padrões de viagens baseadas em atividades. Aplicação desses modelos é apresentada no capítulo 5.

O capítulo 6 discorre sobre os resultados obtidos, em que foi possível discorrer sobre a relação de causalidade entre os fatores da expansão urbana e padrões de viagens baseadas em atividades.

Finalmente, o capítulo 7 apresenta as principais conclusões e restrições, bem como recomendações para trabalhos futuros. Anexos e Referências Bibliográficas citadas nesta pesquisa são apresentados ao final do documento.

## **2. TRANSPORTE E EXPANSÃO URBANA: A RELAÇÃO**

Definir a relação entre a expansão urbana e o transporte urbano é um tanto difícil, pois não existe um entendimento único sobre o tema. A expansão urbana não se resume só a um processo quantitativo de extensão territorial e dispersão da densidade populacional, também inclui mudanças qualitativas no ambiente urbano (Castells, 1974). Dentro deste contexto de organização do espaço na estrutura urbana, pode-se dizer que o transporte é um elemento importante que interage tanto com os fatores quantitativos como qualitativos do sistema urbano, influenciando e sendo influenciado pelo processo de expansão urbana (Cervero, 1998).

Alguns autores (Cervero, 1998; Ewing, 1997) argumentam que a expansão urbana tem uma influência importante no desenvolvimento do transporte; principalmente no que se refere na geração de sua demanda, de tempos de viagem e da escolha modal. Além disso, outros autores sugerem que políticas e investimentos em transportes, como melhorias na infraestrutura e na provisão de serviços de transporte público urbano e outros, podem orientar o desenvolvimento da expansão urbana. Assim, com base nessa perspectiva, no presente capítulo procura-se entender o relacionamento existente entre a expansão urbana e o transporte.

Primeiramente na seção 2.2 apresentam-se conceitos de expansão urbana. Na seção 2.3 realiza-se uma revisão teórica sobre a relação de uso de solo e transportes. Em seguida, na seção 2.4, são expostas considerações acerca da relação entre expansão urbana e transporte. Por fim, na seção 2.5, são apresentados os tópicos conclusivos do presente capítulo.

### **2.1 EXPANSÃO URBANA**

Expansão urbana é um dos fenômenos de transformação das cidades com maior debate e controvérsia (CEC, 2004). Assim, antes de analisar com detalhes quais são os fatores intervenientes na relação entre a expansão urbana e transportes, breves considerações semânticas sobre o entendimento da expansão urbana são apresentadas.



### **2.1.1 Conceitos gerais**

As definições de expansão urbana encontradas na literatura podem ser agrupados em seis categorias: i) definição por um exemplo; ii) definição estética; iii) a causa de externalidades indesejadas; iv) uma consequência; v) padrões específicos de desenvolvimento do solo; vi) um processo de desenvolvimento..

#### **i) Definição por um exemplo**

Expansão urbana é sempre definida por um ou mais exemplos de padrões de desenvolvimento urbano espalhados ou de baixa densidade. A cidade de “Los Angeles” geralmente é o maior exemplo utilizado nas definições (Geddes, 1997). Outro exemplo é o caso da cidade de “Atlanta” o qual tem substituído a “Los Angeles”. A flexibilidade de definição por um exemplo faz com que seja possível incluir todos os tipos de padrões de desenvolvimento, das comunidades planejadas com agrupamentos de residências e usos mistos.

#### **ii) Definição estética**

Segundo Ewing (1997) a expansão urbana não é suburbanização em geral, mas sim as formas de desenvolvimento suburbano que carecem de espaço aberto e de acessibilidade. Para Charles (1971) a expansão urbana é um espalhamento incomum dos membros de uma comunidade, produto de um planejamento inadequado. Clawson (1962) define expansão urbana como sendo o rápido espalhamento dos subúrbios, através das terras rurais, com uma tendência a ser descontínua, e extensas áreas de assentamento intimamente misturadas aleatoriamente com áreas não utilizadas. A maioria das definições da literatura classificadas como definição estética expressa a expansão urbana enquanto um tipo de desenvolvimento urbano não sustentável.

#### **iii) A causa de externalidades negativas**

As definições a causa de externalidades negativas basicamente descrevem os impactos da expansão urbana, ao invés de conceituá-la. Existem muitas conclusões acerca do aspecto da expansão urbana em função de relações causais entre os padrões de expansão de uso de solo e externalidades ambientais e socioeconômicas, tais como: engarrafamento de tráfego

(Black 1996; Downs 1999), poluição ambiental (Sierra Club, 1998), segregação social e econômica das cidades (Downs, 1998), o desencontro entre trabalhos e residências (Orfield, 1997), transformação de terras agrícolas em usos urbanos (GAO, 1999).

iv) Uma consequência

Burchell *et al.* (1998), Black (1996), Orfield (1997) admitem que a expansão urbana é produzida como consequência do fraco controle do uso de solo nas áreas metropolitanas. Não fica claro se a expansão é intencional, necessária ou uma consequência inadvertida de uma gestão inadequada do crescimento. Segundo Ewing (1997) a expansão urbana não é uma resposta natural às forças do mercado, mas sim um produto de seus subsídios e de outras imperfeições. De qualquer forma, a compreensão das políticas que induzem a padrões específicos de desenvolvimento podem levar a sua correção, caso haja uma especificação mais clara do que são os padrões urbanos.

v) Padrões específicos de desenvolvimento do solo

Padrões de desenvolvimento urbano geralmente são caracterizados como expansão urbana, tais como baixa densidade (Lockwood, 1999), aleatório (GAO 1999), uso de solo simples ou separação física de usos de solo (Burchell *et al.*, 1998; Cervero, 1991) e desenvolvimento comercial estendido (Downs, 1998). Atshuler e Gomez-Ibanez (1993) encontraram uma definição de expansão urbana à partir da identificação dos padrões de desenvolvimento urbanos, caracterizados como: desenvolvimento contínuo de baixas densidades residenciais; desenvolvimento de banda de baixas densidades residenciais ao longo dos corredores de rodovias; e, desenvolvimento *leapfrog* deixando traços de áreas desenvolvidas e não desenvolvidas (Harvey e Clarck 1965).

vi) Um processo de desenvolvimento

Para Gottman e Harper (1967) a expansão urbana evoca um padrão de circulação e de utilização do espaço. Esses autores sugerem uma certa liberdade de movimento em um espaço aberto. Concluem que a definição de expansão urbana, visto pelos geógrafos, planejadores, sociólogos e políticos é o crescimento urbano excedendo os limites territoriais. Castells (1974) apresenta um conceito mais filosófico, concebendo que a

formação da expansão urbana parece ser a consequência mecânica da evolução das forças produtivas (tecnologia, relações sociais e culturais).

Assim, com base nessas categorias, expansão urbana, como um substantivo, implica uma condição típica de uma área urbana, ou parte dela, em um período de tempo específico. A expansão urbana, se for considerada como uma condição do uso de solo, deve ser diferenciada de outras condições que possam estar relacionadas. Assim, Galster *et al.* (2001), com base nas descrições das condições que caracterizam a expansão urbana, adicionando as suas experiências e observações, admitem a seguinte definição conceitual para esse termo:

*Expansão urbana é um padrão de uso de solo na área urbana que apresenta baixos níveis de alguma combinação de oito dimensões diferentes: densidade, continuidade, concentração, agrupamento, centralidade, nucleamento, usos mistos, e proximidade. (Galster et al., 2001).*

Essa definição sugere a possibilidade de existirem distintos tipos de expansão urbana, consistentes, de diferentes combinações à partir destas oito dimensões que serão consideradas como fatores espaciais da expansão urbana. Também sugere a possibilidade da definição de expansão urbana como um processo de desenvolvimento, à partir da observação de mudanças nos padrões de uso de solo ao longo do tempo, especialmente na periferia.

A partir dos autores citados, foi elaborado o Quadro 2.1, onde estão sistematizadas as principais definições de expansão urbana, assim como os aspectos relacionados a ela.

**Quadro 2.1:** Definições de expansão urbana e aspectos urbanos relacionados

| Fonte                                                                                            | Definição Expansão Urbana                      | Aspectos Relacionados |        |          |           |           |              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------|--------|----------|-----------|-----------|--------------|
|                                                                                                  |                                                | Econômico             | Social | Estético | Ambiental | Políticos | Forma Urbana |
| Geddes (1997)                                                                                    | Por um exemplo                                 |                       |        |          |           |           | X            |
| Clawson (1962)<br>Charles (1971)                                                                 | Estética                                       |                       |        | X        |           |           | X            |
| Black (1996)<br>Orfield (1997)<br>Sierra Club (1998)<br>Downs (1999)<br>GAO (1999)               | A causa de externalidades indesejadas          | X                     | X      |          | X         |           |              |
| Black (1996)<br>Orfield (1997)<br>Ewing (1997)<br>Burchell et al. (1998)                         | Uma consequência                               | X                     | X      |          |           | X         |              |
| Cervero (1991)<br>Gomez-Ibanez (1993)<br>Burchell et al. (1998)<br>Lockwood (1999)<br>GAO (1999) | Padrões específicos de desenvolvimento do solo | X                     | X      |          |           |           | X            |
| Gottman e Harper (1967)<br>Castells (1974)<br>Galster et al. (2001)                              | Processo de desenvolvimento                    | X                     | X      |          |           | X         | X            |

Apesar das discordâncias e contradições, percebe-se que na literatura nem todo desenvolvimento urbano é considerado como sendo expansão urbana. Isso ocorre porque uma área urbana extensa não é necessariamente a mais expandida. Assim, toda expansão urbana podem não ter as mesmas características ou dimensões. Excluindo termos de difícil quantificação como “inadequado” ou “excessivo”, admite-se a existência de fatores espaciais objetivos do uso de solo dotados de baixos níveis na área urbana, que podem razoavelmente se caracterizar como expansão urbana. Além disso, os fatores espaciais da expansão urbana podem ocorrer em diferentes graus e combinações por meio de diversas áreas urbanas, possibilitando a distinção entre diferentes tipos de expansão urbana.

## 2.2 FATORES ESPACIAIS DA EXPANSÃO URBANA

Oito dimensões objetivas e conceitualmente distintas do uso de solo são apresentadas nesta seção, cuja existência em baixas proporções e em algumas combinações permitem caracterizar a expansão urbana. Dessa forma, serão apresentadas as seguintes classificações: i) densidade; ii) continuidade; iii) concentração; iv) agrupamento; v) centralização; vi) formação de núcleos; vii) usos mistos; viii) proximidade.

i) Densidade

Existem muitas definições de densidade na literatura, Galster *et al.* (2001), por exemplo, a definem como sendo a média de unidades residências por milha quadrada de solo utilizável na área urbana. Trata-se do indicador mais utilizado da expansão urbana (Black, 1996; Burchell *et al.* 1998; Lockwood, 1999; Orfield, 1997).

Normalmente a densidade é expressa como a relação entre o total da população de uma área metropolitana e o total de área de solo. Contudo, as unidades residências são uma melhor unidade para mensurar a expansão como uma condição física de uso de solo. E a área de solo utilizável (aquela que não possui uso público ou qualquer outra barreira reguladora ao desenvolvimento de densidades urbanas) é o melhor denominador para calcular densidade, se comparada a área total de solo, que inclui as áreas que não podem ser utilizadas.

A densidade residencial pode ser um indicador mais útil do que o desenvolvimento não residencial (Galster *et al.*, 2001). Em função de economias de aglomeração e regulamentações, que limitam o desenvolvimento de alguns locais, usos não residenciais estão mais propensos a ser mais irregulares do que usos residenciais. E ao contrário do caso de unidades habitacionais, que têm uma relação estreita com a população, a relação entre o número de estabelecimentos comerciais e empregados varia muito. O emprego médio por quilômetro quadrado pode ser um elemento um pouco mais significativo da dimensão da densidade, embora oscile com os ciclos de negócios (Downs, 1999; Galster *et al.*, 2001) como se ilustra na Figura 2.1(a) apresentando um exemplo de alta densidade e a figura 2.1(b) um exemplo de baixa densidade.

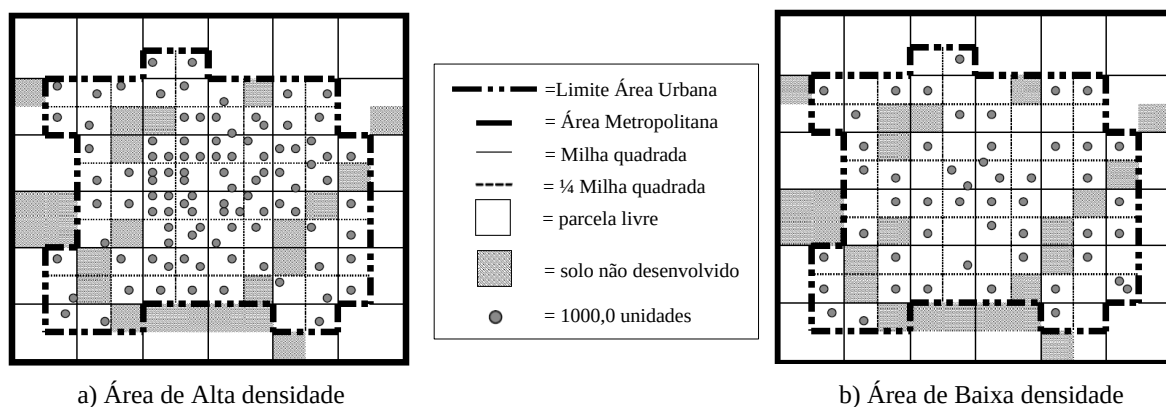


Figura 2.1: Ilustração do conceito de densidade. Modificado: Galster *et al.* 2001

## ii) Continuidade

Galster *et al.* (2001) definem continuidade como o grau de construção de uma terra utilizável sobre a densidade urbana de forma ininterrupta. O desenvolvimento contínuo da densidade urbana, caracterizada como expansão urbana, pode acontecer para qualquer nível de densidade urbana, embora a orientação das periferias seja um desenvolvimento de baixa densidade em anéis concêntricos do centro urbano ou núcleo (Lockwood, 1999; Galster *et al.*, 2001). Autores como Ewing (1997), Gordon e Richardson (1997) e Burchell *et al.* (1998) identificam a descontinuidade como um atributo significativo da expansão urbana, enquanto elemento de desenvolvimento interrompido de áreas urbanizadas.

Considerando as definições anteriores, a expansão urbana pode ser contínua em alguns locais e descontínua em outros. Para Galster *et al.* (2001) o desenvolvimento contínuo pode ser caracterizado como expansão urbana em alguns casos, mas como algo diferente em outros casos, isso se forem levadas em consideração algumas condições de uso de solo. Assim, em um exemplo hipotético de uma determinada área urbana com desenvolvimento caracterizado por moderada a alta densidade, cortada por um corredor de transporte (ou por cinturões verdes) e outros espaços abertos, pode não ser necessariamente um caso de expansão urbana.

Como foi apresentada, a dimensão de continuidade interage com a densidade apenas como um meio de determinar se uma área de solos utilizáveis contém unidades habitacionais ou de emprego suficiente para considerá-lo parte de um padrão contínuo ou descontínuo.

Assim, a dimensão de continuidade indica apenas o grau de desenvolvimento leapfrog, como é ilustrado na Figura 2.2 (a) e (b), onde são comparados dois exemplos de continuidade. Segundo Galster *et al.* (2001) corpos de água, áreas florestais, parques, aclives, rodovias, cruzamentos de pistas não são considerados fatores que interrompem os padrões de desenvolvimento contínuo.

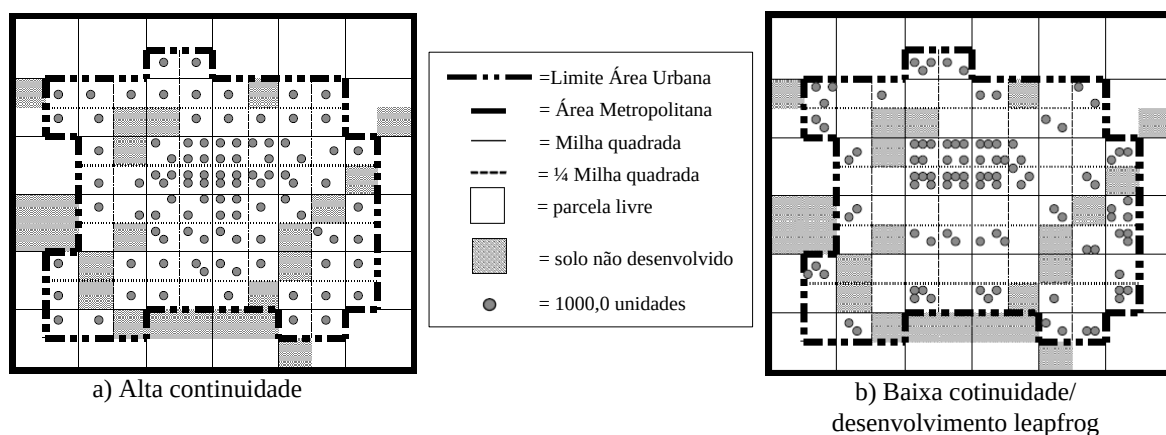


Figura 2.2: Representação da dimensão continuidade. Modificado: Galster *et al.* (2001)

### iii) Concentração

Galster *et al.* (2001) definem a concentração como o grau em que o desenvolvimento urbano está localizado desproporcionalmente, e em relativamente poucos quilômetros quadrados da área urbana total, em vez de se espalhar uniformemente por toda área urbana. Esta dimensão se diferencia em dois casos: o primeiro caso é quando a maioria das unidades residenciais e de emprego estão localizadas relativamente em pequenos espaços, produzindo altas densidades; e no segundo caso, em áreas urbanas onde o desenvolvimento é mais distribuído através do solo urbano.

Uma área urbana pode se desenvolver continuamente, mas nem toda área urbana é desenvolvida uniformemente. A dimensão de densidade não indica como os usos residenciais são distribuídos no território. Hipoteticamente, uma área de 100 quilômetros quadrados, tivesse 500.000 locais de residência e 200.000 locais empregos, a densidade média seria: 5.000 unidades por quilômetro quadrado de residência e uma média de 2.000 postos de trabalho por quilômetro quadrado. As residências e empregos poderiam ser distribuídos em um número quase infinito de combinações, com igual grau de continuidade. De forma ilustrativa, a Figura 2.3 apresenta dois exemplos de concentração, ambos com a mesma quantidade de desenvolvimento urbano. A Figura 2.3(a) apresenta um

desenvolvimento urbano mais concentrado do que o ilustrado na Figura 2.3(b), onde o desenvolvimento urbano é de baixa concentração.

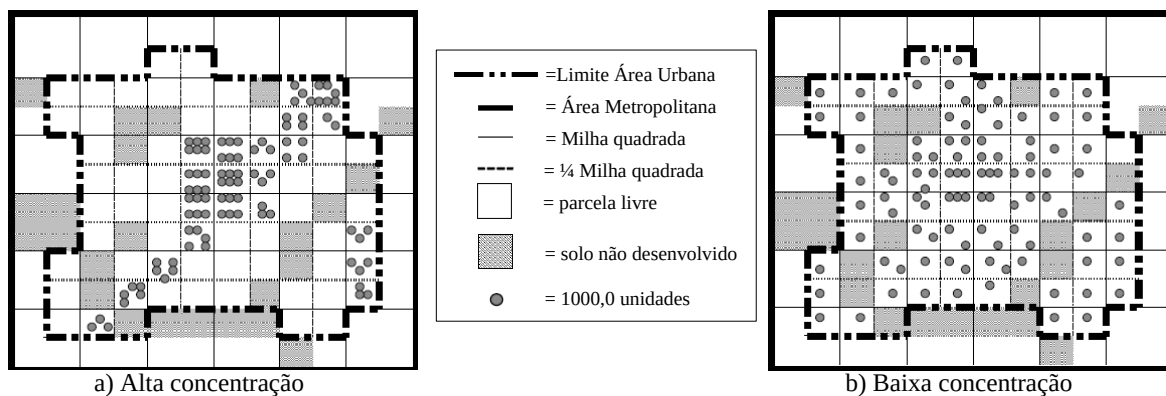


Figura 2.3: Representação da dimensão concentração. Modificado: Galster *et al.* (2001)

#### iv) Agrupamento

Agrupamento é o grau de desenvolvimento urbano fortemente congregado para minimizar a quantidade de usos residenciais ou não residenciais em cada milha quadrada de solo utilizável (Galster *et al.* 2001). Trata-se de uma dimensão distinta do desenvolvimento do solo urbano. Ao contrário da densidade e da concentração, que indicam os padrões de desenvolvimento urbano através de sua extensão; o agrupamento, por sua vez, indica a área útil de cobertura de padrões de desenvolvimento, dentro dessa extensão. O desenvolvimento pode ser denso, concentrado e não necessariamente agrupado (porque densidades altas e baixas por igual se distribuem uniformemente por toda sua extensão).

Inversamente, uma área urbana pode ter baixas densidade e concentração, mas o agrupamento pode ser elevado se existir um forte agrupamento de usos urbanos em sua extensão. Efeitos como surgimento de superfícies impermeáveis, que contribuem para enchentes e erosão, têm sido associados ao baixo agrupamento. O desenvolvimento de agrupamentos pode, também, reduzir as distâncias de viagem dentro de uma área urbana, mas não necessariamente entre a residência e o trabalho, quando esses estão situados fora do agrupamento. A figura 2.4 (a) e (b) ilustra o desenvolvimento urbano agrupado e não agrupado.





Figura 2.4: Representação do desenvolvimento por agrupamento. Modificado: Galster *et al.* (2001)

#### v) Centralização

Para Galster *et al.* (2001) centralização é o grau de proximidade dos desenvolvimentos de usos de solo residenciais ou não residenciais (ou ambos), com o *Central Business District* (CBD), ou Distrito Central de Negócios, de uma área urbana.

Geralmente a perda de centralidade é um dos efeitos mais comuns atribuídos à expansão urbana. Este efeito se refere na forma de desenvolvimento difundido através do território do centro histórico, ou CBD, de uma área urbana. A descentralização das áreas urbanas é frequentemente citada como a causa de longos tempos e distâncias de viagens. A centralidade de uma área urbana aumenta à medida que o raio do CBD, onde a maior proporção de desenvolvimento urbano está localizada, como pode ser observado na Figura 2.5(a). Por outro lado, uma área urbana irá apresentar maior expansão se as distâncias, à partir do centro, são maiores para conter a mesma proporção de desenvolvimento urbano Figura 2.5(b).

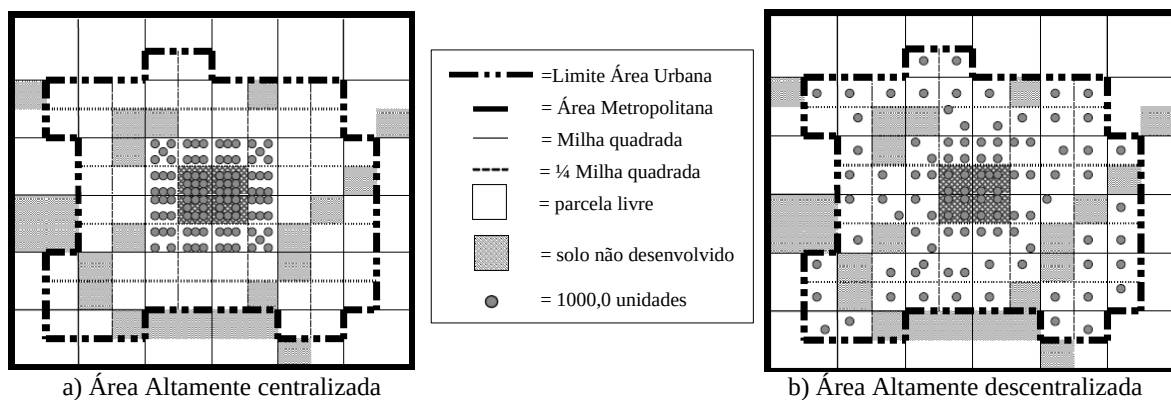


Figura 2.5: Representação da centralidade. Modificado: Galster *et al.* (2001)

#### vi) Formação de núcleos

A formação de núcleos é uma dimensão que mensura se o grau em que o padrão de desenvolvimento de uma área urbana é mononuclear ou polinuclear. Atualmente, as áreas urbanas dos Estados Unidos da América tornaram-se polinucleares devido ao crescimento em escala das periferias, fazendo com que diferentes centros assumissem funções mais especializadas, tais como: centros financeiros, centros de tecnologia, varejo, ou *hubs* de fabricação. Se o CBD é de desenvolvimento intenso, a área urbana terá uma estrutura mononuclear e a sua dimensão de núcleo é maximizada. Existem polinúcleos quando as mesmas atividades são intensamente desenvolvidas, dispersas na área urbana, onde cada lugar contém um aglomerado de atividades que representa uma proporção substancial do total das atividades.

A formação de núcleos e a concentração não precisam ficar intimamente relacionadas. A área urbana pode ter apenas um núcleo ou mais núcleos, mas se suas densidades não são significativamente maiores do que a densidade média do resto da área urbana, a concentração será baixa. Isso leva à conclusão de que a formação de núcleos é conceitualmente distinta das outras dimensões da expansão urbana apresentadas. A formação de núcleos é uma dimensão importante. Um padrão polinuclear pode reduzir os custos de viagem para algumas pessoas, reduzindo a distância de viagem para trabalho; mas pode aumentar outros custos relacionados aos imóveis nas imediações de centros de trabalho, que tendem a ser mais caros [Figuras 2.6 (a) e (b)].

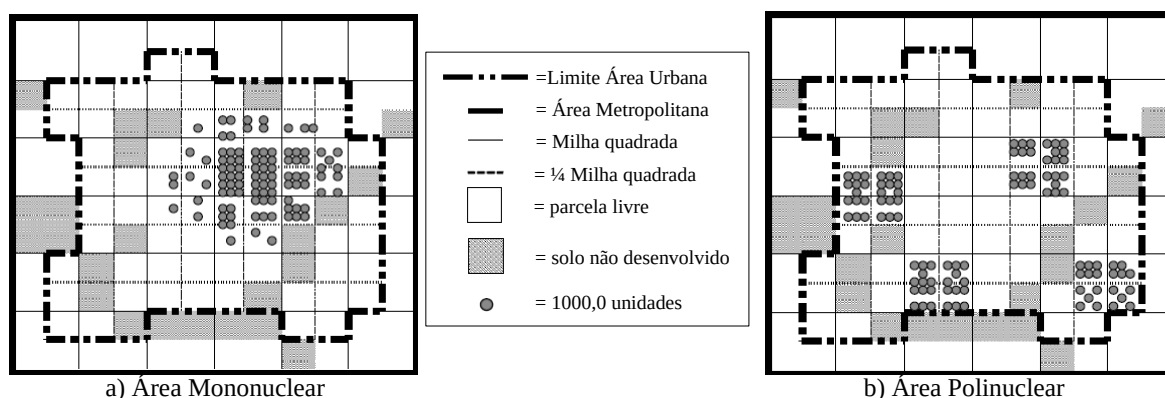


Figura 2.6: Representação da formação de núcleos. Modificado: Galster *et al.* (2001)

#### vii) Usos mistos

Handy *et al.* (2002) definem a diversidade de uso de solo como a relativa proximidade de diferentes tipos e uso de solo dentro de uma área urbana. Para Galster *et al.* (2001) usos mistos é uma dimensão da expansão urbana que mensura o grau de existência de dois o

mais usos de solo distintos, na mesma área urbana. À expansão urbana atribui-se, também, a separação de diferentes tipos de uso de solo, a segregação de renda e o desenvolvimento suburbano residencial em diferentes categorias de zonas urbanas (Cervero, 1991; Orfield, 1997; Burchell, 1998; Sierra Club, 1998; Downs, 1999)

A expansão urbana tanto é originada quanto origina padrões de uso de solo exclusivo, incluindo separação de residências, locais de trabalho e a segregação de renda entre as comunidades residenciais. A medida que a mistura de usos de solo na comunidade diminui, os tempos e distancias de viagem, para as pessoas que moram e trabalham na comunidade aumentam. Assim, a quanto maior for a exclusividade de usos de solo em uma área pequena, maiores serão os impactos negativos advindos da expansão urbana, tais como o engarrafamento de tráfego (Galster *et al.*, 2001). A Figura 2.7 (a) e 2.7 (b) apresentam os casos de uso misto e uso simples de solo

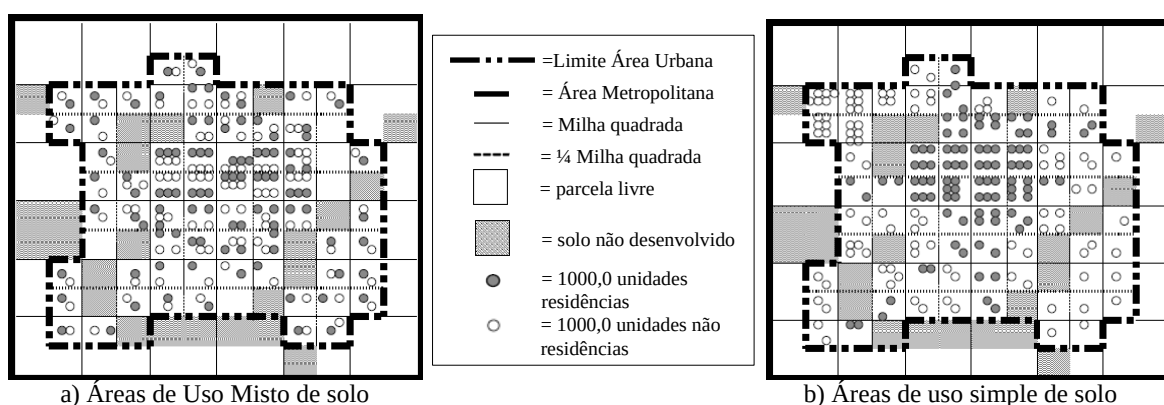


Figura 2.7: Representação do usos mistos. Modificado: Galster *et al.* (2001)

#### viii) Proximidade

Conceitualmente, a proximidade é a distância média que as pessoas devem viajar a partir de qualquer "residência" ou parcela residencial para todos os "destinos" ou outras parcelas de emprego. As Figuras 2.8 (a) e (b) apresentam dois exemplos. Aquelas áreas urbanas, onde a maioria das pessoas viajam grandes distâncias têm a menor proximidade entre os usos e, portanto, pode-se considerar uma maior representação de expansão urbana (Galster *et al.*, 2001).

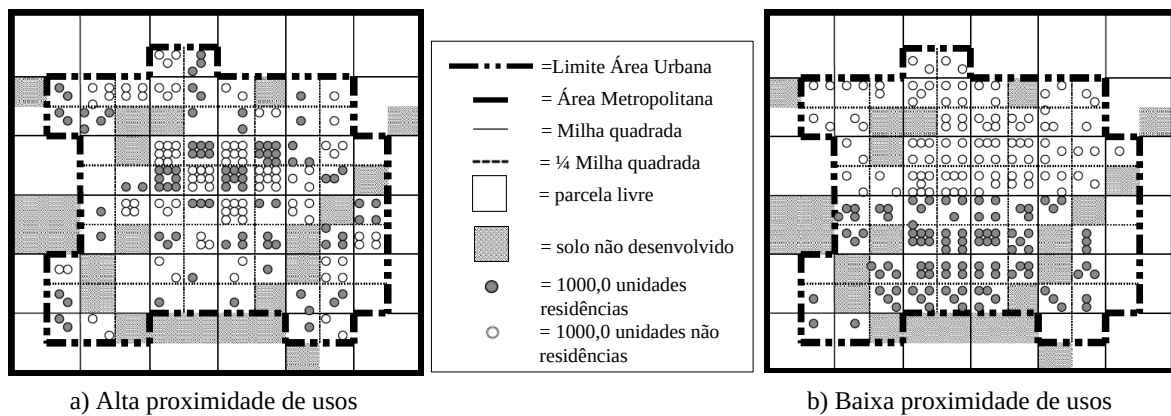


Figura 2.8: Representação de proximidade. Modificado: Galster *et al.* (2001)

A proximidade é o grau em que diferentes usos de solo estão próximos uns aos outros por meio de uma área urbana (Galster *et al.*, 2001). Por exemplo, localização espacialmente incompatível entre postos de trabalho e as residências dos trabalhadores de baixa renda, tendem a afetar as oportunidades econômicas destes trabalhadores. Assim, a distância média de viagem dos trabalhadores para o emprego, ou dos consumidores para fazer compras de bens, tende a contribuir com as externalidades atribuídas à expansão urbana. A proximidade de uns aos outros de usos do solo do mesmo tipo é uma característica importante da aglomeração de atividades que se relacionam no espaço urbano

### 2.3 DEFINIÇÃO DE PADRÃO DE EXPANSÃO URBANA

O termo padrão é muito abrangente na literatura. Coplain (1998) sugere o termo padrão como um conjunto de características consistentes e periódicas ou só uma característica que ajuda na identificação de um fenômeno ou problema, e serve como um indicador ou um modelo para prever seu comportamento futuro.

Alexander (1979) sugere duas definições: como um elemento no mundo, cada padrão é uma relação entre certo contexto, certo sistema de forças que acontecem repetidamente nesse contexto, e certa configuração espacial que permite que estas forças se resolvam entre si. E como um elemento de linguagem, um padrão é uma instrução, que mostra como esta configuração espacial pode ser usada, para resolver o sistema de forças, onde quer que o contexto torna-se relevante.

Considerando o contexto apresentado anteriormente pode-se definir, para fins deste trabalho, padrão de expansão urbana da seguinte forma:

Seja:

$\mathcal{C}_U$  = Composição: fatores espaciais da expansão urbana, características socioeconômicas;

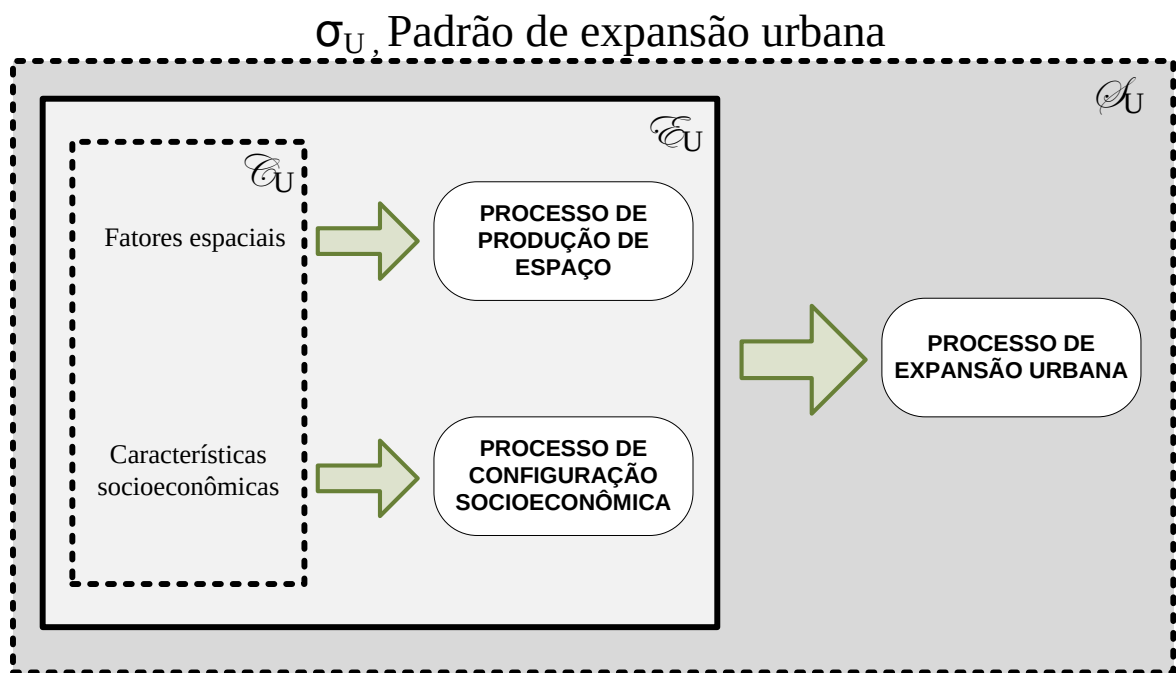
$\mathcal{E}_U$  = Ambiente: processos de produção de espaço e configuração socioeconômica;

$\mathcal{A}_U$  = Estrutura: relações entre fatores espaciais, configuração socioeconômica, processos de expansão urbana;

$\sigma_U$  = padrão de expansão urbana.

$\sigma_U = (\mathcal{C}_U, \mathcal{E}_U, \mathcal{A}_U)$

Assim, Padrão de expansão urbana é um conjunto de fatores espaciais e características socioeconômicas dentro de um ambiente de processos de produção de espaço e configuração socioeconômica que ocorrem repetidamente em uma relação do processo de expansão urbana onde este conjunto de fatores e características se resolve entre si (Figura 2.9).



**Figura 2.9:** Esquema da definição de padrão de expansão urbana

## 2.4 USO DE SOLO E TRANSPORTE

A relação entre uso de solo e transporte é de singular importância para o desenvolvimento de uma cidade. Contudo, essa relação possui um caráter dinâmico, fazendo com que as alterações oriundas de ambas as partes tendem a não ser sustentáveis ao longo do tempo. Com o aumento da renda e custos decrescentes da interação espacial, os sistemas

residenciais tornaram-se mais dispersos e criaram mais viagens de longas distâncias. Especialistas acreditam que uma melhor integração entre o planejamento de transporte urbano e uso de solo poderia reduzir a necessidade de realizar longas viagens, e assim repercutir em um transporte mais sustentável (Wegener e Greiving, 2001; Miller *et al.*, 1998).

Alguns autores (Kitamura; Mokhtarian; Laidet, 1997; Giuliano, 1995) acreditam que a relação uso de solo e transporte, conjuntamente com as variáveis socioeconômicas dos indivíduos, explicam melhor a variância no comportamento de viagens. Assim, o presente trabalho discorre como o uso do solo é um dos fatores que interferem no transporte.

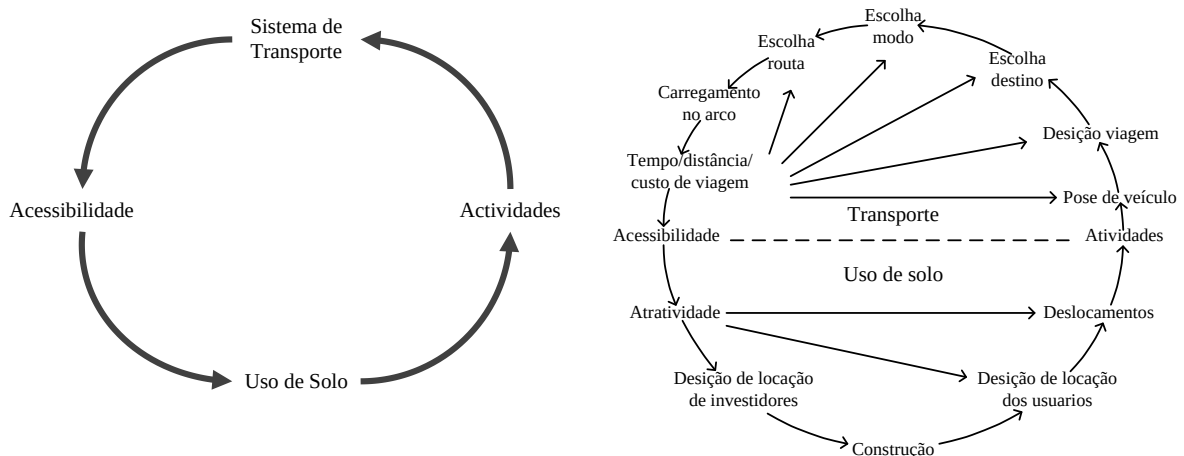
#### **2.4.1 Teoria do Uso de Solo e Transporte**

O indivíduo possui a necessidade de participar de atividades que estão dispersas no espaço. Essas atividades determinam o padrão de viagem do indivíduo, que ocorre em função de um conjunto de opções e restrições, que por sua vez são inerentes ao sistema viário e todas as redes de infra-estrutura de transporte. Por conseguinte, a ocupação do solo (densidades, dimensões das zonas, etc.) e o uso do solo (tipos de uso, localização das zonas, vazios urbanos, etc.) são características da estrutura do espaço urbano que influenciam o sistema de transportes.

A interligação entre a ocupação e uso de solo urbano pode ser reforçada em termos desagregados (individuais) porque a demanda por viagens é derivada da necessidade da realização de atividades fora do domicílio. Nesse contexto, a disposição dos locais de atividades no meio urbano determina a maior ou menor facilidade com que o indivíduo pode participar dessas atividades diariamente.

De acordo com Wegener e Greiving (1999), as teorias sobre o uso de solo e transporte interagem em uma relação biunívoca, apresentando as respostas locacionais e de mobilidade dos atores privados (chefes de família, empresas, viajantes) às mudanças no sistema de transporte e uso do solo urbano, a um nível urbano regional. Assim, esses autores definem a interrelação entre uso de solo e transportes por decisões de viagem e distribuição das atividades, influenciados uns aos outros através do “ciclo de realimentação de uso de solo-transportes” (Figura 2.9). Este ciclo apresenta os seguintes aspectos:

- A distribuição dos tipos de uso do solo (residencial, industrial ou comercial) em áreas urbanas determina a localização das atividades humanas (como moradia, trabalho, compras, educação ou lazer);
- A distribuição espacial das atividades humanas requer interações espaciais (ou viagens), fazendo uso do sistema de transportes para transpor as distâncias entre as localizações das atividades;
- A distribuição da infraestrutura do sistema de transportes cria oportunidades para a interação espacial, que pode ser medida em termos de acessibilidade;
- A distribuição da acessibilidade no espaço determina as decisões de localização, resultando em alterações no uso do solo.



**Figura 2.10:** O ciclo de retroalimentação uso de solo-transporte. Fonte: Wegener e Greiving (2001)

Para entender de forma sistemática a interrelação entre o uso do solo e transportes, foram elaborados modelos integrados. Esses modelos incorporam o processo essencial de desenvolvimento espacial, incluem fatores do uso do solo urbano e modelos de demanda de transportes (Wegener e Fürst, 1999).

#### 2.4.2 Modelos de Uso de Solo e Transporte

Um dos primeiros modelos a integrar os aspectos dos sistemas de transportes e uso do solo foi desenvolvido por Lowry na década de 60. O objetivo dele foi “explicar a conformação urbana das áreas residenciais e dos centros de atividades a elas associadas, sob o ponto de vista de concentração demográfica” (Novaes, 1981). A partir do modelo gravitacional originalmente desenvolvido, vários outros modelos foram surgindo.

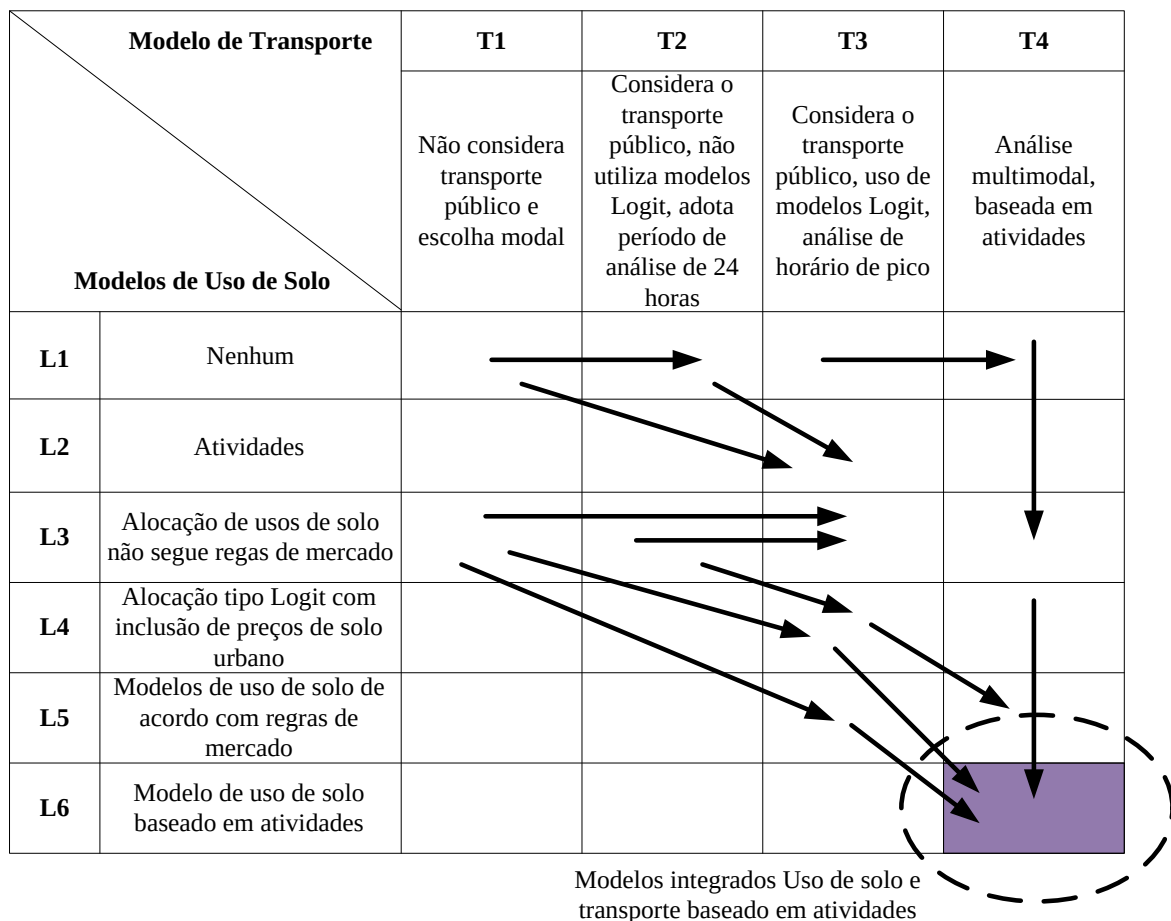
Vários modelos que integram o sistema de transportes e os usos do solo vêm sendo desenvolvidos com a finalidade de prever os padrões de desenvolvimento do solo urbano e dos sistemas de transportes (Wegener, 2003). De acordo com Waddell *et al.* (2004) os modelos elaborados nos Estados Unidos entre as décadas de 60 e 80 tinham como objetivo solucionar os problemas relacionados à capacidade viária. O desafio era considerar o aumento do número de viagens, resultantes da maior distribuição espacial dos domicílios e locais de emprego na área urbana. Esses modelos, inicialmente voltados à modelagem das viagens por automóvel, passaram a integrar, gradualmente, modos de transporte alternativos (como o transporte coletivo e os modos não motorizados) e algumas características do uso do solo.

O processo de modelagem mais complexo (que incorpora a interrelação entre os sistemas de transportes e uso do solo) apontou a necessidade de desenvolvimento de modelos capazes de englobar o maior número possível de aspectos destes sistemas, de forma clara. Além disso, que facilitasse o teste e a avaliação dos impactos da aplicação de políticas de transportes e uso do solo sobre a demanda de viagem (Waddell *et al.*, 2004).

Como resposta a essa necessidade, a abordagem dos modelos de uso de solo e de transporte baseados em atividades envolve toda a complexidade das viagens individuais. De forma adicional, consideram também a influência de políticas de uso de solo e de transporte sobre o comportamento de viagem dos indivíduos (Waddell *et al.*, 2004; Wegener, 2003).

Nesse contexto, Wegener e Fürst (1999) evidenciam o uso da abordagem baseada em atividades para o desenvolvimento de modelos mais sofisticados, como pode é ilustrado na Figura 2.10. Nesta ilustração, as linhas correspondem aos diferentes níveis de modelagem de uso do solo, já as colunas referem-se aos níveis de modelos de demanda de transportes. De acordo com essa lógica, a evolução dos modelos de transporte apresenta-se no canto superior esquerdo (L1/T1) para o canto superior direito (L1/T4). Dessa forma, é possível observar a transição da modelagem voltada apenas ao automóvel (T1) para a análise multimodal (T4). A evolução dos modelos de uso de solo apresenta-se no canto superior esquerdo (L1/T1) para o canto inferior esquerdo (L6/T1). É possível observar a evolução da integração dos modelos de transporte e uso de solo no canto superior esquerdo (L1/T1) para o canto inferior direito (L6/T4).





**Figura 2.11:** Evolução dos modelos de uso de solo e de transportes. Fonte: Wegener e Fürst (1999) – Modificado (Arruda, 2004)

## 2.5 RELAÇÃO ENTRE EXPANSÃO URBANA E TRANSPORTE

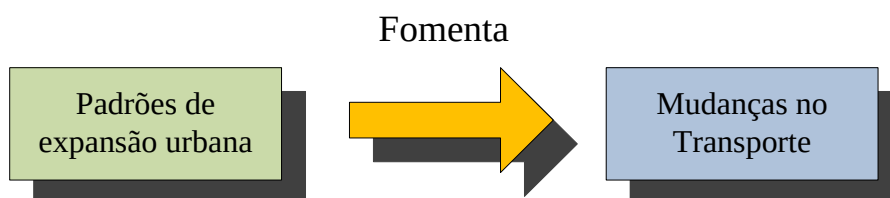
Nesta seção são citados trabalhos que corroboram a relação entre expansão urbana e transporte, assim como outros estudos onde pode-se afirmar a ligação entre estes elementos. Primeiro será explanada a relação em que o transporte se adapta a expansão urbana. Em seguida, discorre-se acerca do transporte enquanto fomentador do desenvolvimento físico e econômico da expansão urbana.

### 2.5.1 Expansão urbana orienta o transporte: trabalhos pontuais consultados na literatura

A demanda de viagens urbanas foi relacionada com o tamanho da área urbana e a distância desde o centro da cidade (Pushkarev e Zupan, 1977 *apud* García-Palomares 2010). Para Fisher (1992) além do incremento da demanda de viagens, as distâncias de viagens tendem

a aumentar, tendo em vista que uma cidade de grande extensão implica em ocupações urbanas mais segregadas e em densidades mais baixas.

As formas de expansão urbana (dispersão suburbana e a constituição de metrópoles policêntricas) tendem a aumentar as distâncias de viagens e, principalmente, a resultar em maior dependência do uso de veículo privado e maiores custos de operação de transporte público (Figura 2.11). Outra tendência é a prestação de serviço de transporte público urbano ineficiente, considerando que: a demanda de transporte público urbano é baixa; a dispersão da demanda sobre o território é alta; e, o incremento da dispersão dos destinos é causado pela suburbanização das áreas de emprego (Cervero, 1989; Cervero e Kockelman, 1997; Newman e Kenworthy, 1999).



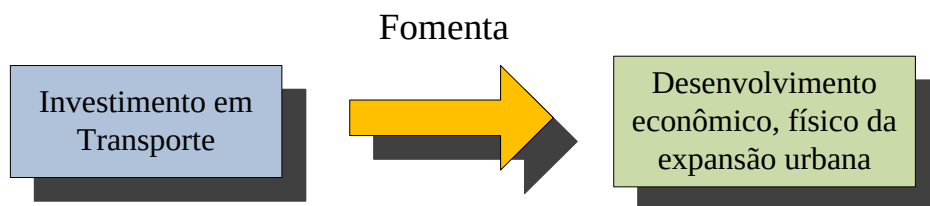
**Figura 2.12:** Relação expansão urbana - transporte

### **2.5.2 Transporte e fatores socioeconômicos orientam a expansão urbana: alguns trabalhos revisados na literatura**

A implantação de sistemas de transportes geram impactos econômicos socioambientais, que podem produzir o desenvolvimento do ambiente urbano onde estão inseridos (Lima Neto, 2006). O investimento em infra-estrutura de transportes induz o crescimento econômico em razão da melhoria da acessibilidade. Essa melhoria impacta no desenvolvimento físico de uma área urbana por meio da localização e distribuição dos pólos de atividades, intensidade e composição dos valores de uso do solo (Cervero, 1998; Benitez, 1999; e, Lima Neto, 2006).

Para um caso específico, Handy (2002) analisou os efeitos que investimentos em rodovias e em Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) produzem no desenvolvimento da expansão urbana. Essa concluiu que o investimento em aumento da capacidade de rodovias pode influenciar no crescimento urbano; e o investimento em VLT pode influenciar no crescimento de altas densidades, de acordo com certas condições. Observa-se que existe

uma influência do investimento em transportes na forma de expansão urbana, em determinadas condições urbanas (Figura 2.12).



**Figura 2.13:** Relação Transporte - Expansão Urbana.

## 2.6 TÓPICOS CONCLUSIVOS

O propósito deste capítulo foi revisar a relação entre expansão urbana e transporte. Foram observados tanto aspectos relacionados à teoria, a evolução e experiências entre estes dois elementos.

Foi possível observar que existem diversas definições de “expansão urbana”, baseadas em distintos aspectos sociais, econômicos, estéticos, políticos e ambientais. Acredita-se que não é adequado definir a expansão urbana considerando somente um aspecto, pois a expansão urbana envolve um conjunto de aspectos. Para fins desta pesquisa assume-se a definição conceitual proposta por Galster *et al.* (2001): “Expansão urbana é um processo de desenvolvimento de solo urbano, o qual se apresenta em baixos níveis de combinações de oito dimensões: densidade, continuidade, concentração, agrupamento, centralidade, nucleamento, usos mistos e proximidade”.

A expansão urbana é aqui compreendida como o processo de desenvolvimento de solo urbano, considerando que essa representa a dinâmica de crescimento urbano de uma cidade, que ocorre de formas variadas. Assim, os oito fatores espaciais propostos por Galster *et al.* (2001), que são conceitualmente distintas, permitem identificar, operacionalizar e mensurar distintos padrões de expansão urbana.

Como apresentado há relação entre expansão urbana e transporte. Essa, inicialmente apresentada como bipartida, indica que tanto a expansão urbana produz o transporte; quanto o transporte pode fomentar o desenvolvimento físico, econômico da expansão urbana. Nesse contexto, ressalta-se que o foco deste trabalho é a primeira relação, ou seja, como a expansão urbana produz transporte.

O seguinte capítulo discorrerá sobre fatores espaciais da expansão urbana que tendem a influenciar os padrões de viagens baseadas em atividades dos indivíduos na área urbana. Nesse estudo serão trabalhados esses padrões tendo em vista que, esses representam o comportamento básico do indivíduo no tocante à sua decisão de deslocamento, dentro do ambiente urbano em função de suas atividades.

### **3. EXPANSÃO URBANA E PADRÕES DE VIAGENS: A MODELAGEM**

A demanda por viagens se origina à partir das diversas necessidade que os indivíduos têm em participar de atividades em locais fora de seu domicílio, espacialmente distribuídos no ambiente geográfico. A demanda por atividades e viagens é resultante de escolhas entre diversas possíveis combinações de atividades e viagens no curso de um dia (Bowman *et al.*, 1998). Assim, o indivíduo tende a organizar as suas viagens tendo como base, também, aspectos referentes às atividades nas quais pretende realizar, tais como: os locais onde estas atividades irão ocorrer; o nível de prioridade das mesmas; o horário de início e término de cada atividade e das características dos modos de transportes disponíveis para o indivíduo ir do local de uma atividade ao local da atividade seguinte (Snellen, 2000). O entendimento referente a forma que o indivíduo organiza as suas viagens, em função de atividades, pode ser consolidado mediante a obtenção do seu padrão de viagem baseado em atividade.

O padrão de viagem baseado em atividade pode ser influenciado por diversas variáveis referentes ao indivíduo e à área urbana onde a viagem ocorre, analisar essas variáveis tem sido objeto de vários estudos em planejamento de transportes. Neste contexto, este capítulo apresenta uma revisão teórica sobre esse tema, iniciando com a apresentação de algumas teorias que fundamentam a abordagem de viagens baseada em atividades, no item 3.2 Em seguida, o item 3.3 versa sobre os fatores característicos da expansão urbana e sua influencia no padrão de viagem baseado em atividade. O item 3.4 contém uma revisão teórica sobre trabalhos dedicados à estudar a relação entre expansão urbana e padrões de viagens. Já o item 3.5 apresenta algumas considerações acerca da modelagem de equações estruturais aplicadas no comportamento de viagens, que será útil para o desenvolvimento deste estudo. Finalmente, no item 3.6 são apresentados os tópicos conclusivos.

#### **3.1 PADRÕES DE VIAGENS BASEADAS EM ATIVIDADES**

A realização de uma “atividade” implica o deslocamento de uma pessoa desde uma origem até um destino para cumprir um certo propósito, o qual pode ser trabalho, estudo, compras, lazer etc (Shmueli, Salomon e Shefer, 1998). Para Jones *et al.* (1990) *apud* Kitamura (1996) a análise com foco em atividades é definida como a *estrutura em que a viagem é*

*analisada como padrões de comportamento diário ou multi-diário, relacionados e derivados de diferenças no estilo de vida e participação de atividades entre a população.* Assim, a aplicação da abordagem baseada em atividades permite uma melhor compreensão do comportamento da demanda por transporte.

### **3.1.1 Abordagem Baseada em Atividades**

A abordagem baseada em atividades é considerada um paradigma de caráter único na história dos estudos em transportes por atribuir ênfase ao entendimento do comportamento de viagem (Pitombo, 2007). O princípio fundamental desta abordagem é a interpretação da viagem como sendo uma demanda derivada da necessidade que os indivíduos têm de realizar atividades fora de seu domicílio. A diferença entre ela e a abordagem tradicional baseada em viagens (*trip-based*), é que esta foca-se nas atividades que geram as viagens (McNally e Rindt, 2008).

Para Bowman (1995) são quatro os fundamentos básicos que compõem a teoria de viagens baseada em atividades. O primeiro define que a demanda por viagens é derivada da demanda por atividades que requerem viagens; o segundo estabelece que o comportamento humano está restrito pelo tempo e espaço; o terceiro confere que o domicílio afeta significativamente as atividades do indivíduo e as suas decisões referentes às viagens; e, por fim, o quarto atesta que as atividades e as decisões referentes às viagens acontecem dinamicamente. McNally (1996) adiciona um outro fundamento, indicando que as seqüências de padrões de comportamento – e não as viagens individuais – são as unidades de análise relevantes.

Segundo Hägerstrand (1970), a fim de realizar atividades, o indivíduo deve lidar com algumas restrições que lhe são impostas, muito relacionadas a aspectos de cunho espaço-temporais. Essas restrições podem ser de três tipos: (1) “restrição de capacidade”, refere-se aos limites vitais, como por exemplo, horário de dormir e comer; (2) “restrição de autoridade”, ou limites pré-estabelecidos para a realização de atividades, tais como horário de funcionamento de *shopping centers*; e, (3) “restrição de dependência”, determina que a realização de certas atividades esteja sujeitas a presença de uma ou mais pessoas num determinado horário e local, como por exemplo, uma reunião com hora marcada.

A mudança de paradigma no âmbito da análise e modelagem de viagens levou à identificação de padrões comportamentais complexos, a partir do relacionamento de grupo de variáveis como: características individuais e dos domicílios; restrições espaciais; características das atividades (intensidade e distribuição no meio urbano); e, atributos do sistema de transportes com os padrões de viagens urbanas.

Apesar de suas vantagens, a análise de viagens baseada em atividades ainda necessita de mais aprofundamentos, isso porque esse tipo de análise é alvo de diversas críticas. Dentre essas críticas, Davidson *et al.* (2007) destaca a relativa complexidade dos modelos de atividades: maior demanda por dados, o tempo despendido para elaboração dos procedimentos para implementação do modelo e, conseqüentemente, o custo associado para o desenvolvimento do modelo de atividades em regiões metropolitanas.

Apesar dessas limitações, a abordagem de viagens baseadas em atividades permite aos planejadores uma melhor compreensão de como os indivíduos relacionam as suas decisões de viagens em relação às suas características e restrições do ambiente urbano.

### **3.1.2 Análise de padrões de viagens baseadas em atividades**

Ao conjunto de atividades realizadas por um indivíduo, dentro de um determinado período de tempo, considerando os atributos de viagens (como o modo de transportes utilizado, tipo atividades e restrições) é dado pelo nome de padrão de viagem baseada em atividade (Adler e Bend-Akiva, 1979). Esse padrão fundamenta-se na teoria dos padrões de atividades de Chapin (1972; 1974). Essa teoria foi desenvolvida, basicamente, à partir de dois estudos, sendo o primeiro deles o desenvolvimento de um sistema de classificação de atividades sensível à forma como este aspecto dinâmico afeta padrões espaciais de atividades (Chapin, 1972). O segundo estudo refere-se a uma descrição da estrutura motivacional na qual os padrões de atividade são obtidos à partir da interação entre propensões individuais e oportunidades percebidas pelo indivíduo para engajar em atividades (Chapin, 1974).

Uma das conclusões obtidas por Chapin (1972) é que a classificação de sistemas de atividades é particularmente importante para o planejamento do uso de solo. Isso porque

os padrões de atividades tomam forma espacial na área metropolitana, particularmente em sistemas que presumem importância na estrutura e organização de uma determinada área.

Ao examinar e interpretar sistemas de atividades, sob o aspecto da interação de atividades, Chapin (1972) desenvolveu um método de classificação de atividades no qual considerava principalmente sistemas de atividades que tendem a ser recorrentes. No método de Chapin é proposta a distinção entre as atividades, que envolvem mudanças relativamente lentas daquelas que tendem a ser mais vulneráveis. Isso porque ele sugere que soluções relacionadas ao planejamento devem ser diferentes para cada tipo de atividade.

Para Chapin (1972), a área urbana (ou metropolitana) funciona como um centro de interação de atividades e acomoda um número de principais padrões de atividade e, cada um desses sistemas, envolve classes de outros subsistemas. Assim, as principais classes e agentes do sistema mais amplo podem ser classificados conforme o Quadro 3.1.

**Quadro 3.1.** Classificação do Sistema de Atividades proposta por Chapin (1972)

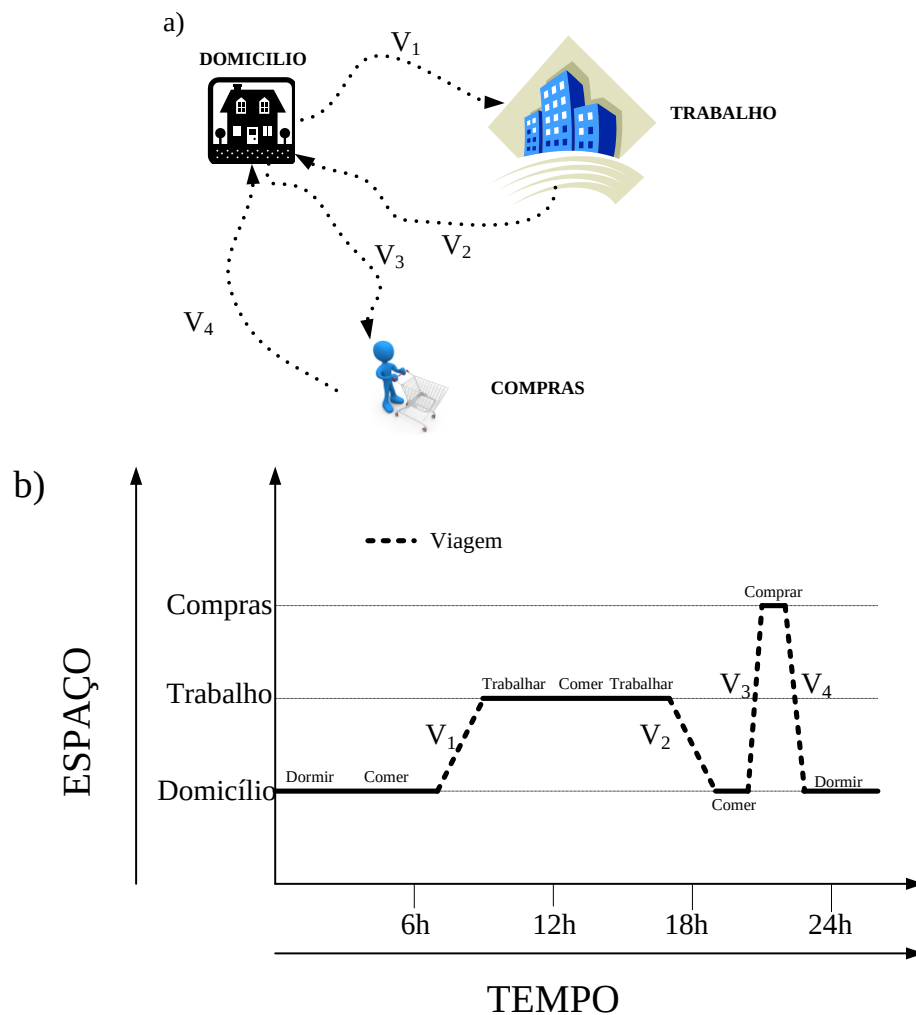
| <b>Agentes de Atividade</b> | <b>Tipos de Atividade</b>    | <b>Sistemas de Atividade</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Industria                   | Atividades Produtivas        | Atividades produtoras de bens (extração, processamento, comunicações, distribuição)<br>Atividades de prestação de Serviço (para indústrias, instituições, domicílios e indivíduos)                                                                                                                                                                                              |
| Instituições                | Atividade de bem-estar geral | Atividades de Desenvolvimento Humano (Educação, Religioso e Recreação)<br>Atividades de Serviço Comunitário Básico (Polícia, Bombeiro, Saneamento Básico, Coleta de Lixo e Tratamento de Resíduos Sólidos, etc.)<br>Atividade para o bem-estar de grupos especiais (Trabalho, Social, etc.)                                                                                     |
| Domicílios e Indivíduos     | Atividades Residenciais      | Atividades Geradoras de Renda<br>Criação dos Filhos e Atividades Familiares<br>Educação e Atividades de Desenvolvimento Intelectual<br>Atividades de Desenvolvimento Espiritual<br>Atividades Sociais<br>Recreação, Descanso e Lazer<br>Atividades em grupos<br>Serviço Comunitário, Voluntariado, Atividades Políticas<br>Atividades Associadas à comida, compras, saúde, etc. |

Fonte: Chapin (1972)



Cabe ressaltar que a classificação apresentada no Quadro 3.1 não é uma explanação completa de um sistema de classificação. Isso acontece porque o sistema de atividades indicados podem ser estendidos em cada um desses subsistemas. Além disso, essa classificação não é confinada a uma interação de sistemas discretos de domicílio, organização ou empresas, mas envolve interrelações empresa–organização, empresa-domicílio e organização – domicílio, que podem gerar o reagrupamento de sistemas e subsistemas de acordo com os agentes de interação.

Assim, a abordagem baseada em atividades toma como unidade básica de análise o *padrão de viagem/atividade*, definida como o padrão de comportamento representado pela viagem e atividade (ambos domiciliares e não domiciliares) num período de tempo específico (frequentemente um dia). Estes padrões viagens/atividades são referidos como padrões de atividades domiciliares e surgem da programação e execução de programas de atividades domiciliares, conforme esquema apresentado na figura 3.1(Jones *et al.*, 1983).



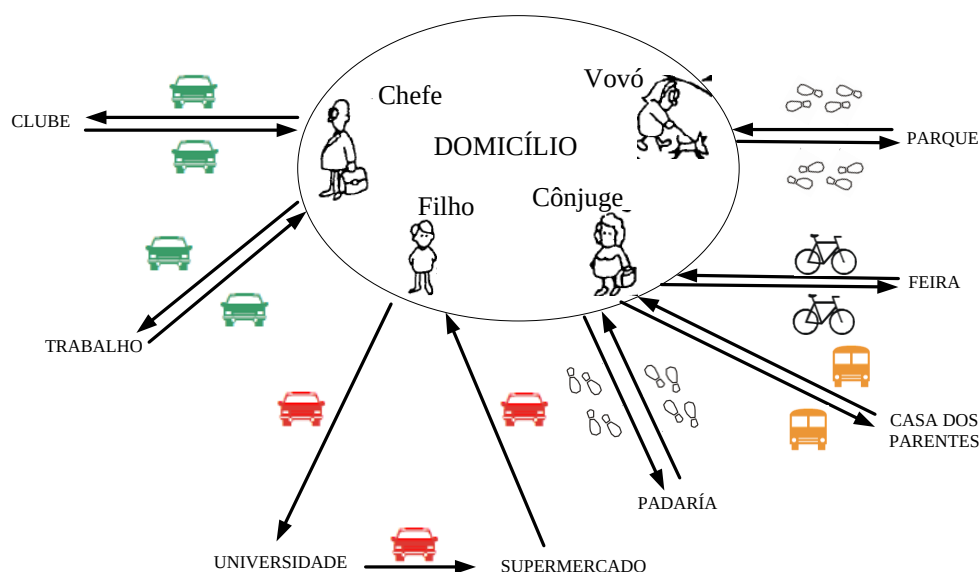
**Figura 3.1:** a) Representação de uma viagem, b) Esquema de sequência de viagens e atividades, adaptado de Jones *et al.* (1983).

A atividade é um elemento implícito no conceito de viagem, como pode ser observado na Figura 3.1. Contudo, nem todas as atividades necessariamente culminam em viagem. As atividades realizadas no domicílio, que não implicam em realização de deslocamentos são as “não viagens”, como por exemplo: trabalhar em casa (no caso de donas de casa), ou teletrabalho e teleaula, atividades cada vez mais populares devido ao advento das tecnologias de informação e comunicação, como a *internet*, aparelhos de fax e outros (Macnally, 2000).

As viagens diárias não são tão simples de entender, pois começam com pessoas se deslocando de casa para trabalhar ou para estudar e depois voltando para casa. Ou até antes de voltar a casa realizam viagens intermediárias. Cada viagem reflete escolhas de onde viver, onde trabalhar, quando voltar a casa, como se deslocar de casa para trabalho e, que viagens fazer ao longo do caminho (Crane, 2000).

### 3.1.2.1 Tipologia de padrões de viagem

A análise de padrões de atividades pode ser vista como um problema de classificação. Neste caso, a entrada é um conjunto de medidas que definem movimentos humanos (viagens). A saída, por sua vez, é a classificação destes movimentos dentro de um conjunto de categorias “natural” ou “predeterminada” (Recker, 1995). A Figura 3.2 exemplifica o complexo relacionamento entre viagens e atividades.

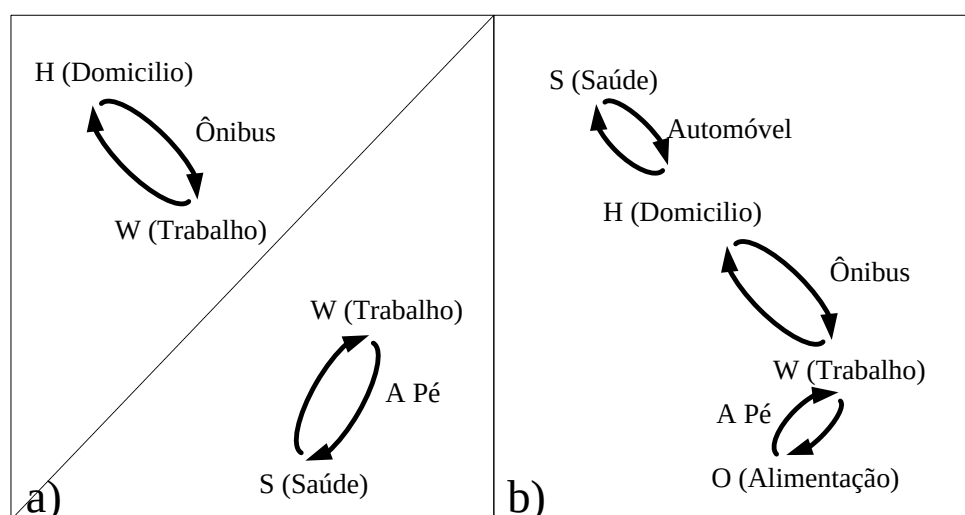


**Figura 3.2:** Relacionamento entre viagens e atividades por indivíduos de um domicílio.  
Fonte: Brog e Erl (1983)

Dentro da abordagem de viagens baseadas em atividades o padrão fica constituído de um conjunto de categorias, em que o começo é uma atividade principal. Geralmente o começo de um padrão é predeterminado na base do domicílio e o propósito da viagem pode ser classificado em quatro grupos: Trabalho, Escola, Lazer e, Outras Atividades.

O segundo tipo de padrões de viagens é a *cadeia de viagem* que representa o fenômeno de escolha de um indivíduo das atividades e viagens para todo um dia. Ao considerar o conjunto de atividades/viagens realizadas em um dia como unidade de análise do comportamento de viagem, estas são representadas pela ordenação cronológica de uma sequência de elementos, ou sequência de atividades/viagens. Por exemplo, na Figura 3.2 o padrão de viagem do filho tem a seguinte sequência: do domicílio viaja em carro para a universidade, da universidade viaja de carro para o supermercado e retorna para o domicílio utilizando o mesmo modo.

A inclusão da cadeia de viagem como unidade de decisão básica, que toma todas as atividades e viagens ocorridas entre a partida de casa e subsequente retorno, na análise da demanda de viagem passou a ser conhecida como abordagem baseada em *tours* (Figura 3.3).



**Figura 3.3:** a) Padrão de viagem simples; b) Padrão de viagem encadeadas. Fonte: elaboração própria.

Entre todas as tipologias de cadeia de viagens existentes, Primerano *et al.*(2008) sintetiza algumas considerações e define uma tipologia própria para cadeias de viagens:

- Cadeias de viagens começam e terminam no domicílio;
- A maioria das cadeias de viagem ocorrem em função de uma atividade âncora de caráter fixo, tendo tempo e espaço pré definidos (por exemplo, como atividade mais comum é o trabalho);
- Segmentos de viagem secundários são feitos antes, durante e após a atividade primária.

A tipologia de Primerano *et al.* (2008) considera a ligação da atividade domicílio (H) com outras atividades principais (P) e atividades secundárias (S). Para a cadeia de viagens há um propósito primário, entretanto poderia haver um número de atividades secundárias ( $\{S\}$ = ao conjunto de atividades secundárias). A tipologia proposta fornece um modelo que irá formar muitos tipos de encadeamento de viagens, dependendo da combinação de tipo de atividades primária e secundária. Na tabela 3.1 apresenta-se as formas de agrupar os padrões de viagens baseadas em atividades, conforme a tipologia proposta de Primerano *et al.* (2008).

**Tabela 3.1:** Tipologias de padrões de viagens

| <b>Tipos de Padrão de viagem</b>           | <b>Configuração</b>                         |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------|
| <b>Padrão de viagem simples</b>            |                                             |
| Domicílio - Atividade principal            | H - P                                       |
| Atividade Principal - Domicílio            | P - H                                       |
| Atividade Principal - Atividade Secundária | P - S                                       |
| Atividade Secundária - Atividade Principal | S - P                                       |
| <b>Padrões de viagens encadeados</b>       |                                             |
| Cadeia Simples                             | H - P - H                                   |
| Complexa para principal                    | H- $\{-S-\}$ -P-H                           |
| Complexa da principal                      | H-P- $\{-S-\}$ -H                           |
| Complexa para e da principal               | H- $\{-S-\}$ -P- $\{-S-\}$ -H               |
| Complexa na principal                      | H-P- $\{-S-\}$ -P-H                         |
| Complexa para, de e na principal           | H- $\{-S-\}$ -P- $\{-S-\}$ -P- $\{-S-\}$ -H |

H= atividade domicílio (H), P= atividades principais (P), S= atividades secundárias (S)

## **3.2 FATORES INTERVENIENTES DA EXPANSÃO URBANA NOS PADRÕES DE VIAGENS BASEADAS EM ATIVIDADES**

### **3.2.1 Fatores da expansão urbana que influenciam diretamente os padrões de viagens**

Os primeiros fatores a serem relacionados aos padrões de viagens são a densidade e sua distribuição na área urbana. Densidades baixas e dispersas estimulam maior dependência do veículo privado e geram maiores distâncias de viagem. Densidades altas e concentradas, estimulam viagens curtas e maior uso de modos não motorizados e de transporte público (Friedman et al., 1994, Cervero, 1998; Duany et al., 2000; Steiner, 1994 apud Travisi et al., 2010). Para Cervero e Kockelman (1997) e Ewing (1997) os maiores impactos nos padrões de viagens, além dos fatores socioeconômicos, ocorrem em função de três fatores da estrutura urbana, sendo eles: a densidade (ou a concentração, crescimento e distribuição populacional ou residencial); a diversidade (que é o uso de solo misto e ocupação urbana); e, o desenho (ou o uso de solo misto e ocupação urbana).

Fatores da expansão urbana relacionados diretamente com a densidade (especificamente baixas densidades) e com a diversidade do uso de solo (residenciais *versus* industriais) influenciam de uma forma causal na formação dos padrões de viagens, tal como apresentado por diversos autores (ver Frank e Pivo, 1994; Camagni *et al.*, 2002; Ewing *et al.* 2002; e, Travisi *et al.*, 2010).

Banister (2008) afirma que a gestão do crescimento urbano produz mudanças nos padrões de viagens de distintas formas, tanto como pelo incremento das densidades e suas concentrações, quanto pela localização das residências, como também pelo desenvolvimento misto de uso de solo e pelo desenvolvimento orientado ao transporte público urbano.

### **3.2.2 Fatores da expansão urbana, modelo policêntrico e sua influência nos padrões de viagens baseadas em atividades**

Estudos sobre a expansão urbana e o comportamento de viagens evidenciam que a forma dispersa, de baixa densidade e descentralizada das cidades americanas estimula a dependência do uso de veículo privado. As formas densas e mais centralizadas (monocêntricas) das cidades européias, japonesas ou chinesas estimulam viagens curtas a pé, por bicicleta e por transporte público urbano (Cervero, 1998; Guliano e Narayan, 2003; Rodrigue, J.P., 2006). Mas na maioria das cidades atuais, a expansão urbana segue a nova

forma policêntrica. Dupuy (1995) considera que a forma policêntrica influencia os padrões de viagens com a formação de novas ocupações urbanas, as quais são origem e destino de múltiplas viagens, gerando problemas de transporte similares aos existentes no centro da cidade.

Embora alguns autores (Gordon *et al.*, 1989; Gordon e Richardson, 1991 e Wachs *et al.* 1993 *apud* García-Palomares, 2010) propõem que a descentralização dos empregos no modelo policêntrico pode reduzir as distâncias e tempos de viagens, e que existe pouca evidência e concordância dos efeitos da descentralização nos tempos e distâncias de viagens.

García-Palomares (2007) defende que os efeitos da descentralização dos empregos e da suburbanização da população são distintos, e dependem do tipo de configuração da expansão urbana. O modelo policêntrico pode levar ao incremento das viagens locais em alguns setores, e à redução das viagens locais em outras, o mesmo efeito pode ser observado na distância e tempos de viagens.

O estudo de Schwanen *et al.* (2001) permite entender que os efeitos do modelo policêntrico e a expansão urbana nos padrões de viagens são dependentes da escala da cidade. A descentralização e o desenvolvimento de estruturas policêntricas levam ao incremento do uso de veículo privado, mas não significa que as distâncias de viagens ao trabalho aumentam com o desenvolvimento da estrutura urbana policêntrica.

### **3.3 MODELAGENS EMPÍRICAS DA RELAÇÃO ENTRE EXPANSÃO URBANA E PADRÕES DE VIAGENS**

Nesta seção são apresentadas algumas modelagens empíricas encontradas na literatura que foram desenvolvidas com o intuito de prover subsidio ao entendimento da relação entre a expansão urbana e os padrões de viagens observados. A maioria das pesquisas revisadas são de países europeus, asiáticos e americanos. Nenhum estudo sobre esta abordagem foi encontrado na literatura latino-americana.

Cervero e Kockelman (1997) construíram modelos lineares para prever a quantidade de milhas percorridas pelos membros de uma família em veículo particular, e modelos da

probabilidade de viagem em veículos próprios compartilhados e viagem em outros veículos. O comportamento de viagens observado foi para viagens a trabalho e viagens para outras atividades. Três fatores foram analisados: densidade, diversidade e desenho. Os resultados indicaram a influência dos fatores analisados na demanda de viagens, mas a relação entre as variáveis analisadas foi considerada como associativa e não causal.

Um estudo comparativo entre Estados Unidos e Inglaterra foi elaborado por Giuliano e Narayan (2002). O objetivo era comparar como os fatores de forma urbana das expansões urbanas influenciavam nos padrões de viagens, além dos fatores socioeconômicos. Modelos de regressão linear foram construídos para comparar os fenômenos. O primeiro grupo de modelos tinha como variável dependente a quantidade de viagens no dia, e o segundo grupo de modelos tratam-se do total de milhas percorridas. Na relação de densidades residenciais e distância de viagem os resultados para os Estados Unidos foram os esperados, mas no caso de Inglaterra não foi encontrada nenhuma relação direta entre a densidade residencial e a distância de viagem. Esse resultado pode ter ocorrido em função do serviço de transporte público urbano extensivo nas áreas residenciais mais densas em Londres.

Travisi *et al.* (2010) analisaram empiricamente a relação entre expansão urbana e os viagens diárias ao trabalho para sete áreas urbanas de Itália. Também foi quantificado um índice de impacto de mobilidade baseado nos dados entre 1981 e 1991. A modelagem de relações causais entre o desenvolvimento espacial e fatores explicativos relacionados a mudanças na densidade urbana foram analisadas através da técnica multivariada de regressão de seções cruzadas. Também foi construído um modelo de cadeia causal (*causal path analysis*) com variáveis exógenas de expansão urbana para explicitar o impacto na mobilidade urbana. Os resultados empíricos confirmaram as expectativas de que a expansão urbana tinha relação com maior intensidade de viagens e impactos ambientais.

Schwanen *et al.* (2001) analisaram os impactos das estruturas urbanas monocentricas e policentricas na escolha modal e as distâncias de viagem para diferentes atividades na Holanda. Foram diferenciados quatro tipos de sistemas urbanos: um monocentrico, e três tipos de sistemas policentricos. Modelos de regressão logística e modelos de regressão multivariada foram utilizados para estabelecer as relações entre as variáveis. Os resultados

apresentaram uma mistura de impactos no comportamento de viagens enquanto a escolha modal, mas em termos de distância de viagem os resultados apresentaram uma relação forte.

Para um estudo específico García-Palomares (2010) analisou a relação entre a expansão urbana e as viagens ao trabalho para a área metropolitana de Madrid-Espanha. Três fatores da expansão urbana foram utilizados (expansão metropolitana, densidade baixa e trabalho, infraestrutura para atividades de lazer) e relacionados às principais características da mobilidade (fluxos na rede, escolha modal, e tempo de viagem). Modelos de regressão lineal múltipla foram construídos para análise das relações entre os fatores de expansão urbana e de mobilidade. Os resultados demonstraram que os fatores que definem a morfologia da nova metrópole se relacionam com o incremento das distâncias de viagem e uso do carro particular.

**Tabela 3.2.** Resumo das modelagens empíricas realizadas

| Fonte                         | Técnica                                         | Dados                                                                            | Variáveis socioeconômicas consideradas | Principais descobertas                                                                                                                                                            |
|-------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cervero e Kockelman (1997)    | -Regressão linear                               | Diário de viagens e dados de uso de solo da área de "San Francisco Bay" 1990     | SIM                                    | Influência dos fatores "densidade, diversidade e desenho" na demanda de viagens, relação associativa                                                                              |
| Guliano e Nayaran (2002)      | -Regressão linear                               | U.S. Nationwide Personal Travel Survey<br>U.K. 1995/97 National Transport Survey | SIM                                    | Relações diretas entre densidade residencial e distâncias de viagem no caso de U.S.<br>No caso de U.K. a relação de densidades residências com distância de viagem não foi válido |
| Travisi <i>et al.</i> (2010)  | -Regressão<br>-Causal analysis path             | Censo de viagens de Italia período 1981 - 1991                                   | NÃO                                    | Resultados empíricos confirmaram as expectativas de que a expansão urbana fica relacionada com maior intensidade de viagens e impactos ambientais                                 |
| Garcia-Palomares (2010)       | -Regressão múltipla                             | Censo 2001 - Municipio de Madrid                                                 | SIM                                    | Fatores da morfologia da expansão ficam relacionados com o incremento da distância de viagens e uso de carro particular                                                           |
| Schwanen <i>et al.</i> (2001) | -Regressão multivariada<br>-Regressão logística | Dutch National Travel Survey 1998                                                | SIM                                    | O tipo de sistema urbano monocentrico ou policentrico tem relação com a distância de viagem                                                                                       |



### 3.4 MODELAGEM DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS APLICADAS AO COMPORTAMENTO DE VIAGENS

#### 3.4.1 Modelagem de equações estruturais (*structural equation modelling*)

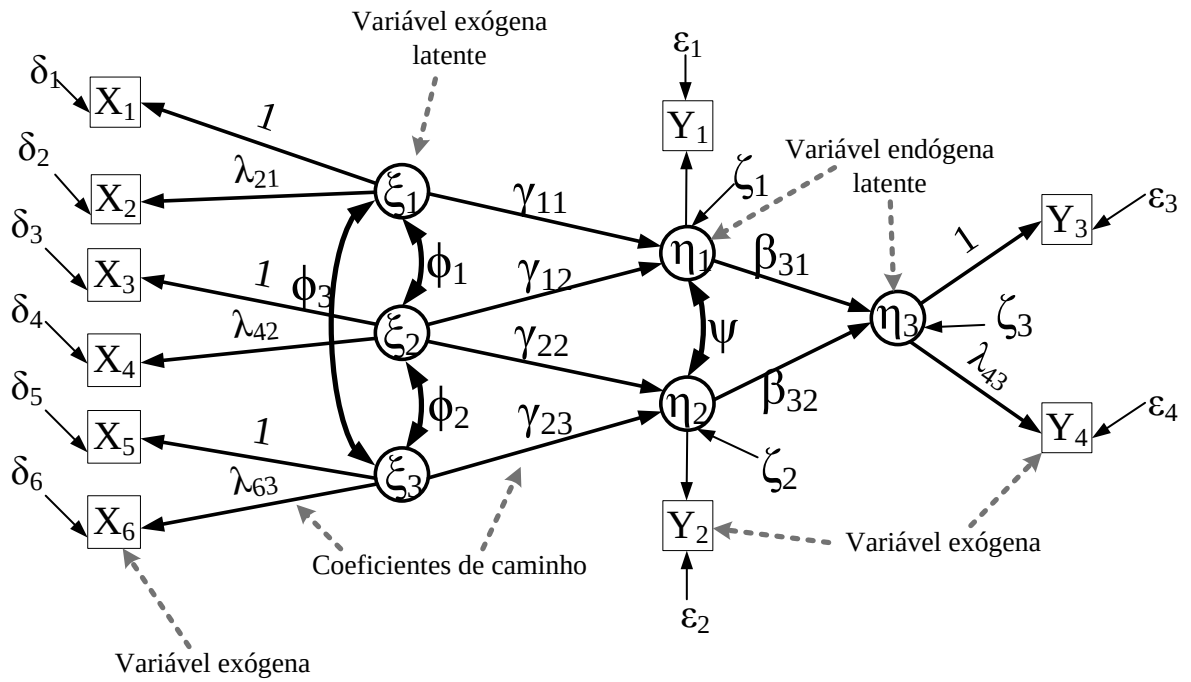
Modelagem de equações estruturais (MEES) ou “*Structural Equation Modelling*” (SEM) é uma técnica que pode lidar com um grande número de variáveis endógenas e exógenas, e variáveis latentes (não observadas) especificadas como combinações lineares das variáveis observadas. Regressão, equações simultâneas, análise de caminhos causais, e variações de análise fatorial e análise de correlação canônica são casos especiais de MEES. O método é confirmatório, ao invés de método exploratório, porque o modelador tem que construir um modelo em termos de um sistema de efeitos unidirecional de uma variável sobre a outra (Golob, 2008).

##### 3.4.1.1 Formulação de equações estruturais

A técnica SEM representa modelos teóricos através de diagramas de caminhos (Figura 3.4) formados por variáveis latentes independentes ( $\xi$ ) e variáveis latentes dependentes ( $\eta$ ). Nesses diagramas, as variáveis  $\xi$  e  $\eta$  são mensuradas indiretamente por variáveis independentes manifestas ( $x$ ) e dependentes manifestas ( $y$ ). O diagrama de caminhos é uma representação gráfica de um sistema de equações em que as setas indicam a direção das relações causais entre as variáveis (Bollen, 1989).

As relações representadas num diagrama de caminhos correspondem às equações 3.1, 3.2 e 3.3 (Latif, 2000) que são chamadas respectivamente modelo estrutural, modelo de mensuração de X e modelo de mensuração de Y (Latif, 2000; Jöreskog; Sörbom, 2003). O modelo estrutural (equação 3.1) representa as relações entre as variáveis latentes independentes e dependentes, também conhecidas como construtos exógenos e construtos endógenos (Hair *et al.*, 2005). Nos diagramas de caminhos, esse modelo corresponde à rede formada exclusivamente por elementos circulares.

Os modelos de mensuração (equações 3.2 e 3.3) representam as relações entre as variáveis latentes e suas correspondentes “manifestações” X ou Y. O modelo de mensuração de X corresponde à rede interligando os elementos circulares  $\xi$  e os elementos retangulares X. O modelo de mensuração de Y corresponde à rede de elementos circulares  $\eta$  e retangulares Y.



**Figura 3.4:** Diagrama de caminhos método SEM

$$\eta = \alpha + \eta \cdot B + \Gamma \cdot \xi + \zeta \quad (3.1)$$

Onde:

$\eta$  = Vetor que representa as variáveis latentes endógenas e é de ordem  $m \times 1$

$B$  = Matriz de coeficientes de  $m \times n$  que relaciona os  $n$  fatores exógenos com os  $m$  fatores endógenos

$\Gamma$  = Matriz de coeficientes de  $m \times m$  que relaciona os  $m$  fatores endógenos um com outro

$\xi$  = Vetor de ordem  $n \times 1$  e representa as  $n$  variáveis exógenas latentes

$\zeta$  = Vetor de resíduos de  $m \times 1$  representa os erros na equação que relaciona  $\eta$  e  $B$

$$x = \tau_x + \Lambda_x \cdot \xi + \delta \quad (3.2)$$

$$y = \tau_y + \Lambda_y \cdot \xi + \delta \quad (3.3)$$

O objetivo do modelo SEM é a estimação dos coeficientes das equações lineares 3.1, 3.2 e 3.3, nos quais:  $\alpha$ ,  $\tau_x$  e  $\tau_y$  representam os vetores dos interceptos;  $\delta$  e  $\varepsilon$  os vetores de erros de mensuração;  $\zeta$  o vetor de resíduos do modelo estrutural;  $\Lambda_x$  e  $\Lambda_y$  as matrizes de coeficientes de impactos das variáveis  $\xi$  em  $X$  e  $\eta$  em  $Y$ ; e,  $\Gamma$  e  $B$  as matrizes dos coeficientes de efeitos diretos de  $\xi$  em  $\eta$  e das inter relações entre os construtos endógenos

( $\eta$ ). Na figura 3.4 observa-se, ainda, um conjunto setas curvas bidirecionais representando as correlações lineares entre as variáveis latentes, independentes e dependentes ( $\phi$  e  $\psi$ ).

#### 3.4.1.2 Considerações para Aplicação de SEM

Uma das principais considerações para aplicação da modelagem SEM é a concepção do modelo teórico, porque é considerada uma análise confirmatória. A teoria é necessária para especificar relações de causalidade, modificações para as relações propostas, e muitos outros aspectos da estimação de um modelo (Hair *et al.*, 2001).

A partir de uma perspectiva prática, uma abordagem baseada na teoria de SEM é necessária porque todos os relacionamentos devem ser especificados pelo pesquisador antes de o modelo ser estimado. Em outras técnicas de análise multivariada, existe a possibilidade de especificar um modelo básico e permitir que os valores padronizados nos programas estatísticos realizem as estimativas restantes. Esta opção de usar valores padronizados não é possível com o SEM. Além disso, qualquer modificação do modelo deve ser feita através de ações especificadas pelo pesquisador. Assim, quando enfatizada a necessidade de justificação teórica, enfatiza-se também que o SEM é um método de confirmação guiado mais pela teoria do que por resultados empíricos (Paiva Jr, 2004).

A representação de um conjunto de relações em um diagrama caminho normalmente envolve: uma combinação de dependência e as relações entre os construtos exógenos e endógenos. O pesquisador pode especificar qualquer combinação de relações que tenha suporte teórico para as perguntas da pesquisa em mãos.

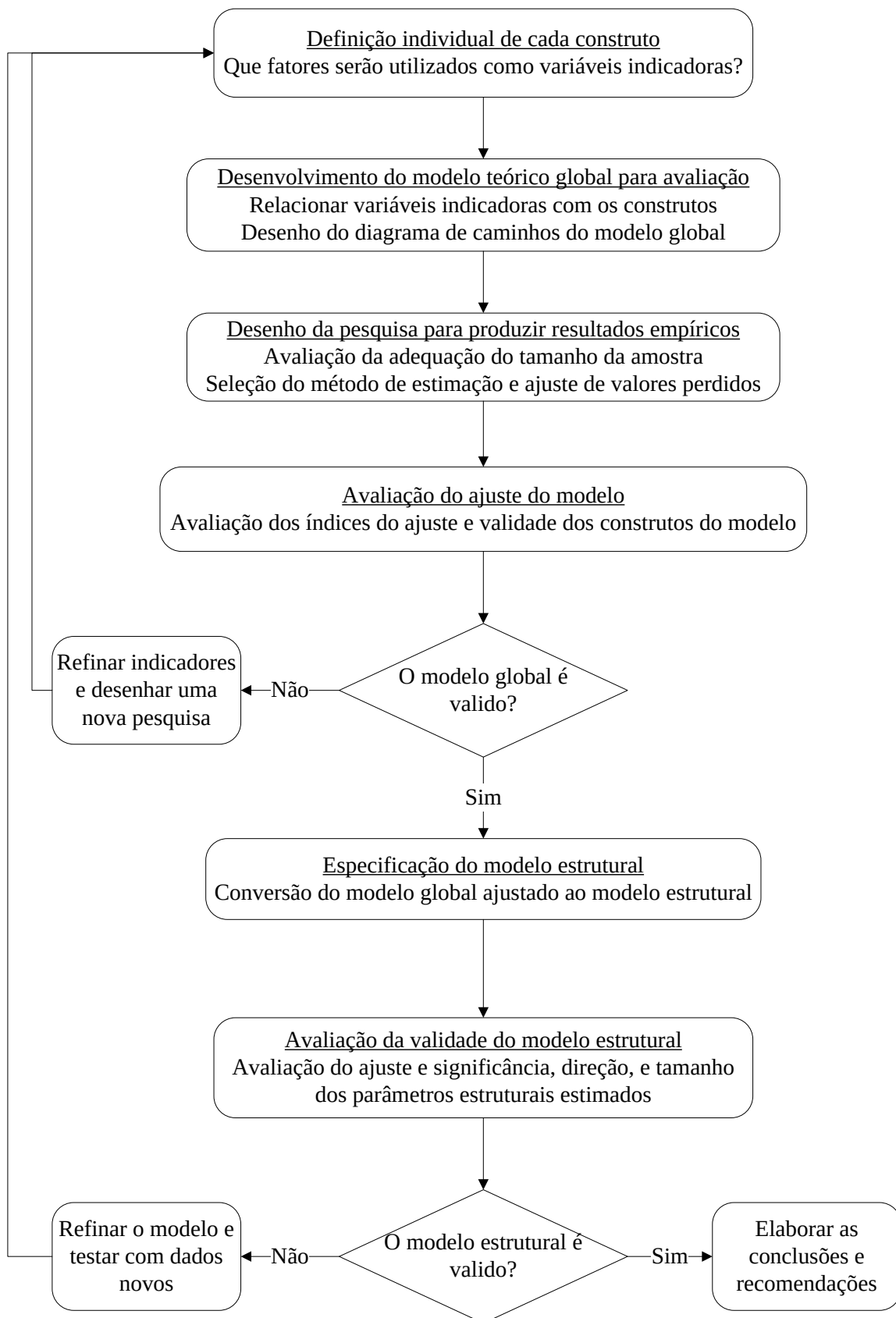
Talvez o tipo mais forte de inferência teórica desenhada seja uma relação de dependência baseada em causalidade. A inferência causal envolve uma hipótese de relação de causa e efeito. A partir da sequência causal entre as variáveis é possível explicar como alguma causa determina um efeito dado. Em termos práticos, o efeito deve ser parcialmente gerenciado com algum grau de certeza. Portanto, as relações de dependência às vezes podem ser hipoteticamente estabelecidas como causais. No entanto, simplesmente pensar que uma relação de dependência é causal não garante que seja assim. Como tal, o termo causal deve ser utilizado com grande cuidado em SEM (Paiva Jr, 2004).

#### 3.4.1.3 Processo de modelagem

Métodos sistemáticos podem ser utilizados para aplicar a técnica de modelagem SEM. Diversos autores sugerem a utilização de etapas, ou passos, para a construção de modelos SEM. Dentre estes autores destacam-se Iriondo *et al.* (2003), que sugerem a utilização de seis passos; e Kelloway (1998), que propõe a utilização de cinco passos. Mas o método mais robusto para aplicação seria o de seis etapas, sugerido por Hair *et al.* (2010).

De acordo com Hair *et al.* (2010), existem seis estágios para a modelagem em SEM, conforme se verifica no fluxograma da Figura 3.5, tendo em vista o melhor aproveitamento dos benefícios do uso de modelos estruturais e de mensuração de forma simultânea, cada um desempenhando papéis diferentes na análise geral. Assim sendo, os seis estágios seriam: i) definição individual de cada construto; ii) desenvolvimento do modelo teórico global para avaliação; iii) desenho da pesquisa para produzir resultados empíricos; iv) avaliação do ajuste do modelo; v) especificação do modelo estrutural; vi) avaliação da validade do modelo estrutural.

Uma vantagem obtida à partir da utilização de modelos estruturais é a possibilidade de melhoramento da estimação estatística e da admissão de existência de erro de mensuração. Em linhas gerais, a teoria estatística preconiza que um coeficiente de regressão é, na realidade, resultado da composição de dois elementos: i) o coeficiente estrutural verdadeiro entre a variável dependente e a independente, e; ii) a confiabilidade da variável preditora (Hair *et al.*, 2010).



**Figura 3.5:** Método de seis etapas para SEM. Fonte: Hair *et al.* (2010)

### **3.4.2 Modelagem de demanda de transporte com dados de seções cruzadas**

Pendyala (1998) pesquisou a dependência do SEM sobre a homogeneidade de um processo causal de comportamento de viagens em toda a população de interesse. Os resultados são apresentados a partir dos modelos estimados com dados de simulação gerados a partir de estruturas causais concorrentes. Estas estimativas foram insuficientes na presença de heterogeneidade estrutural.

Axhausen *et al.* (2001) testaram hipóteses causais entre a posse de automóvel, a propriedade do passe de uso modal na Suíça. Os resultados confirmaram o predomínio do automóvel, que influenciava as demais variáveis. No entanto, o uso do automóvel era complementar ao uso de transporte público urbano através de ligações diretas positivas à posse de passe temporário e uso de transporte público urbano.

Simma (2000) e Simma *et al.* (2001) pesquisaram na Áustria os efeitos da estrutura espacial na posse do carro, viagens por modo e distância da viagem, utilizando diário de viagem e os dados ambientais. Medidas locais de acessibilidade demonstraram ser mais influente do que as medidas de acessibilidade municipais e regionais, desenvolvidas a partir de modelos gravitacionais e características de uso do solo.

Travisi *et al.* (2010), apresentaram um modelo de SEM causal que relacionou a expansão urbana com os impactos produzidos pelos deslocamentos para 7 cidades italianas. Os resultados indicaram que a expansão urbana (com baixa densidade e segregação espacial das atividades produtivas e residenciais) contribuiu para movimentar as oportunidades de trabalho em áreas periféricas. Isto reduz a capacidade de autosuficiência das cidades, de modo que os níveis de congestionamento praticamente orientam os locais de emprego para as periferias (com o aumento de demanda de viagens), configurando novos padrões urbanos.

### **3.4.3 Modelagem da demanda de transporte baseada em atividades**

Aplicações de SEM na modelagem de demanda conjunta para a duração da atividade e viagens podem ser consultadas em Kitamura *et al.* (1992) e Golob *et al.* (1994). Resultados confirmaram um *feedback* negativo de tempo para atividades que não são de trabalho. Em

outras palavras, indivíduos com trajetos mais longos têm menos tempo disponível para atividades discricionárias.

Lu e Pas (1999) apresentaram um SEM de atividades dentro do domicílio, fora do domicílio (por tipo), viagens (mensuradas de várias maneiras) e condições socioeconômicas. A estimativa foi de Máxima Verossimilhança (*Maximum Likelihood* ML) e a ênfase foi dada pela interpretação dos efeitos diretos e indiretos. Os dados do diário de atividades para a Grande Portland, na Região Metropolitana de Oregon-EU foram utilizados na pesquisa.

Golob e McNally (1997) modelaram as interações dos chefes de família na participação de atividades. As atividades foram divididas em três tipos, e os resultados de SEM foram comparados usando os métodos de estimação Máxima Verossimilhança e WLS. Os autores concluíram que deve ser utilizado o método WLS para estimar SEM aplicada em dados de participação em atividades, sempre que for possível.

Gould e Golob (1997) e Gould *et al.* (1998) utilizaram SEM para investigar como o tempo de viagem poupado por trabalhar no domicílio, ou fazer compras perto de casa, pode ser convertido para outras atividades e outras viagens. Determinados segmentos populacionais foram encontrados para exibir a demanda latente para atividades. A estimativa por Máxima Verossimilhança foi aplicada aos dados de Portland.

Golob (1998) desenvolveu um conjunto de SEM de: posse de veículo, participação em atividade (por tipo de atividade); despesas do tempo de viagem (por propósito viagem); e, dados agregados de milhas de viagem por veículo. A principal distinção deste trabalho foi a inclusão de uma variável de escolha discreta de posse de automóvel por família, juntamente com as variáveis de uso do tempo e de geração de distância em um único modelo SEM.

### **3.5 TÓPICOS CONCLUSIVOS**

Com base na revisão da literatura, é possível afirmar que existe uma influência de fatores da expansão urbana e socioeconômicos na formação dos padrões de viagens baseadas em atividades dos indivíduos. Tais fatores, segundo os estudos revisados, guardam uma

relação linear com o comportamento de viagens (escolha do modo, distância percorrida, atividade principal).

A partir daí entende-se que o processo de expansão urbana e seus respectivos fatores influenciam no comportamento do indivíduo para a formação dos padrões de viagens baseadas em atividades. Portanto, é necessário também entender o desenvolvimento da expansão urbana a fim de modelar a sua influência nos padrões de viagens baseadas em atividades. Assim, a aplicação de modelos que permitem entender o processo da expansão urbana e testar as relações dos fatores com os padrões de viagens serão necessários à condução do presente estudo.

Por ter aplicação ampla nas ciências do comportamento, a utilização da SEM como ferramenta de modelagem já se mostra muito promissora no que diz respeito à captura de intenções comportamentais, comportamento atual e especificação de testes de alternativas de relações de causalidade em comportamento para viagens (Golob, 2003). Portanto o próximo capítulo apresentará a formulação do modelo e seu método de aplicação.



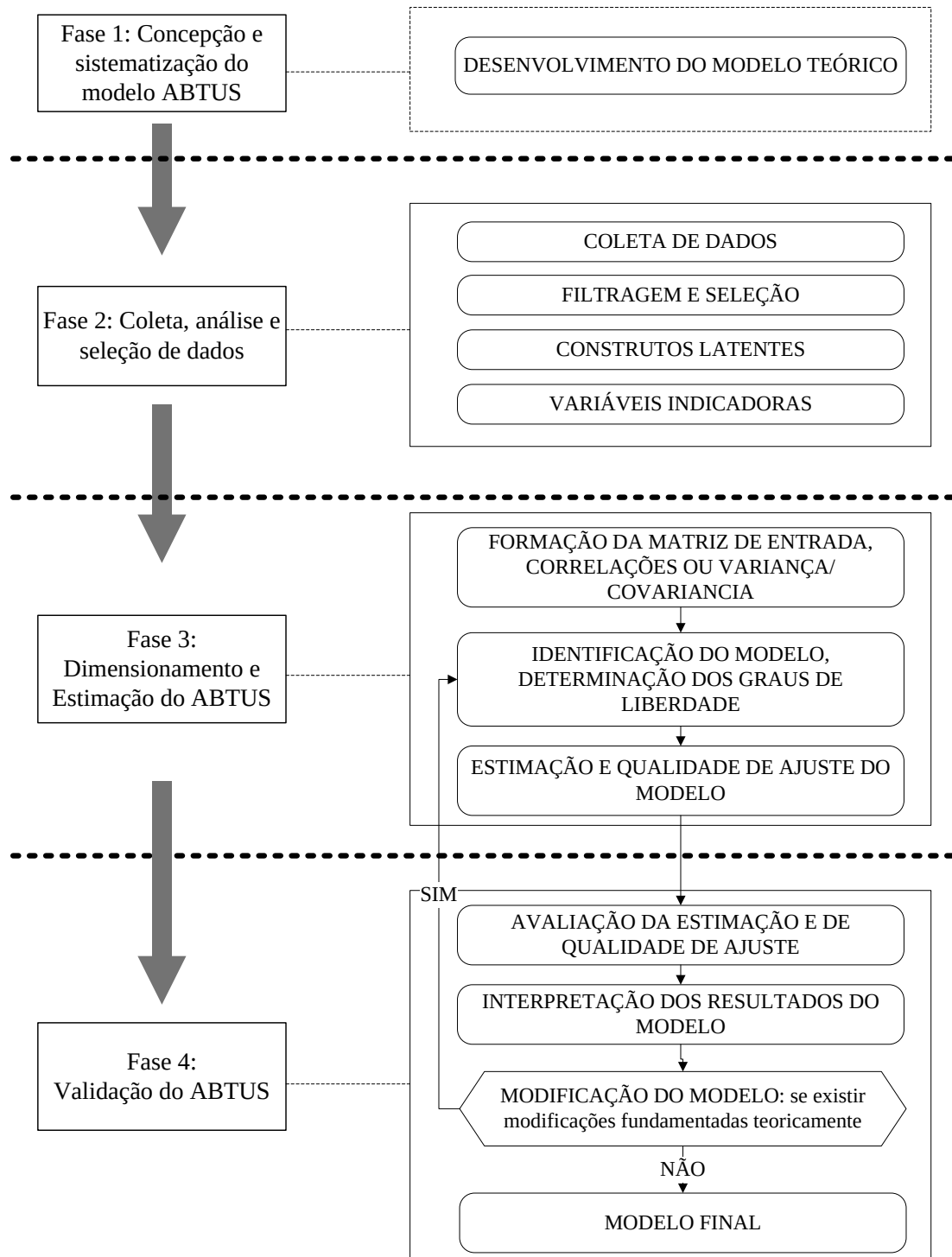
## **4. MÉTODO DE MODELAGEM DA EXPANSÃO URBANA E PADRÕES DE VIAGENS**

O método para a modelagem da expansão urbana e padrões de viagens baseadas em atividades, desenvolvido para esse estudo, foi obtido à partir da junção de teorias que alicerçam esses dois temas, segundo a revisão bibliográfica. Como foi explanado no Capítulo 2, existe uma relação de interdependência entre expansão urbana e transporte; em outras palavras, a expansão urbana fomenta mudanças no sistema de transporte, e o transporte fomenta o desenvolvimento físico e econômico durante o processo de expansão urbana. Já no Capítulo 3, constatou-se que fatores da expansão urbana têm uma influência direta em padrões de viagens baseadas em atividades, sendo portanto possível formular um modelo a fim de investigar essa relação. Além disso, discorreu-se acerca de equações estruturais, que têm sido utilizadas para a análise da demanda de transporte, inclusive em estudos que focam a abordagem de comportamento de viagens baseadas em atividades.

Assim, a modelagem que adota equações estruturais permite representar a relação entre expansão urbana e os padrões de viagens considerando os fatores de influência e as restrições espacial-temporal fundamentais nesta relação, sendo úteis para responder ao objetivo principal desse trabalho, bem como comprovar a hipótese levantada.

Com base nestes pressupostos, o presente capítulo apresenta o método para a modelagem da expansão urbana e padrões de viagens baseadas em atividades. Primeiramente, serão estabelecidas de forma geral as suposições teóricas para a formulação da modelagem da expansão urbana e dos padrões de viagens baseadas em atividades, fazendo uso da técnica de equações estruturais. Para isso, na seção 4.2 são feitas as suposições teóricas, fundamentadas na revisão bibliográfica dos capítulos 2 e 3, sobre as quais será baseada a modelagem. Na seção 4.3 serão apresentadas as definições básicas para a formulação do modelo Activity-Based Travels of Urban Sprawl (ABTUS). O modelo ABTUS é descrito na seção 4.4.

Posteriormente, na seção 4.5 são apresentadas as fases de procedimentos do método de aplicação que torna possível a modelagem fazendo uso da técnica equações estruturais. A estrutura do método, assim como as fases que o constituem, se apresenta na Figura 4.1.

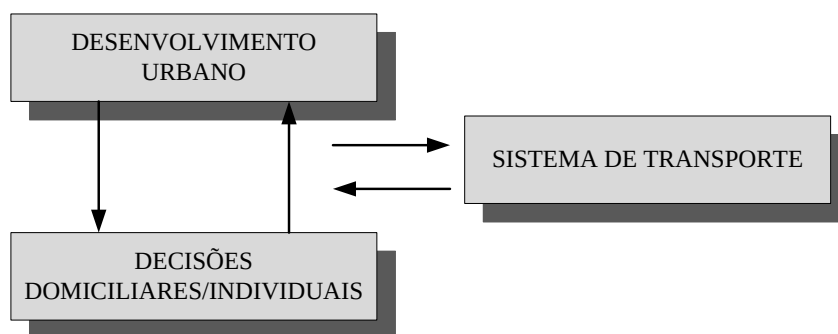


**Figura 4.1:** Estrutura do método elaborado para aplicação do MPEPUV

#### 4.1 PRESUPOSTOS TEORICOS DO MODELO DE EXPANSÃO URBANA E PADRÕES DE VIAGENS (MEUPV)

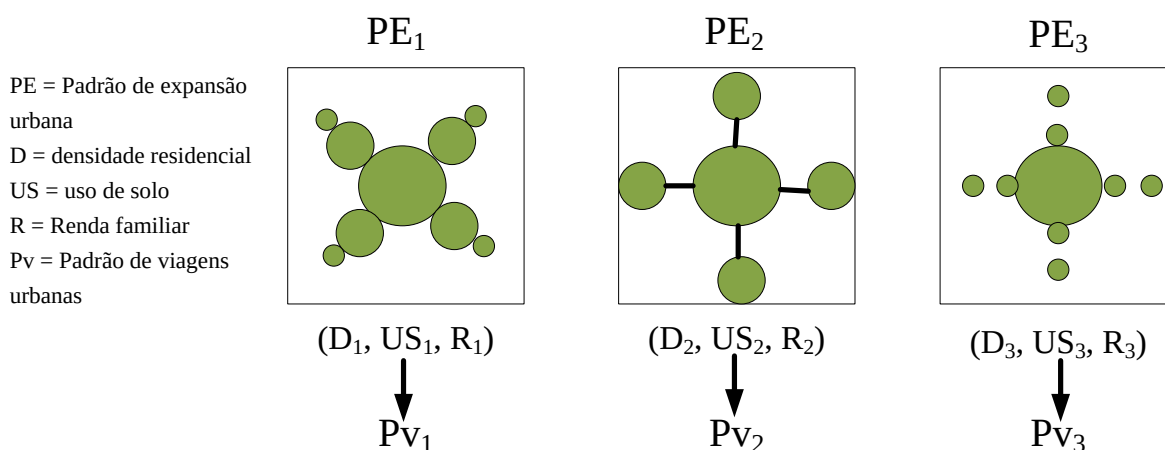
Á partir da revisão bibliográfica foi identificada uma estrutura adequada à modelagem da expansão urbana e padrões de viagens baseadas em atividades. Essa estrutura deve ser desenvolvida com base em algumas suposições teóricas, que são apresentadas a seguir:

- As características da configuração urbana (sistema de atividades, condições de uso do solo) influenciam diretamente as decisões individuais e domiciliares (Figura 4.2). A interrelação dessas características altera as decisões individuais, que afetam o desempenho do sistema de transporte (Bowman, 1995).



**Figura 4.2:** Estrutura das decisões de viagens e desenvolvimento urbano. Fonte: Taco, 2005

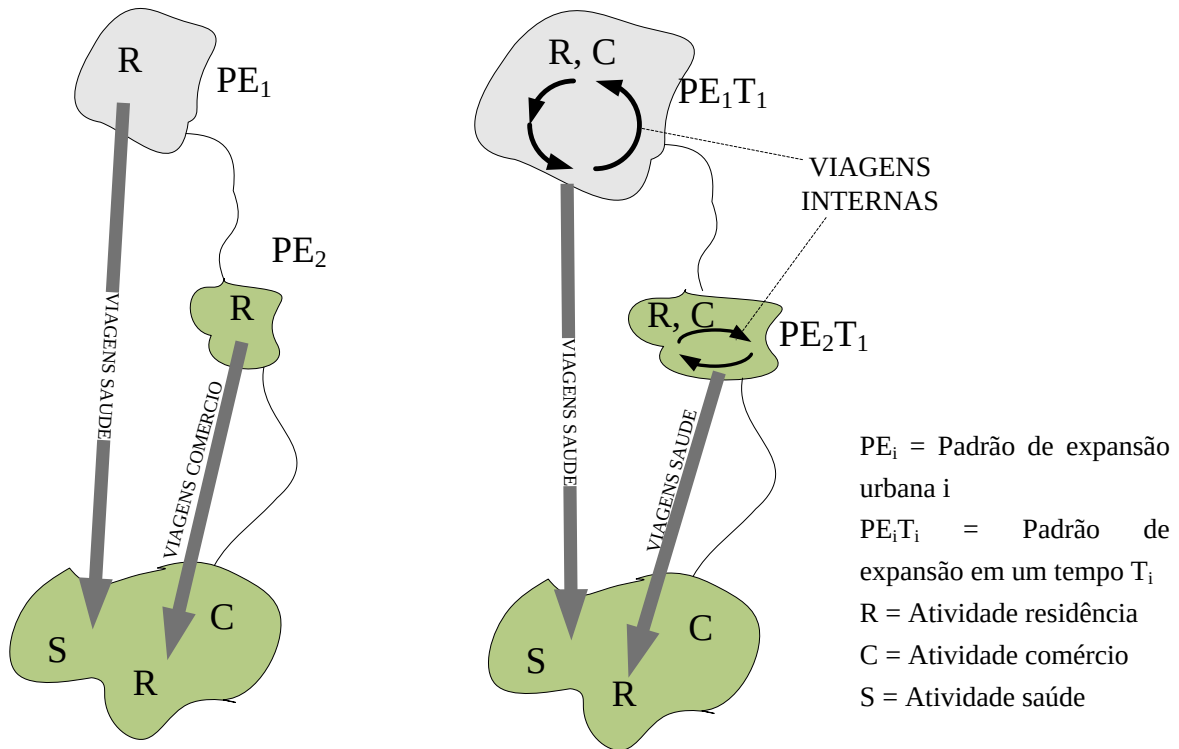
- Distintos padrões de expansão urbana geram distintos padrões de viagens urbanas. Os fatores do tipo de expansão urbana e fatores sócioeconômicos influenciam na geração dos padrões de viagens urbanas. A Figura 5.3 ilustra o conceito apresentado.



**Figura 4.3** Representação padrão de expansão urbana – padrão de viagens urbanas.

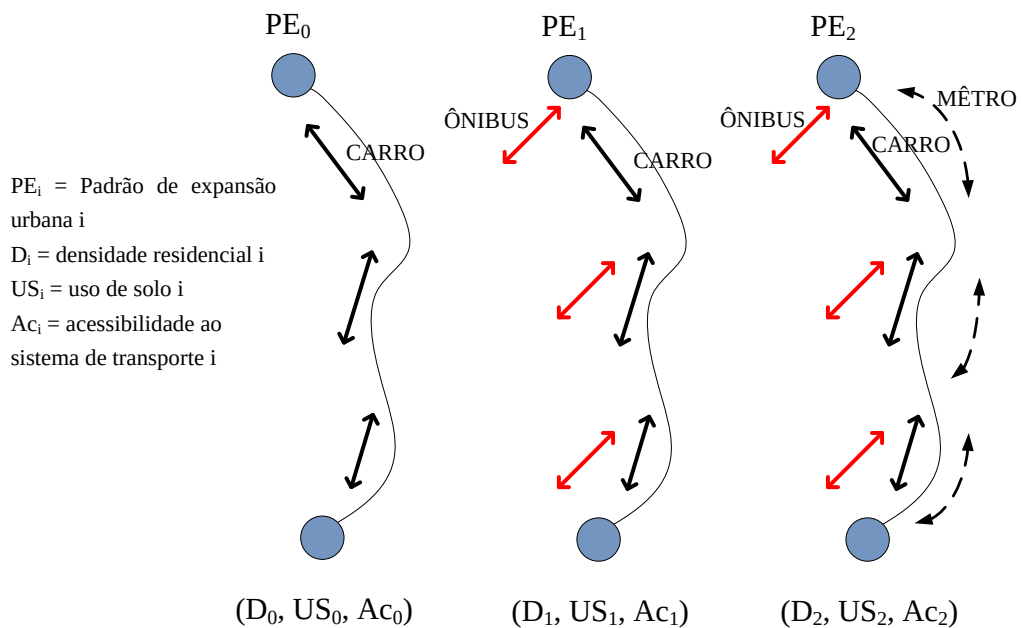
- A demanda de viagens é derivada da necessidade que os indivíduos têm de participar de atividades fora do domicílio. Assim, excetuando as viagens para trabalho, a falta de

centros de atividades dentro de uma expansão urbana gera necessidade de viagem para outros centros urbanos, como se apresenta na Figura 4.4.



**Figura 4.4** Representação das viagens geradas por padrão de expansão urbana

- Cada padrão de expansão urbana fomenta mudanças no sistema de transporte. Portanto, a acessibilidade varia para cada padrão de expansão urbana, dependendo da sua configuração e infraestrutura e serviços de transporte existentes (Figura 4.5).



**Figura 4.5** Representação da variância da acessibilidade por padrão de expansão urbana

## **4.2 PREMISAS E RESTRIÇÕES DA MODELAGEM**

A seguir são apresentadas as premissas estabelecidas e a identificação de algumas limitações intrínsecas ao processo de modelagem por SEM. Essa apresentação é essencial para a concepção da modelagem propriamente dita.

### **4.2.1 Premissas da modelagem**

- A expansão urbana influencia no comportamento da demanda de viagem para a formação dos padrões de viagens baseadas em atividades;
- Restrições espaciais e temporais, no padrão de expansão urbana, exerce influência no comportamento da demanda de viagem. Portanto, é necessária a utilização de variáveis referentes ao comportamento da demanda de viagem;
- Os fatores socioeconômicos influenciam no comportamento da demanda de viagem e, conseqüente, influenciam na formação de seus padrões de viagens;
- A expansão urbana, as restrições espaciais e temporais, os fatores socioeconômicos se relacionam. Portanto, a modelagem por SEM irá expressar essas relações no tocante ao comportamento da demanda por viagens;
- O modelo terá o foco em viagens obrigatórias, ou seja, aquelas que indivíduo realiza motivado a participar das atividades trabalho e/ou estudo. Isto ocorre porque as viagens obrigatórias são as mais recorrentes em pesquisas de origem/destino, e, portanto representam a maioria dos casos de atividades principais que demandam viagens.

### **4.2.2 Restrições da modelagem**

- O modelo se limitará a descrever o comportamento da demanda a nível agregado por zona de tráfego analisada. Isso ocorre porque os dados a serem utilizados são a nível agregado, o que não permite a descrição do comportamento individual dos usuários;

- O modelo se limitará à análise de padrões de viagens baseadas em atividades simples. Análises mais complexas, como de cadeias de viagem, necessitam considerar outros fatores e variáveis, além da condição de temporaridade;
- A modelagem em SEM se apóia nas relações causais entre variáveis, nas quais se assume que a mudança em uma delas resultará em uma mudança em uma ou mais variáveis;
- A direção da relação causal entre variáveis deve ser corretamente especificada, ou seja, se X causa Y, Y não pode ser causa de X ou de mútua causalidade;
- A relação entre X e Y não desaparecerá quando variáveis externas, que têm relação de causa comum com X e Y, se mantêm constantes.

#### 4.3 ETAPA 1: CONCEPÇÃO E SISTEMATIZAÇÃO DO MODELO ABTUS

A concepção do ABTUS apóia-se nas seguintes definições básicas:

- a) **Definição do modelo Activity-Based Travels of Urban Sprawl (ABTUS):** o modelo ABTUS se define da seguinte forma:

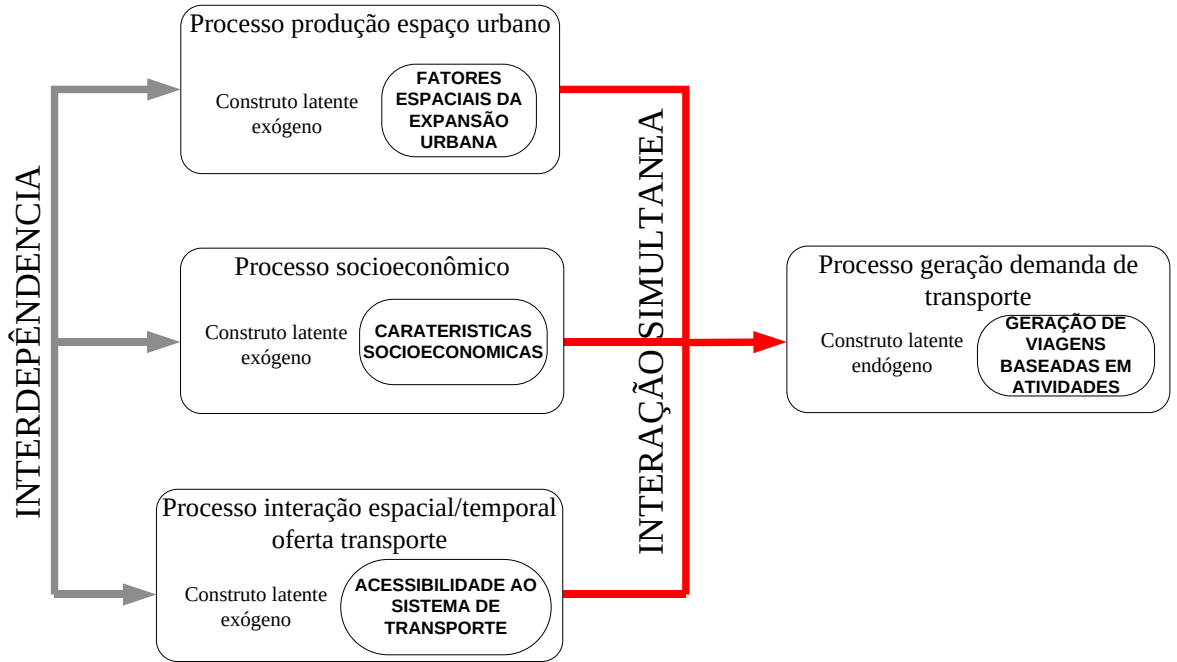
$$FEXU \xrightarrow{Causa} GVA; CSE \xrightarrow{Causa} GVA; AST \xrightarrow{Causa} GVA;$$

$$GVA = f\{FEXU, CSE, AST\}$$

Assim, estes três construtos latentes exógenos do comportamento da demanda de viagens são essenciais para explicar os padrões de viagens baseadas em atividades. As abordagens aplicadas só representam esta relação de uma forma linear entre as variáveis explicativas. O que consideraria que estas variáveis atuam de uma maneira independente entre si e seguem uma tendência linear para explicar a demanda de viagens. Mas na realidade, as variáveis não atuam de forma direta com o comportamento da demanda de viagem, elas são explicativas de processos que intervêm na geração dos padrões de viagens baseadas em atividades.

Esses processos são distintos e separados entre si, mas guardam relações de interdependência, interagindo simultaneamente e resultando no comportamento da demanda de viagens. A Figura 4.10 ilustra o processo de interação dos construtos

latentes exógenos e endógeno, bem como as suas relações de interdependência e simultaneidade na geração de padrões de viagens.



**Figura 4.6:** Representação da interação entre processos

- b) Constructo dos fatores espaciais da expansão urbana:** seja “Fatores Espaciais da Expansão Urbana (FEXU)” um constructo latente caracterizado pelos seus fatores de espaciais urbanos, isto é, pelo uso de solo e pelas atividades nele desenvolvidas (Residência, Trabalho, Estudos, Lazer e Outras). Portanto FEXU está em função de um vetor de fatores espaciais da expansão urbana  $\overrightarrow{FEU}_{(i \rightarrow n)}$  (densidade residencial, uso de solo, área urbana construída, etc.) que varia para cada zona de tráfego em análise:

$$(FEXU) = f\{\overrightarrow{FEU}_{(i \rightarrow n)}\}, \text{ onde } i \text{ varia de } 1 \text{ até } n$$

$n$  = número de zonas de tráfego

Apresentando-se a equação deste constructo latente exógeno:

$$\overrightarrow{FEU} = \Lambda_X \overrightarrow{FEXU} + \vec{\delta} \quad (4.1)$$

Onde:

$\overrightarrow{FEU}_{(i \rightarrow n)}$  = Vetor de fatores espaciais da expansão urbana para cada zona de tráfego,

$\Lambda_X$  = Matriz de parâmetros associados às variáveis indicadoras exógenas,

$\overrightarrow{FEXU}$  = Constructo latente exógeno “Fatores Espaciais da Expansão Urbana”,

$\vec{\delta}$  = Vetor de termos de erros associados à estimação.

c) **Constructo de acessibilidade ao sistema de transporte:** seja “Acessibilidade ao Sistema de Transporte (AST)” um constructo latente caracterizado por fatores espaciais e temporais. Considerando que a abordagem centra-se em zonas de tráfego, a acessibilidade pode ser entendida como a facilidade com que os destinos desejados são alcançados, ou como a facilidade com que uma separação espacial é transposta pelo indivíduo (Joaquim 1999). Assim, AST está em função de um vetor de fatores espaciais e temporais  $\overrightarrow{FET}$  (distância entre centróides de zonas, longitude de rede viária, etc.) que varia para cada zona de tráfego:

$$(AST) = f\{\overrightarrow{FET}_{(i \rightarrow n)}\}, \text{ onde } i \text{ varia de 1 até } n$$

$$n = \text{número de zonas de tráfego}$$

Assim, a equação deste construto latente exógeno é:

$$\overrightarrow{FET} = \Lambda_X \overrightarrow{AST} + \vec{\delta} \quad (4.2)$$

Onde:

$\overrightarrow{FET}_{(i \rightarrow n)}$  = Vetor de fatores espaciais e temporais para cada zona de trafego,

$\Lambda_X$  = Matriz de parâmetros associados às variáveis indicadoras exógenas,

$\overrightarrow{AST}$  = Constructo latente exógeno “Acessibilidade ao Sistema de Transporte”,

$\vec{\delta}$  = Vetor de termos de erros associados à estimação.

d) **Constructo de características socioeconômicas:** seja “Características Socioeconômicas (CSE)” um constructo latente caracterizado por fatores socioeconômicos, isto é, pelas condições socioeconômicas dos indivíduos e famílias residentes nas zonas de tráfego (renda familiar, posse de veículos, quantidade de pessoas na família e outros). Portanto CSE está em função de um vetor de fatores socioeconômicos  $\overrightarrow{FSE}_{(i \rightarrow n)}$  que varia para cada zona de tráfego em análise:

$$(CSE) = f\{\overrightarrow{FSE}_{(i \rightarrow n)}\}, \text{ onde } i \text{ varia de 1 até } n$$

$$n = \text{número de zonas de tráfego}$$

Assim a equação deste construto latente exógeno é:

$$\overrightarrow{FSE} = \Lambda_X \overrightarrow{CSE} + \vec{\delta} \quad (4.3)$$

Onde:

$\overrightarrow{FSE}_{(i \rightarrow n)}$  = Vetor de fatores socioeconômicos para cada zona de tráfego,

$\Lambda_X$  = Matriz de parâmetros associados às variáveis indicadoras exógenas,



$\overrightarrow{CSE}$  = Constructo latente exógeno “Características Socioeconômicas”,

$\vec{\delta}$  = Vetor de termos de erros associados à estimação.

e) **Padrões de viagens baseadas em atividades:** No modelo, os padrões de viagens baseadas em atividades “P(vg/av)” estarão constituídos de um conjunto de categorias, em que o começo é atividade origem; e no final é a atividade destino. As atividades estão classificadas em cinco grupos: Residência (H); Trabalho (W); Estudo (S); Saúde (M); e, Outras Atividades (A). Assim, esta classificação do padrão p(vg/av) poderá ser representada, da seguinte forma: residência ao trabalho (HW), residência ao estudo (HS), à saúde (HM) e outras (HA).

f) **Constructo endógeno latente geração de viagens baseadas em atividades:** seja “Geração de Viagens Baseadas em Atividades (GVA)” um construto latente endógeno caracterizado pelos padrões de viagens baseadas em atividades (atividade origem, atividade destino, modo de transporte, tempo e distância). Assim, GVA está em função de um vetor de padrões de viagens  $\overrightarrow{P(vg/av)}_{(i \rightarrow n)}$ , que varia para cada zona de tráfego:

$$(GVA) = f\{\overrightarrow{P(vg/av)}_{(i \rightarrow n)}\}, \text{ onde } i \text{ varia de } 1 \text{ até } n$$

$n$  = número de zonas de tráfego

A equação deste construto latente endógeno é:

$$\overrightarrow{P(vg/av)} = \Lambda_Y \overrightarrow{GVA} + \vec{\varepsilon} \quad (4.4)$$

Onde:

$\overrightarrow{P(vg/av)}_{(i \rightarrow n)}$  = Vetor de padrões de viagens para cada zona de tráfego,

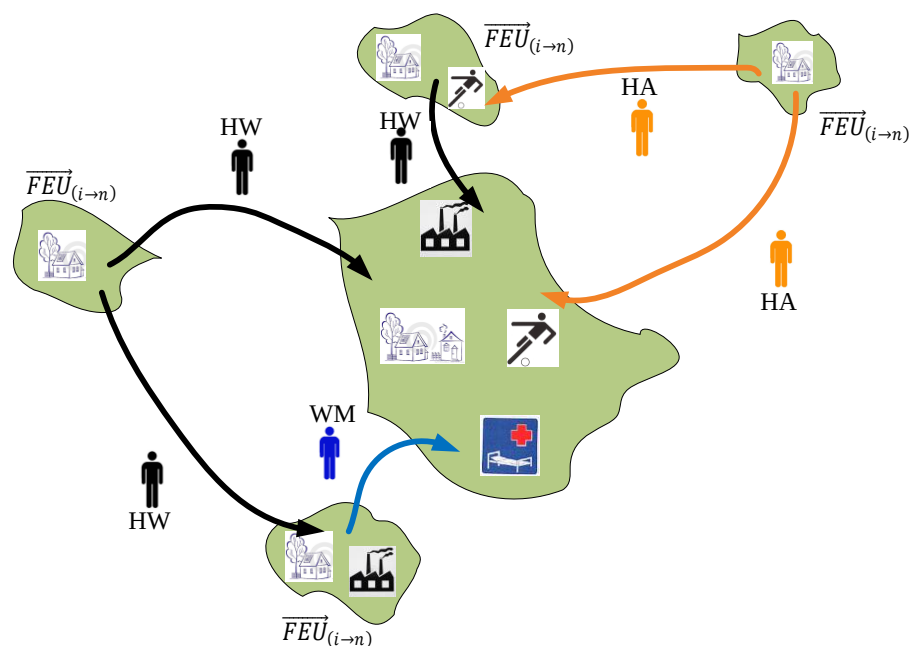
$\Lambda_Y$  = Matriz de parâmetros associados às variáveis indicadoras endógenas,

$\overrightarrow{GVA}$  = Constructo latente endógeno “Geração de Viagens Baseadas em Atividades”,

$\vec{\varepsilon}$  = Vetor de termos de erros associados à estimação.

g) **A relação causal entre fatores espaciais da expansão urbana e geração de viagens baseadas em atividades:** Os fatores espaciais da expansão urbana influenciam a demanda de viagens, essa influência é uma relação de causalidade. Os padrões de viagens baseadas em atividades dependem desses fatores. Mas, estes fatores não agem de uma maneira direta senão através da variável latente “fatores espaciais da expansão urbana”. Já que cada expansão urbana é distinta da outra, a dinâmica de

desenvolvimento é também diferente entre elas. Desta forma, os padrões de viagens baseadas em atividades gerados são distintos para cada expansão urbana.



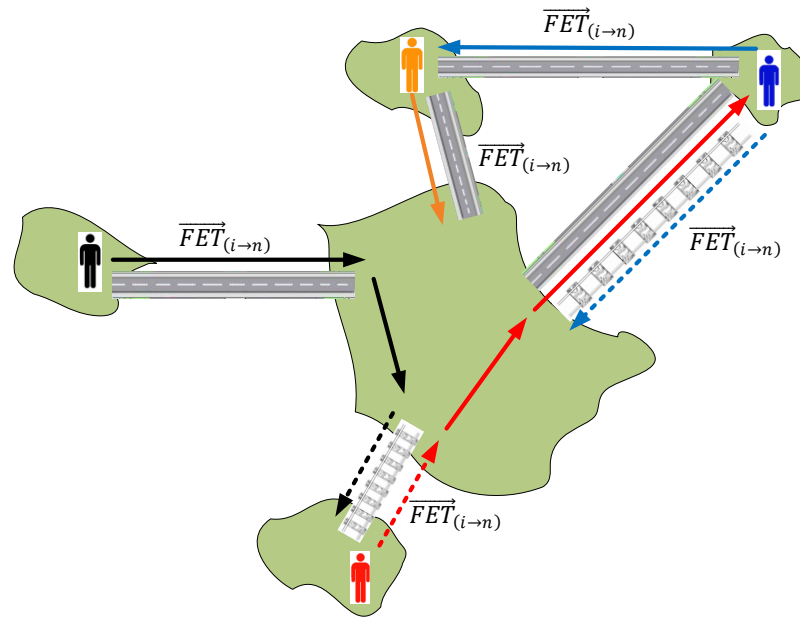
**Figura 4.7:** Ilustração da relação causal entre padrão de expansão urbana e comportamento da demanda de viagem

A figura 4.8 apresenta um exemplo da relação causal explicada anteriormente. À medida em que os fatores de espaço urbano do padrão de expansão urbana só permitam uma atividade residencial, as atividades destino serão dependentes de outras zonas de tráfego. Logo, se os fatores de espaço urbano permitirem mais atividades a dependência diminui.

**h) A relação causal entre características socioeconômicas e geração de viagens baseadas em atividades:** A relação causal destes fatores sobre a demanda de viagem é amplamente discutida na literatura. Estes fatores também variam entre cada expansão urbana, essa variabilidade indica que as configurações socioeconômicas também estão sujeitas a uma dinâmica que age de maneira distinta para cada expansão urbana. Portanto, essa relação causal é entendida através do constructo latente “características socioeconômicas”.

**i) A relação causal entre acessibilidade ao sistema de transporte e geração de viagens baseadas em atividades:** os fatores espaciais temporais têm importante influencia no comportamento da demanda de viagens, e se relacionam através do sistema de transporte de um padrão de expansão urbana. A acessibilidade varia para cada padrão

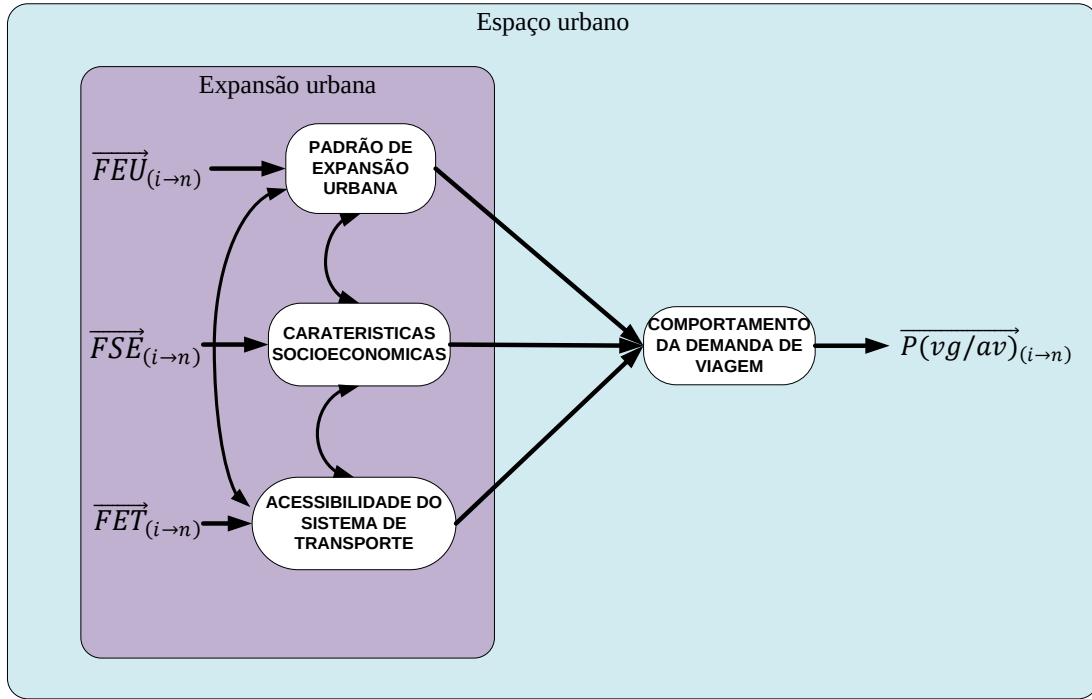
de expansão urbana, isso porque os fatores espaciais e temporais são distintos para cada expansão urbana. Por exemplo, se uma pessoa que reside em um local com um padrão de expansão urbana, esse último influenciará na formação do padrão de viagem dessa pessoa, que por sua vez ocorrerá em função de fatores espaciais e temporais daquele padrão de expansão (Figura 4.9). Assim, a acessibilidade do sistema de transporte é um construto latente que tem uma relação causal com o GVA.



**Figura 4.8:** Ilustração da relação causal entre padrão de expansão urbana e comportamento da demanda de viagem

#### j) *Generalização do modelo ABTUS*

A Figura 4.11 ilustra a representação teórica do modelo estrutural.



**Figura 4.9:** Representação teórica do modelo estrutural

A equação do modelo estrutural é representada da seguinte forma:

$$\eta = \Gamma\xi + B\eta + \zeta \quad (4.5)$$

Onde:

$\eta = \{GVA\}$  = constructos latentes endógenos: Geração de Viagens Baseadas em Atividades,

$\xi = \{FEXU, CSE, AST\}$  = constructos latentes exógenos: Fatores Espaciais da Expansão Urbana, Características Socioeconômicas, Acessibilidade ao Sistema de Transporte,

$\Gamma = \{\gamma_{11}, \dots, \gamma_{nm}\}$  = matriz de parâmetros associados com os constructos exógenos,

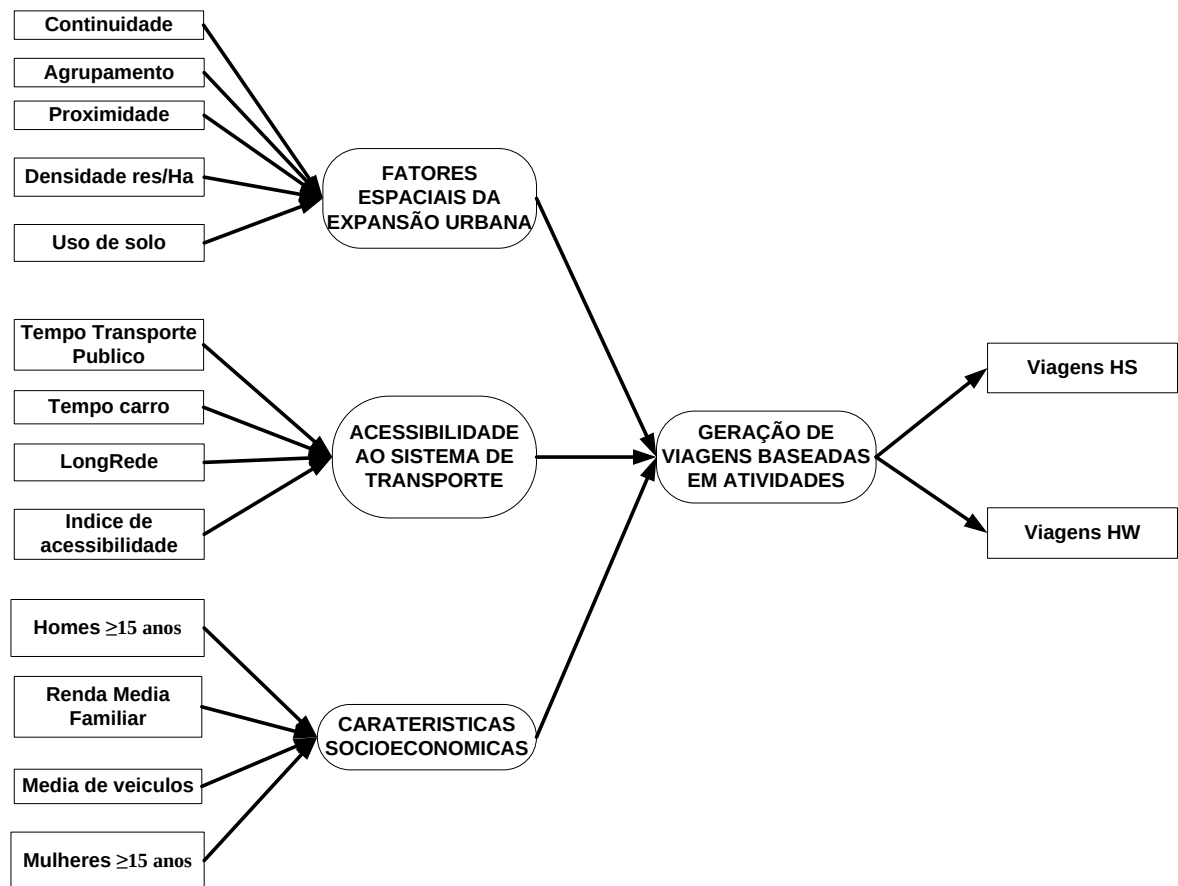
$B = \{\beta_{11}, \dots, \beta_{mn}\}$  = matriz de parâmetros associados com o constructo endógeno,

$\zeta = \{\zeta_1, \dots, \zeta_n\}$  = vetor de termos de erros associados à estimação.

Assim, generalizando o modelo ABTUS:

$$GVA = \gamma_{11}FEXU + \gamma_{12}CSE + \gamma_{13}AST + \zeta \quad (4.6)$$

A proposta do modelo ABTUS e as variáveis indicadoras se apresentam na Figura 4.12.



**Figura 4.10:** Proposta do modelo ABTUS

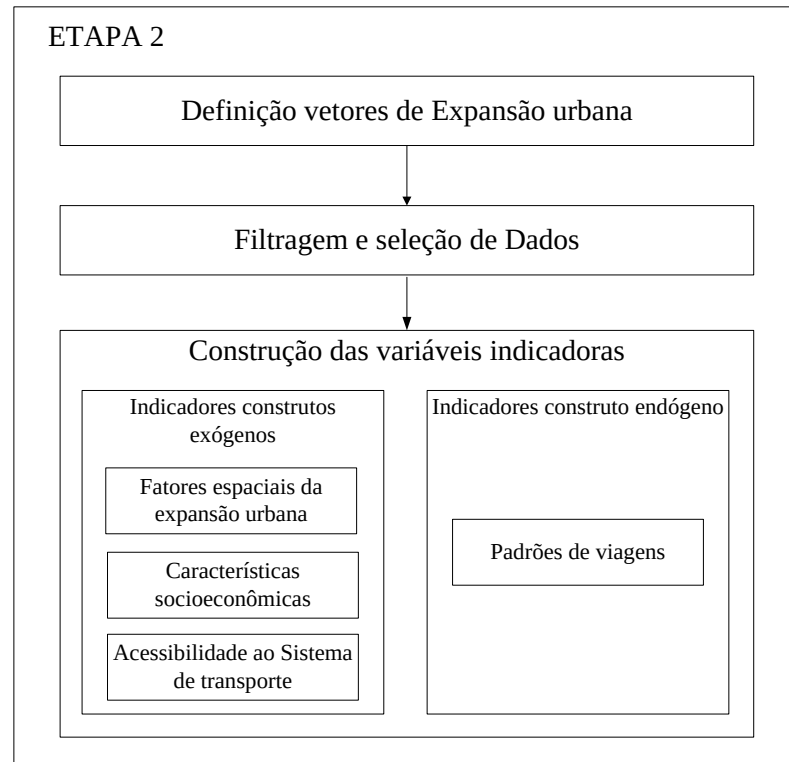
#### 4.4 ETAPA 2: DEFINIÇÃO VARIÁVEIS INDICADORAS

Em qualquer tipo de modelagem estatística, os dados são os elementos base para representação do fenômeno estudado, podendo viabilizar ou inviabilizar a obtenção do modelo. No caso específico dos sistemas de transporte, pesquisas de seção cruzada e preferência revelada são formas de se obter dados confiáveis que permitem prever o comportamento da demanda. E, dentro dessa classificação, destacam as pesquisas de entrevista domiciliar origem-destino, que permitem a identificação do padrão atualizado dos deslocamentos, segundo os diferentes meios de transporte (motorizados e não-motorizados), e a obtenção de dados sobre as características socioeconômicas da população (a localização de empregos e escolas, os padrões de uso do solo, entre outras características das áreas urbanas) (Ortúzar e Willumsen, 1994).

Os dados considerados básicos para modelagem devem estar distribuídos em quatro grupos: Dados Gerais (identificadores da zona de tráfego onde foi realizada a pesquisa); Dados da Família (identificadores da família, condição de ocupação no domicílio, número

de veículos, características socioeconômicas, entre outros); Dados do indivíduo (identificadores do indivíduo, características socioeconômicas, atividade principal, entre outras); e, Dados da Viagem (origem, destino, motivo, modo, período e duração da viagem). Contudo, dados adicionais dotados de informações espaciais, tais como os pontos de origem e destino da viagem, podem ser introduzidos em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Neste caso, o SIG permite fazer, por exemplo, a associação destes pontos às características de tempo e/ou distâncias inerentes aos deslocamentos (Raia Jr., 2000). Como resultado dessa associação, poderá ser obtida uma melhor representação das variáveis inerentes aos deslocamentos, consequentemente, uma maior precisão nos resultados da estrutura da parte seguinte. Portanto, a base de dados da Pesquisa Origem Destino do Distrito Federal (CODEPLAN, 2000) será utilizada, sendo trabalhada de forma agregada por zona de tráfego.

O propósito desta etapa é a preparação dos dados para o experimento. Para atingir o objetivo, serão aplicados três procedimentos: filtragem e seleção de dados, definição dos vetores de expansão, e construção das variáveis indicadoras para os construtos (Figura 4.13).



**Figura 4.11:** Detalhamento da etapa 2.

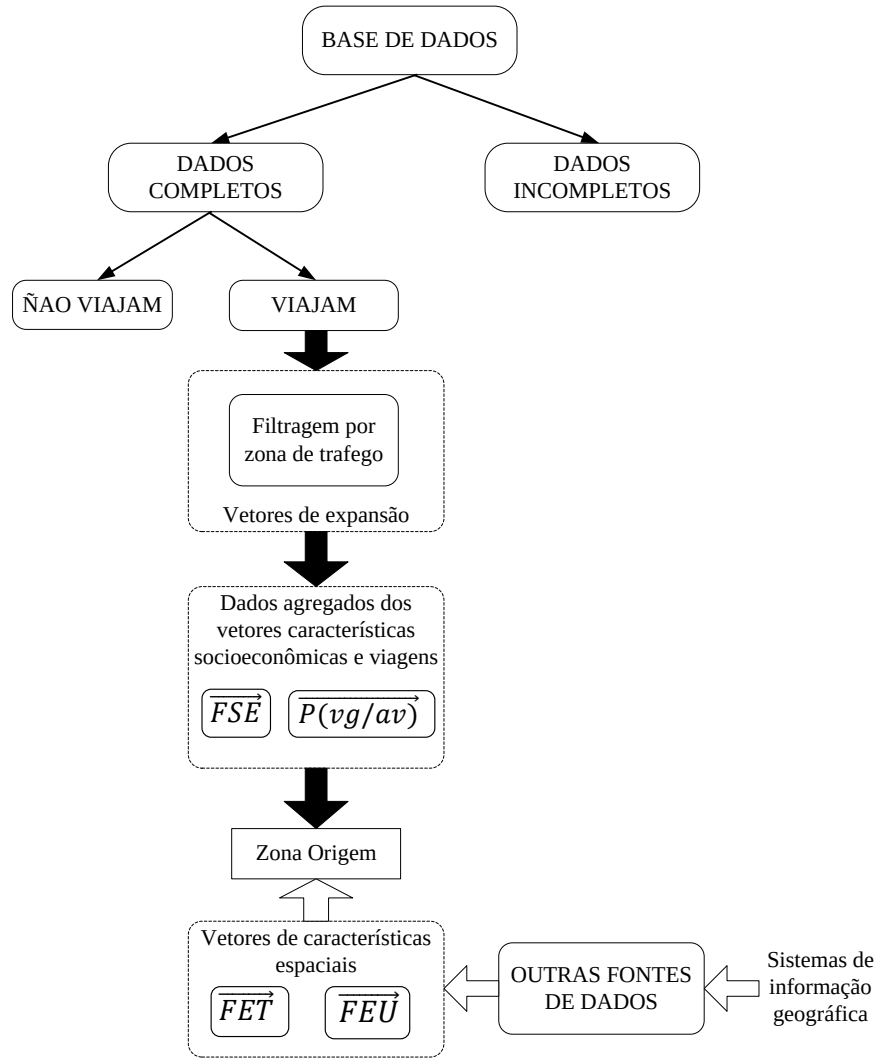
#### **4.4.1 Definição vetores de Expansão urbana**

A definição dos vetores de expansão é importante para identificar as zonas de tráfego que serão exploradas neste estudo de caso. Através de técnicas de análise geográfica, Anjo (2010) identificou os vetores de expansão urbana do Distrito Federal para o ano 2000. Assim, baseando-se nesses vetores foram selecionadas as zonas de tráfego da Base de dados geográfica da Pesquisa OD 2000 do Distrito Federal. Foram descartadas zonas de tráfego que não possuíam residentes, bem como aquelas zonas que não estavam dentro do vetor.

#### **4.4.2 Filtragem e seleção de Dados**

No conjunto de dados coletados será necessário aplicar um procedimento de limpeza por remoção chamada de filtragem, primeiro com o objetivo de eliminar dados inconsistentes ou incompletos, e, segundo, para descartar dados que sejam irrelevantes à modelagem (Stein, 1993b). Isso possibilita uma melhor análise das variáveis envolvidas, como também obter uma melhoria na qualidade dos dados fornecidos ao modelo. Com isso, prossegue-se na definição e seleção das informações que sejam específicas na modelagem, e que possibilitem expressar de forma simplificada as características mais relevantes da situação real estudada e modelada.

Principalmente se filtrará os dados por zonas de tráfego correspondente aos vetores de expansão. A figura 4.14 esquematiza a forma que, a partir da base de dados, são selecionados os dados completos e os dados correspondentes as viagens realizadas.



**Figura 4.12:** Estrutura de filtragem e seleção dos dados

#### 4.4.3 Construção das variáveis indicadoras

Nesta seção são apresentados os procedimentos envolvidos na construção das variáveis indicadoras para os construtos endógenos e exógenos.

##### 4.4.3.1 Construtos latentes exógenos

**a) Fatores espaciais da expansão urbana:** Conforme foi apresentado na seção 4.4 o construto de padrão de expansão urbana está em função do vetores de fatores de espaço urbano. Assim como indicadores utilizados no vetor  $(\overrightarrow{FEU}_{i \rightarrow n})$  foram consideradas duas variáveis, densidade de residência e densidade de mistura de uso de solo.

$$(\overrightarrow{FEU}_{i \rightarrow n}) = (DEN_R, MIX_{US})$$

Onde:

$$DEN_R = \frac{N^{\circ} \text{ total de habitantes que residem na zona de tráfego}}{\text{Area da zona de tráfego em hectáreas}}$$



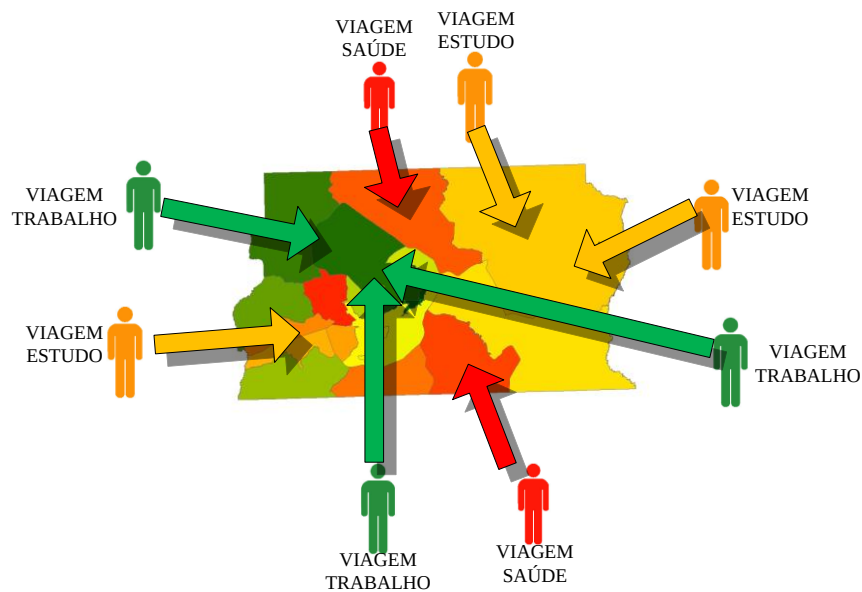
$MIX_{US}$  é um indicador para a densidade de uso de solo misto. Considerando que o uso de solo está relacionado com a atratividade de viagens de uma zona de tráfego, então se consideraria que a quantidade de viagens atraídas por atividade representaria o uso de solo dentro da zona de tráfego (Figura 4.15). Assim, para chegar ao indicador primeiro se descartaria todas as viagens atraídas por residência, e se aplicaria a seguinte fórmula:

$$MIX_{US} = \frac{\sum NV_{AT}}{TNV_{iat}}$$

Onde:

$NV_{AT}$  = Número de viagens por atividade atraída na zona de tráfego;

$TNV_{iat}$  = Total de número de viagens atraídas na zona de tráfego.



**Figura 4.13:** Representação da atratividade de uma zona

- b) Características socioeconômicas:** para este constructo, o vetor de fatores socioeconômicos foi definido como indicador. Baseando-se na literatura, foram selecionadas algumas informações do banco de dados para construção das variáveis indicadoras. Algumas das informações sofreram um processo de adaptação e agregação com base na unidade de análise de zona de tráfego. Na tabela 4.1 são apresentados os fatores socioeconômicos utilizados como variáveis indicadoras, sua descrição e codificação utilizada.

**Tabela 4.1** - Indicadores Características socioeconômicas.

| Variável   | Descrição                                               | Codificação                                                              |
|------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Nfam_r20sm | Número de famílias com renda $\geq 20$ salários mínimos | Contínua: medida em número de famílias por zona de tráfego               |
| Nfam_2car  | Número de famílias com 2 o mais carros                  | Contínua: medida em número de famílias por zona de tráfego               |
| Mrendafam  | Média da renda familiar                                 | Contínua: média calculada da renda familiar em reais por zona de tráfego |
| N_homes15  | Número de homens com idade $\geq 15$ anos               | Contínua: numero total de homens por zona de tráfego                     |
| N_mulher15 | Número de mulheres com idade $\geq 15$ anos             | Contínua: numero total de mulheres por zona de tráfego                   |

- c) **Acessibilidade ao sistema de transporte:** Atributos do sistema de transporte (incluindo as redes de infraestrutura, os modos disponíveis e suas peculiaridades) influenciam a localização de atividades nas cidades, bem como o comportamento individual em relação às escolhas de viagens, por exemplo modo e destino das atividades (Burns e Golob, 1976; Ben-Akiva e Lerman, 1978).

Conforme apresentado, estes atributos são dependentes do vetor de fatores espaciais-temporais. São as variáveis da Tabela 4.2, construídas para serem utilizadas no experimento.

**Tabela 4.2** - Indicadores acessibilidade do sistema de transporte

| Variável | Descrição                                                                                 | Codificação                                                  |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Longred  | Total comprimento da rede viária por zona de tráfego                                      | Contínuo em quilômetro (Km)                                  |
| IndAcc   | Índice de acessibilidade em base a matriz distância entre centroides das zonas de tráfego | Contínuo calculado da inversa de distância entre centroides. |

Para elaboração do indicador *Longred*, foi primeiramente segregado a rede viária por zona de tráfego através da utilização de técnicas de processamento geográfico com um *software* SIG. Posteriormente, o total do comprimento da rede por zona de tráfego foi calculado.

O índice de acessibilidade foi calculado com base no indicador da abordagem custo de viagens (Burns e Golob, 1976), considerando como custo de viagem a distância entre

centróides de zonas de tráfego. A forma funcional deste indicador se apresenta na seguinte equação:

$$IndAcc = \sum_{j \in N} \frac{1}{d_{ij}} \quad (4.7)$$

Onde:

IndAcc = índice de acessibilidade para zona i,

N = zonas de tráfego,

$d_{ij}$  = custo de viagem representado pela distância entre zona i e zona j.

Para o cálculo das distâncias entre centróides através da rede viária, foi utilizada a base de dados SIG da pesquisa OD 2000 do DF. A partir desses dados, foi construída uma rede viária e, posteriormente, foi elaborada a matriz de distância entre os centróides de zonas de tráfego, utilizando um *software* de transporte.

#### 4.4.3.2 Constructo latente endógeno

- **Geração de viagens baseadas em atividades:** Os indicadores deste construto estão representados pelo vetor de padrões de viagens baseadas em atividades  $\overrightarrow{P(vg/av)}$ . A construção destes indicadores fica baseada principalmente na atividade origem, na atividade destino, e em uma segunda instância modo de transporte. A pesquisa não focou em cadeias de viagem, e sim em padrões simples de atividade destino principal.

Para a construção do construto latente endógeno, foram utilizadas as informações da base de dados da pesquisa OD 2000 do DF. Para tanto, foi feita uma filtragem na base que continha as zonas de tráfego selecionadas para os vetores de expansão urbana, em que essas zonas foram consideradas como as zonas da atividade origem.

A Pesquisa OD 2000 do DF considerou como atividades origem /destino um total de 14 alternativas para seleção dos indivíduos questionados: (1) residência, (2) trabalho, (3) estudo curso regular, (4) estudo outros cursos, (5) compras, (6) assuntos pessoais, (7) negócios, (8) refeição, (9) saúde, (10) lazer, (11) escala (apenas para viagens de automoveis), (12) transbordo (apenas para viagens de transporte coletivo), (13) servir passageiro, (14) outros.

Dado o grande número de combinações possíveis com a formação dos padrões de viagens, e como foi proposta na seção 4.4, a representação das atividades destino será feita a partir de quatro grupos de atividades: (H) residência; (S) estudo, englobando estudo curso regular e estudo outros cursos; (W) trabalho, englobando trabalho e negócios; (M) saúde; (A) outras atividades, englobando compras, assuntos pessoais e lazer. As demais possibilidades de atividade não foram consideradas para análise devido ao seu caráter de atividade secundária.

As letras “H”, “S”, “W”, “M” e “A” são adotadas como identificadores das atividades nesse estudo. Assim, um indivíduo que realiza uma viagem para atividade de trabalho fora do domicílio é representado pela variável HW, que representa a sequência da atividade residência→ trabalho.

Com os padrões de viagens definidos, foi realizada uma filtragem na base de dados e as zonas de tráfego selecionadas para determinar o número de viagens realizadas por zona, respectivo a cada padrão filtrado. Para o cálculo de viagens totais por zona, foi considerado o fator de expansão de viagens respectivo, elaborado na pesquisa OD 2000 DF. O fator de expansão de viagens foi calculado à partir da divisão do universo de domicílios do estrato de cada zona, corrigido pelo percentual de entrevistas extras realizadas, pelo número total de domicílios entrevistados no estrato.

Desta forma na tabela 4.3 apresenta-se a descrição das variáveis indicadoras de padrões de viagens baseadas em atividades.

**Tabela 4.3:** Indicadores padrões de viagens baseadas em atividades

| Variável | Descrição                                                                                         | Codificação                 |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| N_HW     | Número de viagens por zona de tráfego correspondente ao padrão residência→trabalho.               | Contínuo: número de viagens |
| N_HS     | Número de viagens por zona de tráfego correspondente ao padrão residência→estudo.                 | Contínuo: número de viagens |
| N_HM     | Número de viagens por zona de tráfego correspondente ao padrão residência→saúde.                  | Contínuo: número de viagens |
| N_HA     | Número de viagens por zona de tráfego correspondente ao padrão residência→outras atividades.      | Contínuo: número de viagens |
| N_HW_o   | Número de viagens por zona de tráfego correspondente ao padrão residência→trabalho (modo ônibus). | Contínuo: número de viagens |
| N_HW_c   | Número de viagens por zona de tráfego correspondente ao padrão residência→trabalho (modo carro).  | Contínuo: número de viagens |

#### 4.5 ETAPA 3: DIMENSIONAMENTO E ESTIMAÇÃO DO MODELO ABTUS

O dimensionamento do ABTUS consistiu na descrição da estrutura de relações, suas variáveis e parâmetros a serem estimados. A estimação do ABTUS envolveu o cálculo dos parâmetros do modelo, o teste de significância deles e a avaliação do ajuste das matrizes de covariância e correlação estimadas pelo modelo, com as matrizes calculadas através dos dados observados.

Na estimação do ABTUS, para cada modelo estrutural, calculou-se o conjunto de parâmetros especificados empregando-se uma matriz de covariância e uma matriz de correlações, a fim de obter tanto o modelo não-padronizado como o modelo padronizado. O primeiro possibilita a comparação de modelos calibrados com diferentes amostras ou mesmo com concepções estruturais diferentes. O segundo modelo serve para a análise da importância interna das variáveis. Assim, a estimação dos parâmetros será realizada aplicando o processo de Máxima Verossimilhança e a abordagem de estimação será através da matriz de covariância.

##### 4.5.1.1 Análise estrutural baseada na covariância

Na abordagem de análise estrutural baseada na covariância, o procedimento de estimação minimiza a diferença entre a covariância da amostra e a covariância prevista pelo modelo.

A hipótese fundamental para os processos de estimação baseados na covariância é que a matriz de covariância das variáveis observadas é uma função de um conjunto de parâmetros, como mostrado:

$$\Sigma = \Sigma(\theta)$$

Onde:

$\Sigma$  é a matriz de covariância populacional das variáveis observadas,

$\theta$  é um vetor que contém os parâmetros do modelo, e

$\Sigma(\theta)$  é a matriz de covariância interpretada como uma função de  $\theta$ .

A relação de  $\Sigma$  para  $\Sigma(\theta)$  é fundamental para a compreensão da identificação, estimação, e avaliações de ajuste do modelo. A matriz  $\Sigma(\theta)$  tem três componentes, nomeadamente, a matriz de covariância de Y, a matriz de covariância de X com Y, e a matriz de covariância X.

A matriz de covariância implícita de Y pode ser derivada como:

$$\begin{aligned}\Sigma_{YY}(\theta) &= E(YY') \\ &= E[(I - A)^{-1} (BX + \varepsilon)((I - A)^{-1} (BX + \varepsilon))'] \\ &= (I - A)^{-1} (E(BXXB') + E(BX\varepsilon') + E(\varepsilon X'B') + E(\varepsilon'\varepsilon)) (I - A)^{-1'} \\ &= (I - A)^{-1} (B\Phi B' + \Psi) (I - A)^{-1'}\end{aligned}$$

Considerando  $\Phi$  = matriz de covariância de X, e  $\Psi$  = matriz de covariância de  $\varepsilon$ .

A matriz de covariância implícita de X,

$$\begin{aligned}\Sigma_{XX}(\theta) &= E(XX') = \Phi; \text{ e } \Sigma_{XY}(\theta) = E(XY') \\ &= E[X(I - A)^{-1} (BX + \varepsilon)'] \\ &= \Phi B'(I - A)^{-1'}\end{aligned}$$

Assim, pode-se demonstrar que (Bollen, 1989):

$$\Sigma(\theta) = \begin{bmatrix} (I - A)^{-1}(B\Phi B\Phi\Psi)(I - A)^{-1'} & (I - A)^{-1}B\Phi \\ \Phi B'(I - A)^{-1'} & \Phi \end{bmatrix}$$

#### 4.5.1.2 Identificação do modelo

A identificação para um modelo estrutural de sistemas de equações simultâneas é um problema matemático preocupado com a habilidade de gerar as estimativas dos parâmetros

estruturais. Se uma estimativa de um parâmetro estrutural é a verdadeira estimativa desse parâmetro, e não uma estimativa de algo mais, então o parâmetro pode ser afirmado de identificado. O problema de identificação normalmente é resolvido através da aplicação de restrições sobre os parâmetros do modelo. As restrições usualmente empregadas são restrições zero, onde certas variáveis endógenas e exógenas não aparecem em certas equações.

Várias regras, tais como *t-Rule*, *Null B Rull*, e a regra de recursividade são usadas para verificar a identificação de todo o modelo estrutural. Assim, o tamanho da matriz de covariância, em relação ao número de coeficientes estimados, servirá como forma de identificação do modelo estrutural. Para tanto, serão calculados os graus de liberdade do modelo proposto, que correspondem à diferença entre o número de covariâncias e o número real de coeficientes do modelo proposto (Equação 4.8).

$$gl = \frac{1}{2}[(p + q)(p + q + 1)] - t \quad (4.8)$$

Onde:

*gl* Corresponde aos graus de liberdade para o modelo proposto;

*p* Corresponde ao número de indicadores endógenos;

*q* Corresponde ao número de indicadores exógenos; e,

*t* Corresponde ao número de coeficientes estimados no modelo proposto.

Caso existam problemas de identificação, serão definidas mais restrições para o modelo, e o tamanho do diagrama de caminhos sofrerá reduções para que o modelo não se torne “subidentificado”. Isto será feito para que se garanta que o modelo passe a ser “superidentificado”, o que propicia graus de liberdade disponíveis para avaliar os erros amostrais e de mensuração, e assim fornecer melhores estimativas das relações causais (Hair *et al.*, 2007).

A estimativa do modelo baseia-se na relação da matriz de covariância de variáveis observadas e na matriz de covariância de parâmetros estruturais. Em caso de especificação perfeita  $\Sigma = \Sigma(\theta)$ . Considera-se uma simples equação estrutural, em que o parâmetro associado à variável exógena, é definida como:

$$y_1 = x_1 + \varepsilon_1$$

onde:

$y_1$  = uma variável endógena na primeira equação estrutural do modelo;

$x_1$  = uma variável exógena na primeira equação estrutural do modelo; e

$\varepsilon_1$  = erro aleatório associado com a primeira equação do modelo.

A matriz de covariância de  $y_1$  e  $x_1$  é

$$\Sigma = \begin{bmatrix} VAR(y_1) & COV(y_1, x_1) \\ COV(x_1, y_1) & VAR(x_1) \end{bmatrix}$$

A matriz  $\Sigma$  em termos dos parâmetros estruturais é

$$\Sigma(\theta) = \begin{bmatrix} \Phi_{11} + \Psi_{11} & \Phi_{11} \\ \Phi_{11} & \Phi_{11} \end{bmatrix}$$

Nesta fase da estimativa, não são conhecidos os parâmetros ou as covariâncias e as variâncias. Assim, é preciso chegar às estimativas de amostragem de parâmetros desconhecidos, com base em estimativas da amostra da matriz de covariância. A matriz de covariância da amostra é dada por:

$$S = \begin{bmatrix} VAR(y_1) & COV(y_1, x_1) \\ COV(x_1, y_1) & VAR(x_1) \end{bmatrix}$$

O mesmo é feito para a matriz de covariância implícita,

$$\hat{\Sigma} = \begin{bmatrix} \hat{\Phi}_{11} + \hat{\Psi}_{11} & \hat{\Phi}_{11} \\ \hat{\Phi}_{11} & \hat{\Phi}_{11} \end{bmatrix}$$

$\hat{\Phi}_{11}$  e  $\hat{\Psi}_{11}$  são escolhidos de tal modo que  $\hat{\Sigma}_{11}$  seja próximo de  $S$ .

Quando existem equações mais complexas, um processo semelhante é adotado para estimar os parâmetros desconhecidos em  $A$ ,  $B$ ,  $\Phi$  e  $\Psi$ . A fim de alcançar este objetivo, uma função de ajuste  $F(S, \Sigma(\theta))$  é definida, o qual é minimizado. A função de ajuste tem as seguintes propriedades:

- $F(S, \Sigma(\theta))$  é escalar
- $F(S, \Sigma(\theta)) \geq 0$
- $F(S, \Sigma(\theta)) = 0 \leftrightarrow \Sigma(\theta) = S$
- $F(S, \Sigma(\theta))$  é contínua em  $S$  e  $\Sigma(\theta)$

#### 4.5.1.3 Máxima Verossimilhança (ML)

A função de ajuste que é minimizada na Máxima Verossimilhança, do método de estimativa de parâmetros estruturais é, conforme Bollen (1989):



$$F_{ML} = \log|\Sigma(\theta)| + \text{tr}(S\Sigma^{-1}(\theta\theta) - \log|S| - (G + K))$$

Onde:

G = Número de variáveis endógenas excluídas sobre RHS do modelo, e

K = Número de variáveis exógenas incluídas na RHS do modelo.

A matriz de covariância assintótica para ML do estimador  $\theta$  é dada por,

$$\left(\frac{2}{N-1}\right) \left\{ E \left[ \frac{\partial^2 F_{ML}}{\partial \theta \partial \theta'} \right] \right\}^{-1}$$

Quando  $\hat{\theta}$  é substituído por  $\theta$ , é obtida uma matriz de covariância estimada assintoticamente, que permite testes de significância estatística sobre os parâmetros de  $\hat{\theta}$ .

#### 4.6 ETAPA 4: VALIDAÇÃO DO MODELO ABTUS

##### 4.6.1 Avaliação do ajuste e estimação do modelo

Hair *et al.* (2005) distingue três tipos de medidas de qualidade de ajuste de modelos estruturais: os índices de ajuste absoluto, ajuste incremental e ajuste parcimonioso. O primeiro tem a função de avaliar a qualidade de ajuste da matriz de variância-covariância, estimada com a matriz observada, ou seja, a distância entre a teoria e a realidade. As demais medidas têm a finalidade de avaliar a qualidade do modelo em relação a uma formulação nula, ou seja, um modelo no qual todas as variáveis são independentes. Por essa razão, essas medidas também são chamadas de índices de ajuste comparativo (Dilalla, 2000).

A função das medidas de ajuste incremental é responder se as relações causais teóricas propostas contribuem significativamente para a compreensão do sistema de variáveis analisado. Dado que a hipótese nula é a total independência entre as variáveis, qualquer proposição será melhor. Mas, é necessário determinar se a explicação é viável. Na tabela 4.4 são apresentadas algumas medidas de ajuste e os valores ideais sugeridos na literatura.

**Tabela 4.4:** Medidas de ajuste

| Índice                                               | Valor Ideal                          |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Ajuste Absoluto</b>                               |                                      |
| Estatística qui-quadrado de razão de verossimilhança | p-value>0,05                         |
| Qualidade de Ajuste (GFI)                            | >0,90                                |
| Raiz do Resíduo Quadrático Médio (RMR)               | <0,05                                |
| Raiz do Erro Quadrático Médio de Aproximação (RMSEA) | <0,08                                |
| <b>Ajuste Comparativo Incremental</b>                |                                      |
| Índice de Ajuste Comparativo (CIF)                   | >0,90                                |
| Índice de Ajuste Normalizado (NFI)                   | >0,90                                |
| Qualidade de Ajuste Ajustado (AGFI)                  | >0,90                                |
| Índice de Tucker-Lewis (TLI ou NNFI)                 | >0,90                                |
| Índice de Ajuste Incremental (IFI)                   | >0,90                                |
| <b>Ajuste Comparativo Parcimonioso</b>               |                                      |
| Estatística qui-quadrado de razão de verossimilhança | quanto maior melhor                  |
| Índice de Qualidade de Ajuste Parcimonioso (PGFI)    | quanto maior melhor (varia de 0 a 1) |
| Critério de Informação de Akaike (AIC)               | quanto maior melhor                  |

Fonte: Dilalla (2000) e Latiff (2000)

Considerando que há mais de uma explicação razoável para um fenômeno, confirmado pelas medidas de ajuste incremental, surge o problema da escolha da melhor explicação. Daí a necessidade das medidas de ajuste parcimonioso. Sua função é ser um critério para distinguir num conjunto de modelos concorrentes qual é o mais eficiente para a representação da realidade.

A eficiência é o critério chave para a seleção de um modelo. Por eficiência entende-se a relação entre o ajuste do modelo à realidade e o número de parâmetros estimados necessários para alcançar esses ajustes. Como os modelos com menos graus de liberdade tendem a produzir ajustes absolutos melhores, para a comparação entre modelos é necessário considerar esse efeito a fim de evitar a seleção de modelos superestimados (Paiva Jr, 2001).

#### 4.6.2 Interpretação dos resultados

A última etapa do processo de modelagem estrutural é a interpretação dos parâmetros estimados e a modificação do modelo. A interpretação depende do tipo de matriz de entrada de dados ou da forma de apresentação dos parâmetros estimados, como discutido na etapa três onde se decidiu a utilização da matriz de covariância. A modificação do

modelo depende fundamentalmente de argumentos teóricos, mas o método SEM fornece algumas sugestões.

Numa regressão múltipla, os parâmetros de regressão representam o efeito direto das variáveis exógenas sobre as variáveis endógenas. Como num modelo estrutural, as relações das variáveis manifestas são intermediadas pelas variáveis latentes, os parâmetros estimados representam os efeitos dessa intermediação. Mas é importante indicar que existem dois tipos de interpretação do modelo estrutural: o modelo não padronizado e o modelo padronizado (Paiva Jr., 2004).

O modelo não padronizado é útil somente para detectar mudanças estruturais nos dados e não nas relações causa-consequência entre as variáveis, porque diferentes estruturas lógicas naturalmente produzirão mudanças nos coeficientes devido às mudanças nas covariâncias. Portanto, os modelos não padronizados são adequados para testar tanto uma proposta de segmentação de uma população, como analisar painéis de dados distinguindo diferentes amostras com o mesmo modelo estrutural, mas com diferentes estimativas para os parâmetros (Paiva Jr., 2004).

Por outro lado, quando o objetivo for entender a estrutura interna do modelo, a fim de destacar as relações mais fortes e descartar as mais fracas, devem-se aplicar os modelos padronizados. Esses modelos são de fácil interpretação, porque representam a correlação direta entre as variáveis do modelo estrutural, independentemente de sua escala ou variância. Porém, eles não têm utilidade para a previsão ou simulação.

#### **4.6.3 Modificação e aceitação do modelo.**

Hair *et al.* (2001) explica que a partir desta etapa existem dois caminhos. O primeiro é a aceitação do modelo proposto, mediante as verificações de sua qualidade e ajuste. O segundo caminho é a rejeição do modelo, que o mesmo seja reespecificado e passe novamente pelo processo de aferição a partir da etapa de avaliação de identificação do modelo.

Hair *et al.* (2001) explica, que antes que o modelo seja definitivamente rejeitado se faz necessária a sua avaliação a fim de que o mesmo possa ser ajustado, e principalmente

também se terá que avaliar se existem modificações que sejam suportadas pela teoria, além da avaliação da consistência dos dados para a reespecificação do modelo.

No caso da aceitação do modelo, o mesmo terá seus resultados confrontados com a teoria proposta, onde serão verificadas se as principais relações indicadas nela foram mantidas e consideradas estatisticamente significativas. Na hipótese de formulação alternativa da teoria, esta será testada como modelo concorrente ao proposto, e a sua aceitação ocorrerá somente se obtiver resultados melhores que o modelo principal.

#### **4.7 TOPICOS CONCLUSIVOS**

O modelo Activity-Based Travels of Urban Sprawl (ABTUS) foi elaborado a partir do pressuposto que existe uma relação de causalidade entre expansão urbana e padrões de viagens baseadas em atividades. O modelo consta de três constructos latentes exógenos: fatores espaciais da expansão urbana, características socioeconômicas e acessibilidade ao sistema de transportes público. E um construto latente endógeno: geração de viagens baseadas em atividades.

Um método de quatro etapas foi desenvolvido para aplicação e validação do modelo ABTUS em um caso de estudo. Na primeira etapa foi realizada a formulação do modelo. Na segunda etapa foi realizada a definição das variáveis indicadoras para os construtos latentes. Já na etapa três foi definido o dimensionamento do modelo e a máxima verossimilhança como método de estimação. E na etapa quatro foram definidos os índices de avaliação de ajuste global e local do modelo. O próximo capítulo apresentará a aplicação do modelo ABTUS em caso de estudo.

## **5. CASO DE ESTUDO**

Neste capítulo estão expostas as etapas da aplicação do modelo ABTUS para analisar a relação entre a expansão urbana e o comportamento da demanda de viagens do Distrito Federal para o ano 2000. Para tanto, foi realizada uma análise fatorial confirmatória a fim de demonstrar a causalidade entre os padrões de expansão urbana e os padrões de viagens baseadas em atividades.

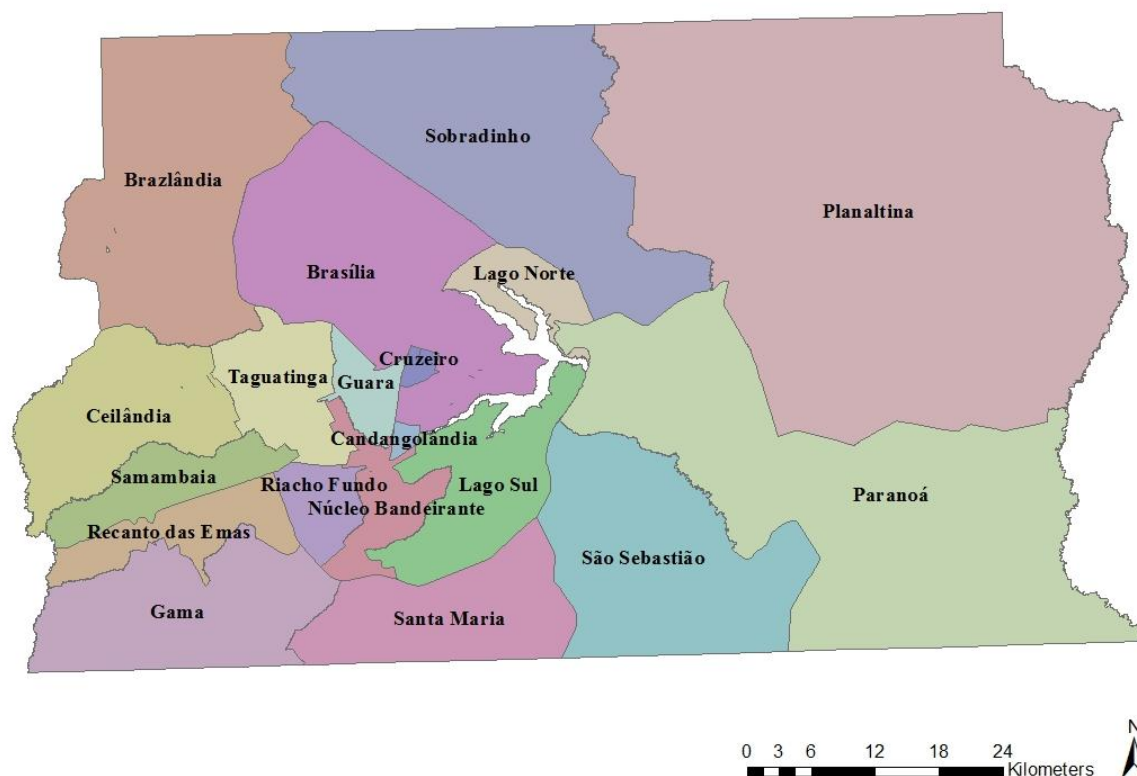
Este capítulo está organizado da seguinte forma: na seção 5.2 são apresentados os dados e características do espaço urbano em estudo, ou seja, o Distrito Federal. Por fim, na seção 5.3, é aplicado o modelo ABTUS considerando todo o método desenvolvido no capítulo quatro.

### **5.1 O CONTEXTO URBANO DO DISTRITO FEDERAL**

Paviani (2010) explica o processo de concepção do Distrito Federal (DF). Brasília, a sua capital, foi esboçada sob os rígidos princípios de um projeto racional e modernista, concebido por Lúcio Costa e Oscar Niemeyer, durante a presidência de Juscelino Kubitschek. Trata-se do único exemplar no mundo de cidade-capital, estruturada em torno de quatro funções básicas, conforme os preceitos básicos desenvolvidos por Le Corbusier: habitar, trabalhar, circular e recrear. O seu planejamento previa que o assentamento das cidades satélites somente ocorreria após a consolidação do Plano Piloto, isto é, quando a população atingisse 500.000 habitantes. Entretanto, ela chegou ao século XXI com as pressões naturais do crescimento acelerado em sua periferia.

Apresenta uma estrutura polinucleada, tendo o Plano Piloto como centro e a localização das cidades satélites fora da bacia do lago do Paranoá, idéia que predominou durante os anos 60 e norteou as políticas restritivas de assentamento populacional no território do DF. No início dos anos 90, intensificaram-se os conflitos na ocupação do território do DF, devido ao crescimento populacional e à ausência de oferta de moradia, principalmente para a classe média. Aumentaram as ocupações irregulares com invasões de terras públicas, em loteamentos clandestinos ofertados para a população desta classe, impossibilitada de arcar com os altos custos de moradia no Plano Piloto. Isto levou a população do DF a ser segregada espacialmente das áreas centrais, onde as populações de menor renda ficam cada

vez mais afastadas das áreas centrais, onde desenvolvem a maior parte de suas atividades. Assim, assentamentos urbanos periféricos a Brasília foram desenvolvidos, denominados popularmente de cidade satélites (ou cidades dormitório) e posteriormente passaram a formar parte das Regiões Administrativas (RA), como é apresentado na Figura 5.1.



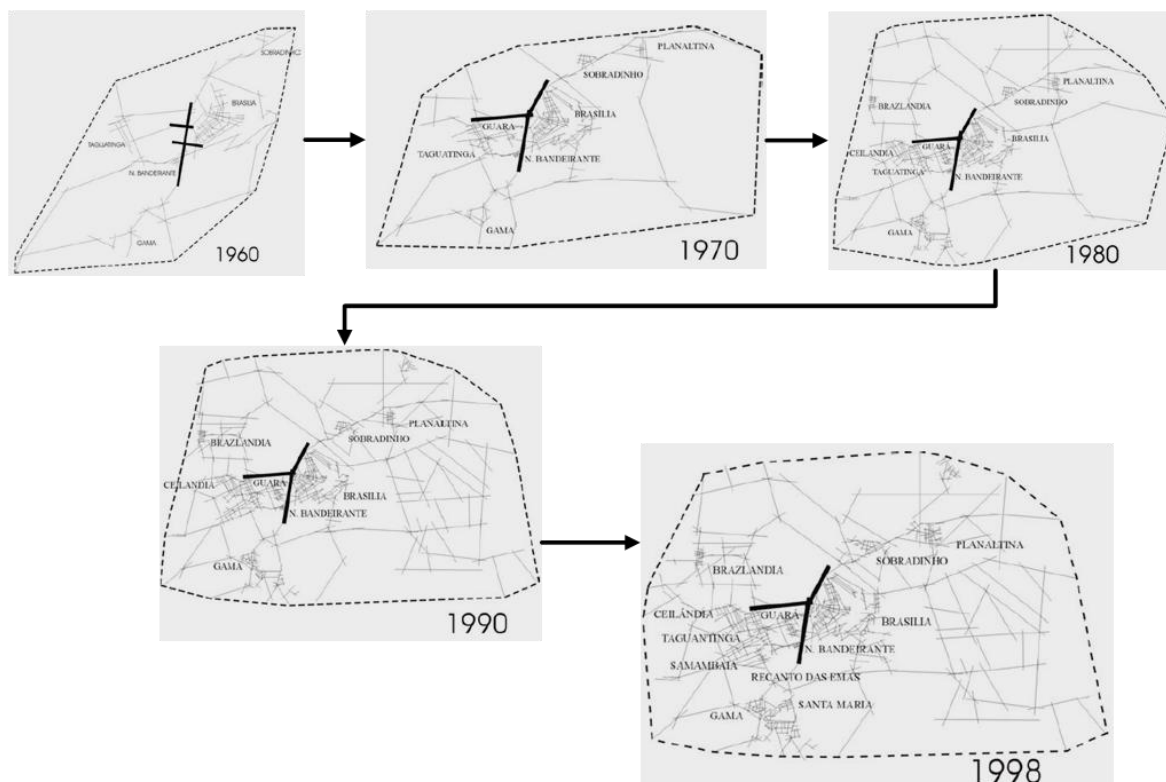
**Figura 5.1:** Estrutura Geopolítica do Distrito Federal

### **5.1.1 O processo de expansão urbana do Distrito Federal (1940-2000)**

O retrospecto da história recente é importante ao entendimento do processo de expansão urbana do DF. A fase de implementação da nova capital e do Distrito Federal (1956 - 1969), de acordo com Da Guia (2006), é marcada pela transição entre o regime democrático, com destaque para as ações propostas por Juscelino Kubistchek (JK), e o regime de ditadura militar. Foi a construção não só de uma cidade, mas de uma nova estrutura econômica nacional, com investimento em áreas estratégicas para o desenvolvimento que visava a substituir as importações tão latentes devido ao surto de urbanização da época e para mudar o fluxo migratório concentrado nos centros urbanos e industriais do Rio de Janeiro e de São Paulo.

A partir do processo de urbanização de Brasília, um elemento de destaque, surge na adoção do formato de núcleos múltiplos e os inumeráveis problemas a ele inerentes e que não

foram equacionados, mesmo considerando o ideário do planejamento urbano de seus primórdios.



**Figura 5.2:** Representação do processo de expansão urbana do DF. Fonte: Adaptado de Motta *et al.* (2001)

O polinucleamento não ensejou que, nesses assentamentos, houvesse espaços de oferta de oportunidades de trabalho e de serviços urbanos nas dimensões necessárias. Com a centralização de empregos e oferta de serviços, consolidou-se uma ocupação excludente do espaço (Paviani, 1991). Na evolução da metrópole, deve-se considerar também a disseminação ilegal ou irregular de “condomínios rurais” e “loteamentos clandestinos”, na tentativa de adicionar núcleos residências não contemplados nas políticas habitacionais do Governo do Distrito Federal (GDF), por vezes ao arrepio da lei (Paviani, 2010).

Na fase inicial, ao não desejar Brasília como grande cidade, o governo de JK impediu a instalação de indústrias poluentes, como o que se predeterminou sua característica de metrópole terciária/quaternária. Todavia, indústrias, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), fazem parte do elenco de características demarcadas para criação de áreas metropolitanas. De fato, em fins da década de 1960 o IBGE criou o

Grupo de áreas Metropolitanas visando a preparar bases estatísticas para o Censo de 1970 (Galvão *et al.*, 2006), específicas para as grandes cidades.

Passados mais de quarenta anos, as características aventadas pelo IBGE podem ser consideradas ultrapassadas para a delimitação de novas áreas metropolitanas e necessitam de adaptação para o caso de cidades grandes como é a situação da Capital Federal.

Em 2006, a massa populacional atual de Brasília era seis vezes superior ao designado pelo IBGE em 1969. A soma dos habitantes dos núcleos do DF superou a casa dos 2,5 milhões de habitantes. A esses, somou-se quase um milhão de habitantes dos municípios limítrofes, que mantiveram laços funcionais com Brasília. A densidade demográfica de 410,9 hab/km<sup>2</sup> do aglomerado era aproximada à estabelecida pelo IBGE.

Desde a sua fundação, a Capital Federal criou vínculos funcionais e de interdependência muito fortes com todas as cidades à sua volta e com os mais distantes centros urbanos do País, por isso decorre do fato de abrigar os poderes da República. Os vínculos ocorrem pela atração de pessoas residentes na periferia goiana e que procuram serviços (de saúde pública, comércio, etc.) ou trabalham no DF, pela telefonia e pelo intenso tráfego rodoviário (Figura 5.2). Há também intenso tráfego aéreo com as demais metrópoles e grandes cidades brasileiras por ser capital do País (Paviani, 2010).

Diante dessa contextualização, pode-se dizer que na fase dos antecedentes (a implementação e consolidação), as ações estatais foram determinantes para o crescimento econômico da cidade e da região, com a implantação de estrutura urbana polinucleada, ao mesmo tempo em que reforçou a centralidade da RA Brasília, dada com a polarização entre local de trabalho e local de moradia e pela concentração de empregos, equipamentos e serviços no centro. Com a consolidação desse centro, as ações de gestão do território reforçaram a periferização, com a restrição do uso e ocupação da Bacia do Paranoá e a expansão territorial para áreas cada vez mais distantes (Frazão, 2009).

### **5.1.2 Crescimento populacional do DF**

Em fins de 1956, inicia-se o recrutamento de trabalhadores para os canteiros de obras e funcionários para a administração local e federal. O estímulo para os funcionários públicos



aceitaram a transferência para a cidade em construção foi a “dobradinha” – o salário em dobro. Os prazos apertados geraram migração de operários – cerca de 12.700 pessoas, recenseadas pelo IBGE, em 1957. Antes de inaugurada, a capital teve sua população multiplicada por dez. Essa população não pôde contar com moradia condigna. Os operários foram para alojamentos dos canteiros de obras e barracos em favelas localizadas em pontos isolados, sobre todo nos arredores da Cidade Livre (Núcleo Bandeirante). Com Taguatinga, em 1958, abriu-se espaço para a primeira cidade-satélite. Para ela, foram transferidos milhares de operários e postos de trabalho no Plano Piloto (Paviani, 2010).

Na Tabela 5.1, apresenta-se o cenário da dinâmica urbana do DF, que multiplicou assentamentos, transformando-os em “cidades” sem o *status* de sede municipal (Paviani, 2010). Com Taguatinga, iniciou-se o polinucleamento urbano, que não cessa até os dias correntes. Outros núcleos foram criados na década 1960-70: Gama, Sobradinho, Guará e outros. Também se ampliaram as localidades pré-existentes: Planaltina e Brazlândia.

**Tabela 5.1:** População do Distrito Federal (1960-2000)

| <b>Localidade</b>   | <b>1960</b> | <b>1970</b> | <b>1980</b> | <b>1991</b> | <b>2000</b> |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Plano Piloto        | 71.728      | 271.570     | 400.104     | 262.264     | 198.422     |
| Guará               | -           | -           | -           | 97.374      | 115.385     |
| N. Bandeirante      | 21.033      | -           | -           | 47.688      | 36.472      |
| Gama                | 811         | 75.914      | 138.602     | 153.279     | 130.580     |
| Taguatinga          | 27.315      | 109.452     | 480.178     | 228.202     | 243.575     |
| Brazlândia          | 734         | 11.507      | 22.583      | 41.119      | 52.698      |
| Sobradinho          | 10.217      | 42.553      | 68.861      | 81.521      | 128.789     |
| Planaltina          | 4.651       | 21.907      | 46.890      | 90.185      | 147.114     |
| Paranoá             | 3.576       | 2.254       | 2.922       | 56.465      | 54.902      |
| Jardim              | 1.677       | 2.335       | 5.044       | -           | -           |
| Ceilândia           | -           | -           | -           | 364.289     | 344.039     |
| Cruzeiro            | -           | -           | -           | 51.230      | 63.883      |
| Samambaia           | -           | -           | -           | 127.431     | 164.319     |
| Riacho Fundo        | -           | -           | -           | -           | 41.404      |
| Candangolândia      | -           | -           | -           | -           | 15.634      |
| Recanto das<br>Emas | -           | -           | -           | -           | 93.287      |
| Lago Norte          | -           | -           | -           | -           | 29.505      |
| Lago Sul            | -           | -           | -           | -           | 28.137      |
| Santa Maria         | -           | -           | -           | -           | 98.679      |
| São Sebastião       | -           | -           | -           | -           | 64.322      |
| Total               | 141.742     | 537.492     | 1.165.184   | 1.601.047   | 2.051.146   |

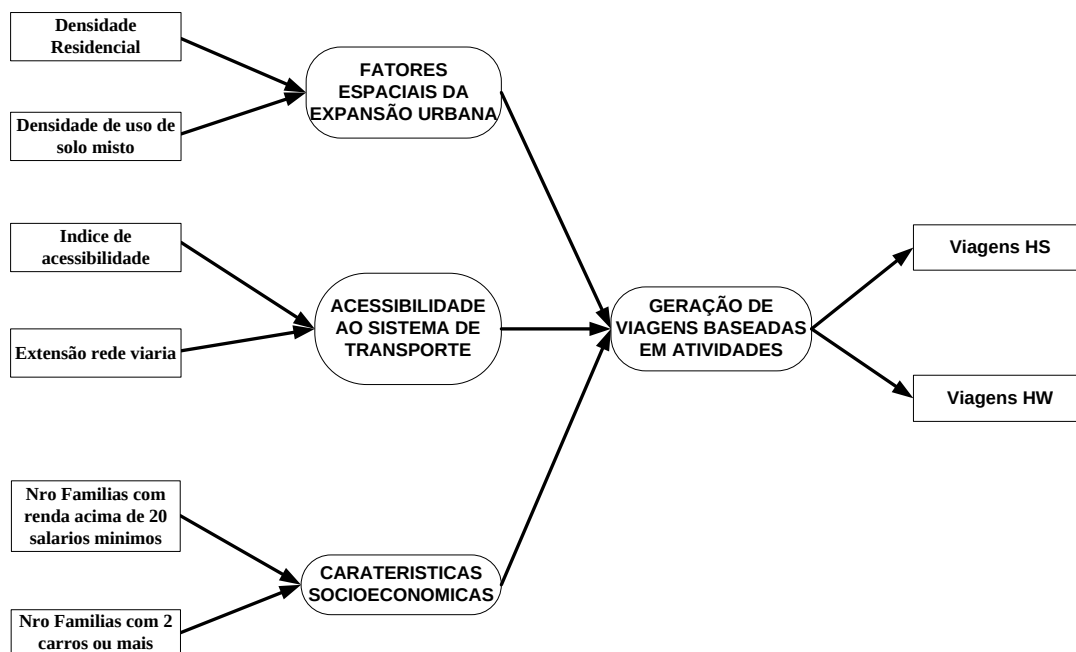
Fonte: Paviani (2010)

A partir do apresentado, o resultado é Brasília com um modelo dicotômico baseado em uma urbanização centropерифeria, mas moldado por uma estrutura urbana fragmentada e dispersa. Essa dinâmica demonstra a relação entre o contexto socioeconômico, as ações de gestão do território e a expansão urbana.

## 5.2 APLICAÇÃO DAS ETAPAS DO MÉTODO

### 5.2.1 Concepção e sistematização do modelo ABTUS

A concepção e sistematização do modelo ABTUS foram realizadas no capítulo quatro na etapa 1 do método desenvolvido. O modelo proposto geral (Figura 4.12) foi simplificado para sua aplicação, resultando no modelo apresentado na Figura 5.3.



**Figura 5.3:** ABTUS simplificado para aplicação

### 5.3 DEFINIÇÃO VARIÁVEIS INDICADORAS

Com o objetivo de produzir uma radiografia completa do sistema de transportes urbanos do Distrito Federal, a CODEPLAN realizou no segundo semestre de 2000 a 3ª Pesquisa O/D Domiciliar, em uma amostra de 2,91% dos domicílios providos de energia elétrica, dez anos após a última pesquisa semelhante, de 1990.

Assim, conforme considerações feitas, os dados da Pesquisa Domiciliar O/D 2000 e informações das características do espaço urbano do Distrito Federal no ano 2000, obtidas por intermédio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), são utilizados no presente estudo de caso. A seguir descrevem-se estas bases de dados.

#### 5.3.1 Definição dos vetores de expansão urbana

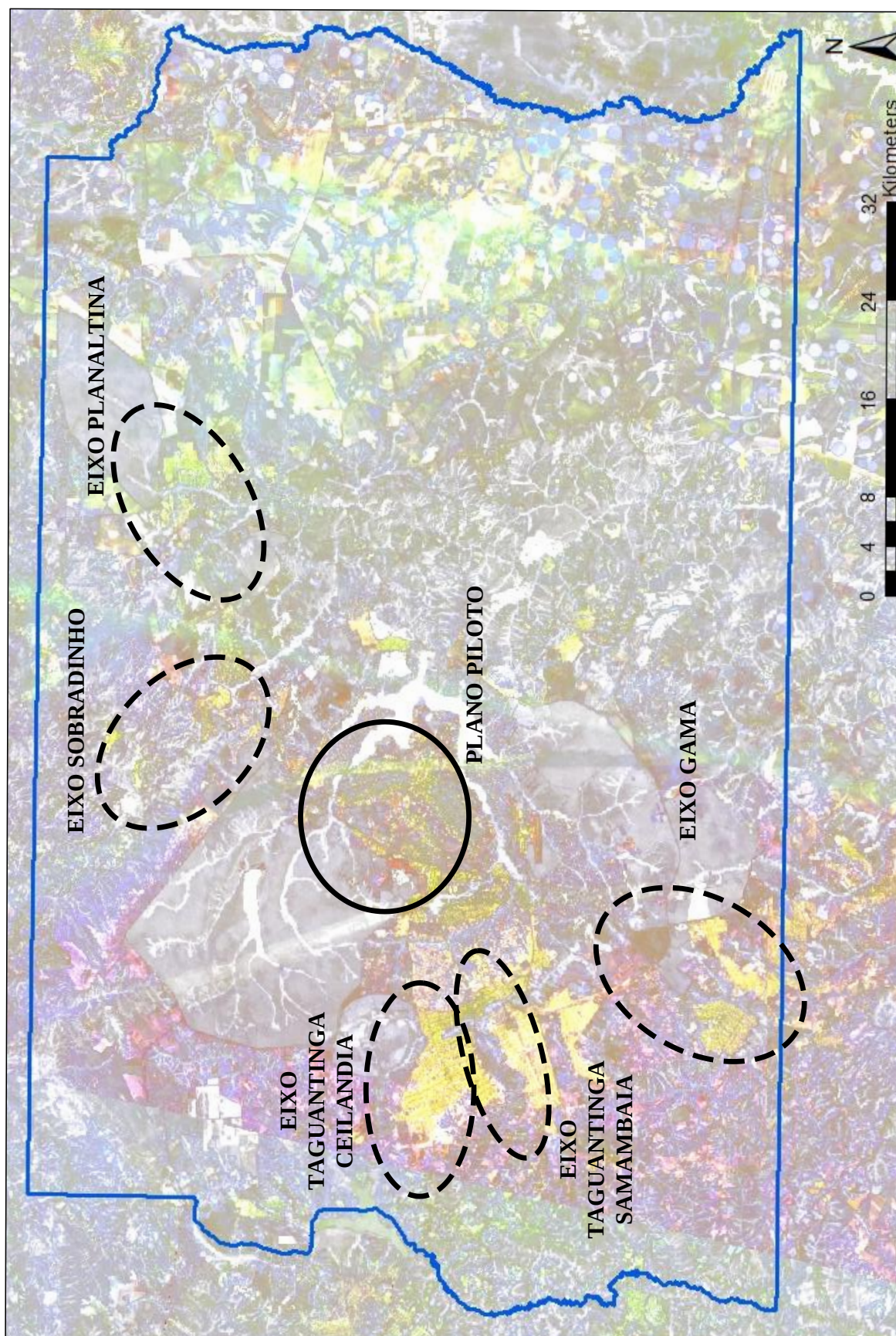
Tomando como referência o trabalho de Anjos (2010) e aplicando uma análise de geoprocessamento da imagem satélite do Distrito Federal no ano 2000, foram identificados os seguintes eixos de expansão urbana: i) eixo Sobradinho, ii) eixo Planaltina, iii) eixo Taguatinga – Ceilandia, iv) eixo Taguatinga – Samambaia, v) eixo Gama. Na Figura 5.4, apresenta-se a imagem geoprocessada e as áreas urbanas com cor amarelo.

Posteriormente, foram inseridas as zonas de tráfego georeferenciadas no ambiente SIG onde os eixos foram identificados. A sobreposição de *layers* facilitou a seleção de zonas de

tráfego para formar os vetores de expansão urbana utilizados para a análise. Como critérios de seleção de zonas de tráfego e formação dos vetores de expansão urbana, foram considerados os seguintes:

- Primeiro, só foram selecionadas as zonas de tráfego dentro do alcance dos eixos identificados.
- Segundo, só foram selecionadas as zonas de tráfego com densidade residencial dentro de seus atributos. As zonas de tráfego com densidade residencial igual a zero foram descartadas.
- Finalmente, os vetores de expansão urbana só foram formados a partir de 15 zonas de tráfego selecionadas. Um vetor com menos de 15 zonas de tráfego não seria adequado para a análise porque a modelagem com equações estruturais requer um número de observações  $\geq 15$ .

Assim, a figura 5.5 apresenta os vetores de expansão urbana formados, e a tabela 5.2 apresenta a relação de zonas de tráfego por vetor de expansão urbana.



**Figura 5.4:** Identificação dos eixos de expansão.



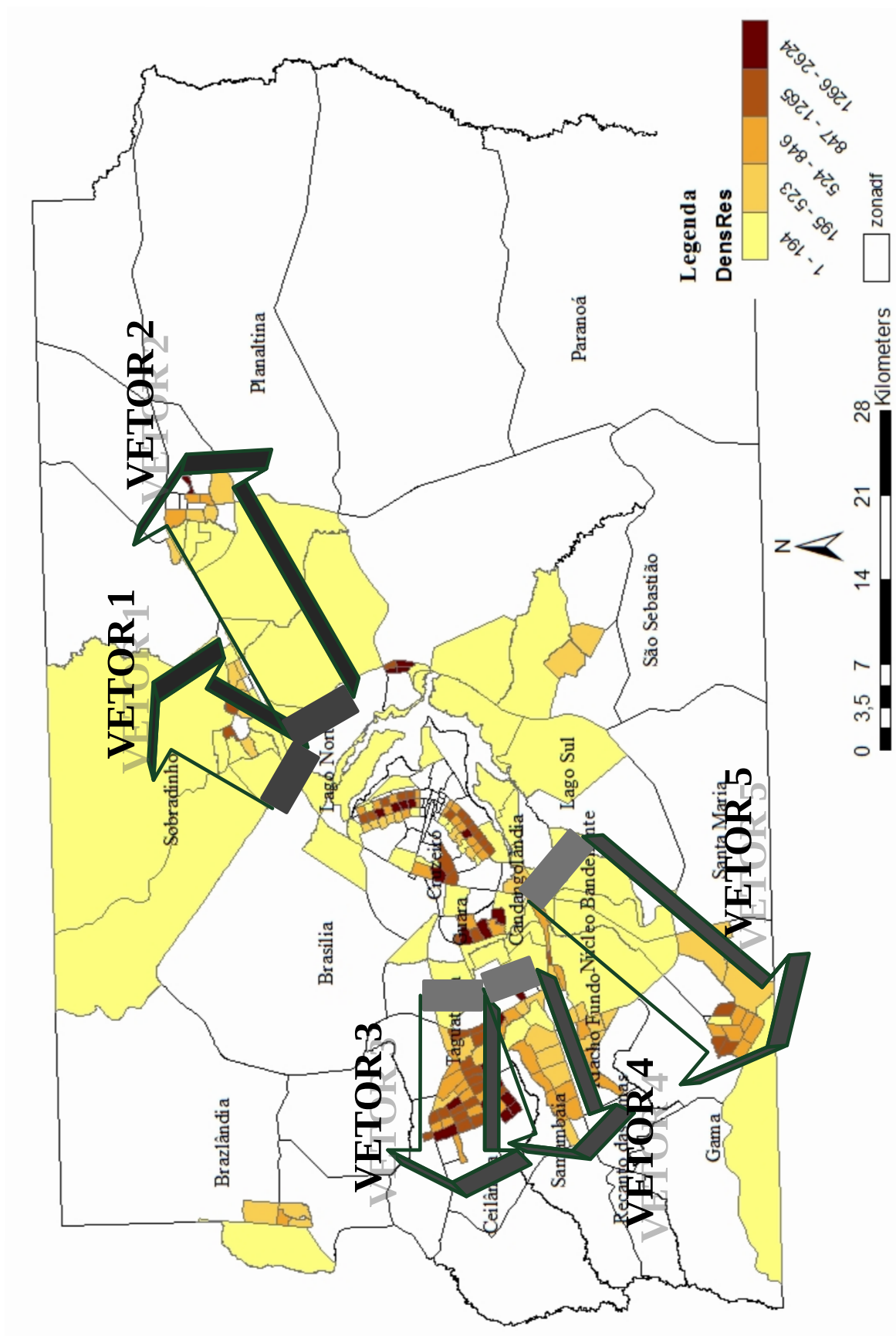


Figura 5.5: Vetores de expansão.

**Tabela 5.2:** Zonas de tráfego selecionadas para cada vetor de expansão urbana

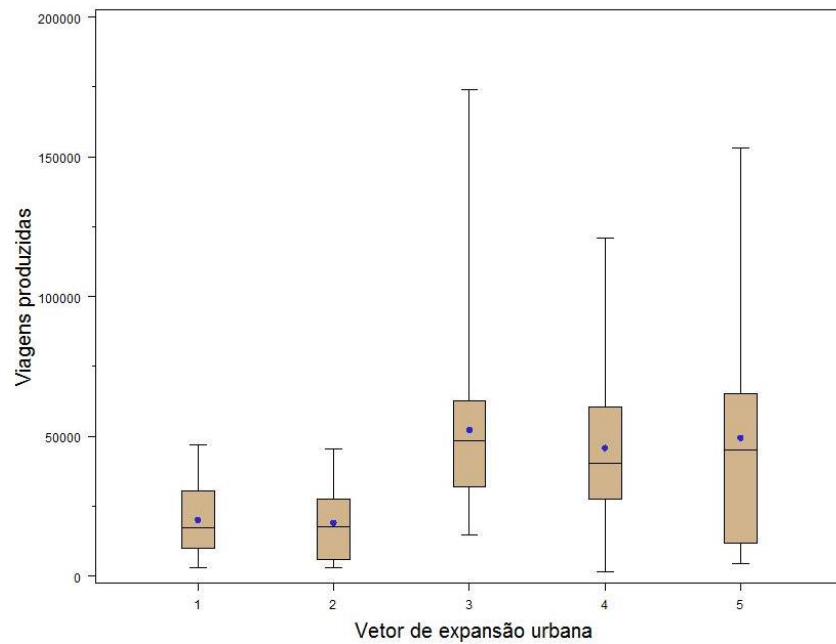
| Vetor    | Zonas | Vetor    | Zonas | Vetor    | Zonas | Vetor    | Zonas | Vetor    | Zonas |
|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| <b>1</b> | 291   | <b>2</b> | 277   | <b>3</b> | 183   | <b>3</b> | 208   | <b>5</b> | 132   |
|          | 292   |          | 279   |          | 184   |          | 209   |          | 227   |
|          | 294   |          | 280   |          | 185   |          | 210   |          | 228   |
|          | 295   |          | 281   |          | 186   | <b>4</b> | 144   |          | 229   |
|          | 296   |          | 282   |          | 187   |          | 145   |          | 230   |
|          | 297   |          | 289   |          | 188   |          | 146   |          | 231   |
|          | 298   |          | 314   |          | 189   |          | 147   |          | 232   |
|          | 300   |          | 315   |          | 190   |          | 148   |          | 233   |
|          | 302   |          | 316   |          | 191   |          | 149   |          | 234   |
|          | 304   | <b>3</b> | 151   |          | 192   |          | 150   |          | 235   |
|          | 305   |          | 152   |          | 193   |          | 166   |          | 236   |
|          | 306   |          | 153   |          | 194   |          | 167   |          | 240   |
|          | 308   |          | 154   |          | 195   |          | 168   |          | 241   |
|          | 309   |          | 155   |          | 196   |          | 169   |          | 242   |
|          | 310   |          | 156   |          | 197   |          | 170   |          | 251   |
|          | 311   |          | 157   |          | 198   |          | 171   |          |       |
|          | 312   |          | 159   |          | 199   |          | 173   |          |       |
|          | 313   |          | 160   |          | 200   |          | 174   |          |       |
| <b>2</b> | 267   |          | 161   |          | 201   |          | 175   |          |       |
|          | 268   |          | 162   |          | 202   |          | 176   |          |       |
|          | 269   |          | 163   |          | 204   |          | 177   |          |       |
|          | 271   |          | 164   |          | 205   |          | 178   |          |       |
|          | 272   |          | 181   |          | 206   | <b>5</b> | 130   |          |       |
|          | 275   |          | 182   |          | 207   |          | 131   |          |       |

### 5.3.2 Filtragem e seleção de dados

Segundo o que foi especificado, o processo de filtragem e seleção de dados tem por objetivo a formação das variáveis indicadoras para os construtos. Com tal propósito, do conjunto total dos dados da pesquisa O/D (correspondentes a 103.705 indivíduos pesquisados), foram excluídos os seguintes tipos de dados: incompletos, aqueles que apresentaram incongruências e referentes a indivíduos menores de 14 anos. Ao final da filtragem, obteve-se um conjunto de 61.950 indivíduos. Estes dados foram agregados, em função das zonas de tráfego selecionadas para cada vetor de expansão urbana.

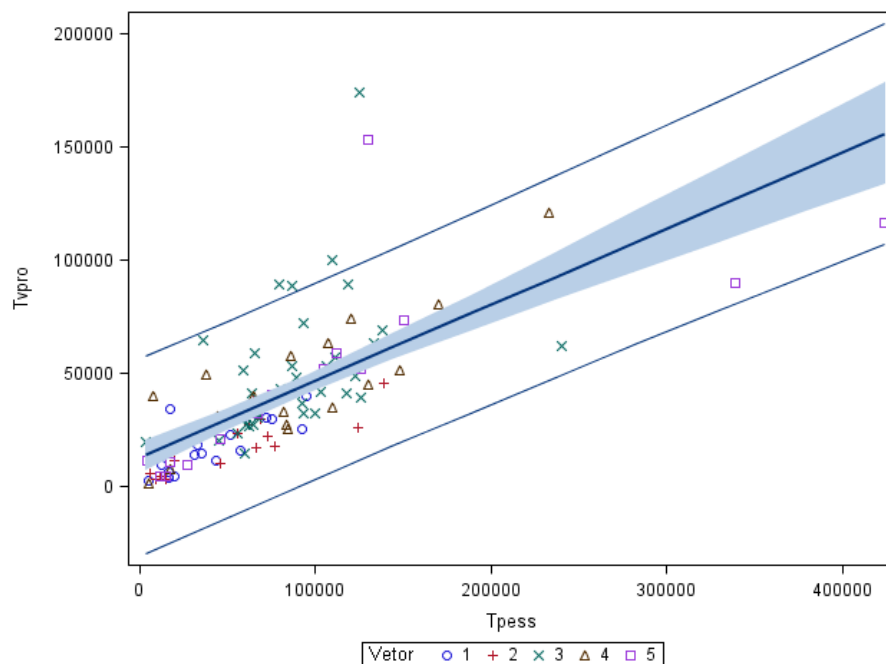
A base de dados, contendo as zonas de tráfego, foi classificada por vetor de expansão urbana, sendo ao todos cinco: o primeiro, constituído por 18 zonas de tráfego que produzem ao todo 362.645 viagens; o segundo, com 15 zonas de tráfego que produzem 286.386 viagens; o terceiro, com 42 zonas de tráfego que produzem 2.197.066 viagens; o quarto, constituído por 19 zonas de tráfego que produzem 871.705 viagens; e o quinto, com 17 zonas de tráfego que produzem 842.044 viagens. A partir desses vetores de expansão urbana, foram construídas as variáveis indicadoras para os construtos latentes.

A Figura 5.6 apresenta os *Box-plots* indicando a média, os percentis, e o mínimo e o máximo valores de viagens, produzidos para cada vetor de expansão urbana.



**Figura 5.6:** *Box-plots* indicando a média, os percentis, e o mínimo e o máximo dos valores de viagens produzidos por zona de tráfego de acordo ao vetor de expansão urbana

A figura 5.7 apresenta um *scatter plot*, dando a relação uni variada preliminar entre total de viagens produzidas e total de residentes nos vetores de expansão urbana. É possível observar que os dados seguem uma tendência positiva linear, mas existem dados atípicos, o que representa zonas de tráfego com valores atípicos.





**Figura 5.7:** *Scatter plot* entre total de viagens produzidas e total de residentes para cada vetor de expansão urbana, com uma regressão linear e limites de 95% de confiança

### 5.3.3 Construção das variáveis indicadoras

#### 5.3.3.1 Construtos latentes exógenos

a) **Fatores espaciais da expansão urbana:** Como foi apresentado no capítulo 4, as variáveis indicadoras que correspondem ao vetor de fatores do espaço urbano são  $DEN_R$  e  $MIX_{US}$ . Estas variáveis indicadoras foram calculadas para cada zona de tráfego dos vetores de expansão definidos. A Tabela 5.3 apresenta as estatísticas descritivas agregadas, segundo o vetor de expansão urbana para estas duas variáveis.

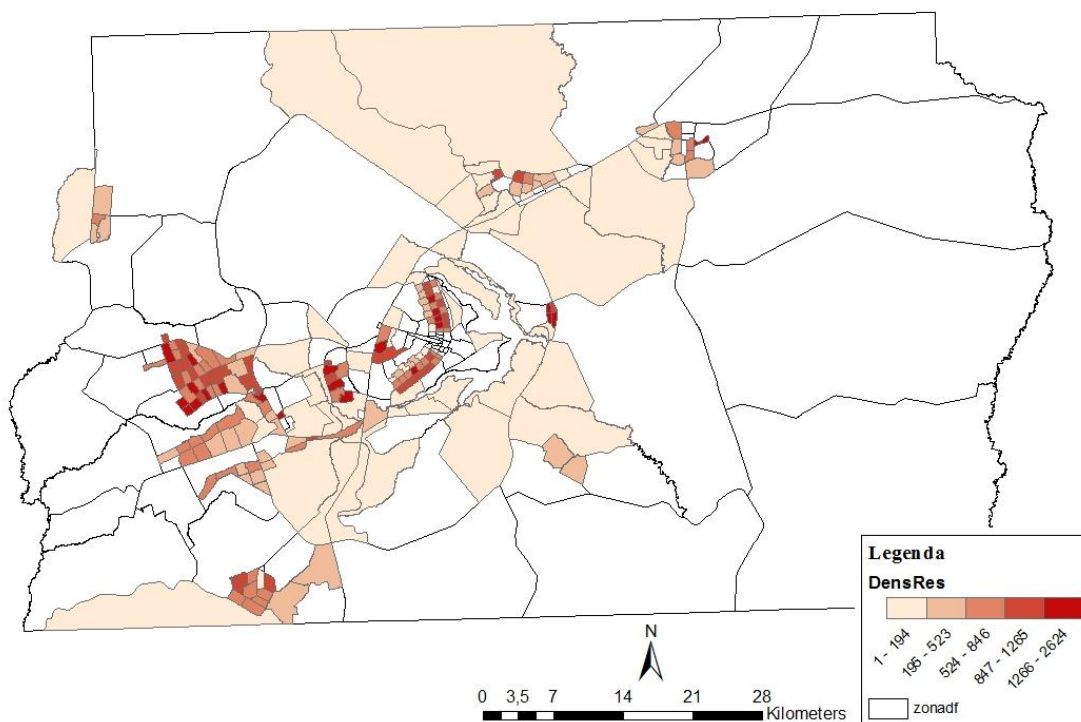
**Tabela 5.3:** Estatísticas descritivas das variáveis  $DEN_R$  e  $MIX_{US}$  para os correspondentes vetores de expansão urbana

| Variável   | No obs. | Media | Mínimo | Máximo | Std.dev |
|------------|---------|-------|--------|--------|---------|
| $MIX_{US}$ |         |       |        |        |         |
| Vetor 1    | 18      | 0,369 | 0,105  | 0,814  | 0,200   |
| Vetor 2    | 15      | 0,256 | 0,000  | 0,552  | 0,141   |
| Vetor 3    | 42      | 0,343 | 0,091  | 0,923  | 0,192   |
| Vetor 4    | 19      | 0,361 | 0,144  | 0,901  | 0,181   |
| Vetor 5    | 17      | 0,343 | 0,190  | 0,930  | 0,177   |
| $DEN_R$    |         |       |        |        |         |
| Vetor 1    | 18      | 296,1 | 1      | 1012   | 292,6   |
| Vetor 2    | 15      | 341,6 | 1      | 1294   | 378,0   |
| Vetor 3    | 42      | 926,8 | 112    | 1557   | 332,1   |
| Vetor 4    | 19      | 587,7 | 15     | 1606   | 367,4   |
| Vetor 5    | 17      | 444,3 | 2      | 1014   | 374,5   |

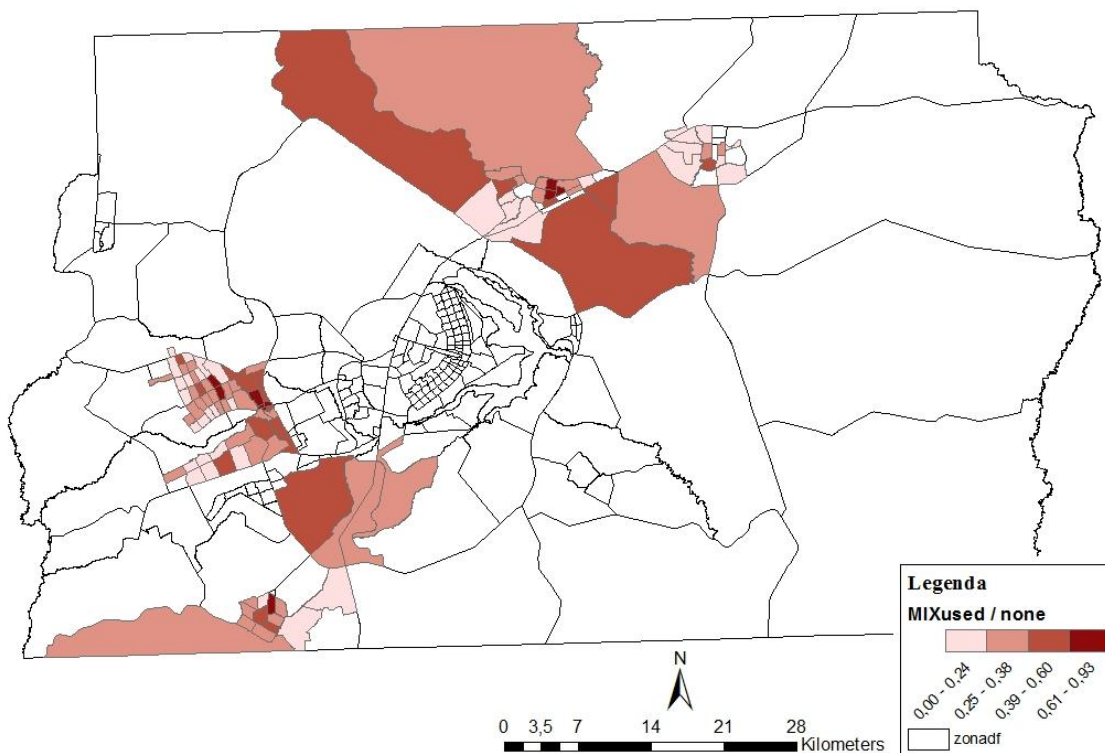
Na Figura 5.8, observa-se a distribuição espacial da densidade residencial por zona de tráfego no DF, dividida em cinco classes. Além do Plano Piloto, existe uma concentração de zonas de alta densidade no eixo Taguatinga-Ceilândia, cujo eixo forma o vetor de expansão três. Os vetores 1 e 2 apresentam as mais baixas densidades.

No caso do indicador de uso de solo  $MIX_{US}$ , a figura 5.9 apresenta a distribuição espacial desta variável nas zonas de tráfego selecionadas para os vetores de expansão, divididos em quatro classes. Cada vetor de expansão urbana possui algumas zonas que têm maior mistura de uso de solo, o que também pode ser considerado como zonas com

maior atratividade de atividades e de viagens. Também considera-se essas zonas como núcleos de viagens locais dentro de cada vetor de expansão urbana.



**Figura 5.8:** Mapa temático da densidade residencial no Distrito Federal ano 2000



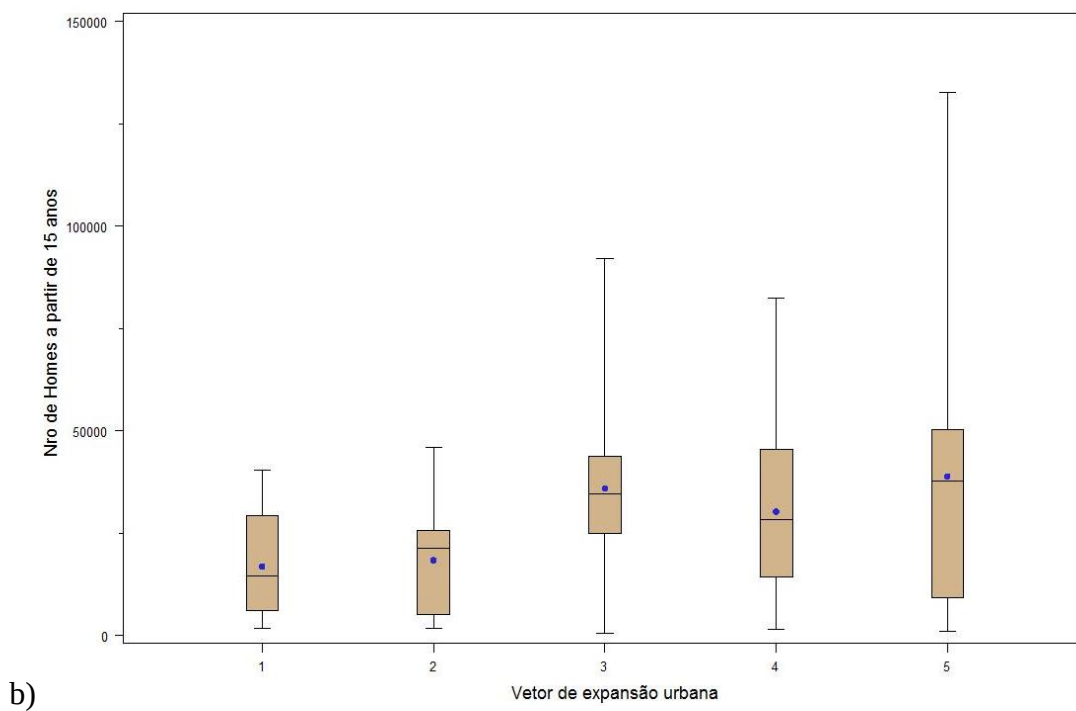
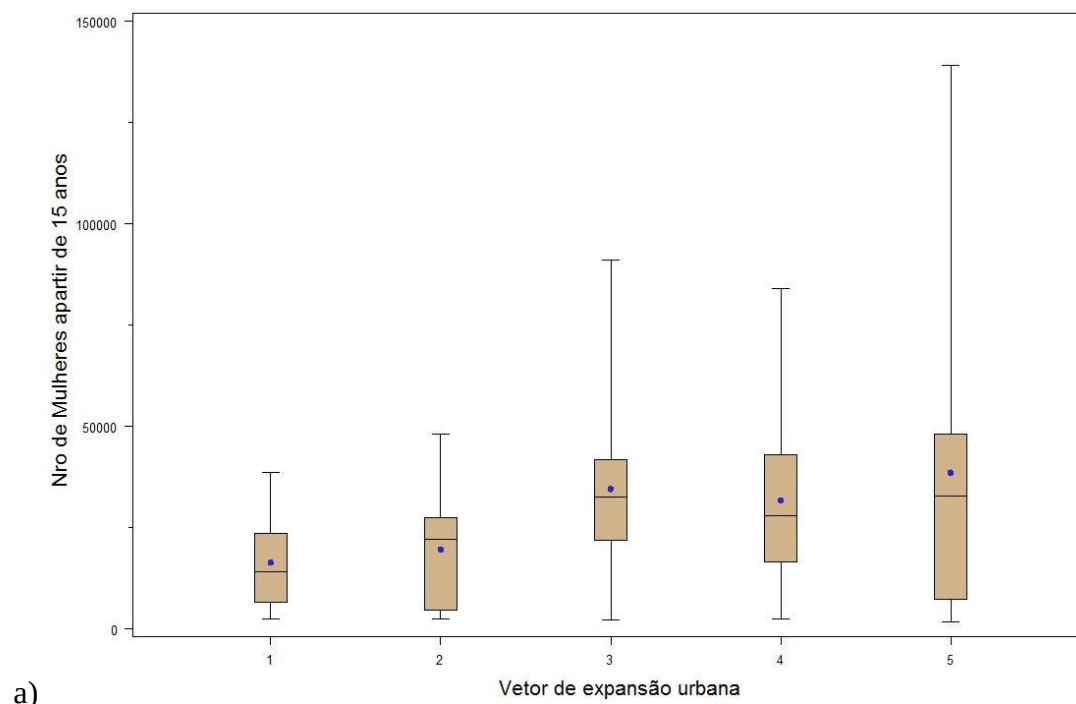
**Figura 5.9:** Mapa temático distribuição do  $MIX_{US}$  nas zonas de tráfego selecionadas

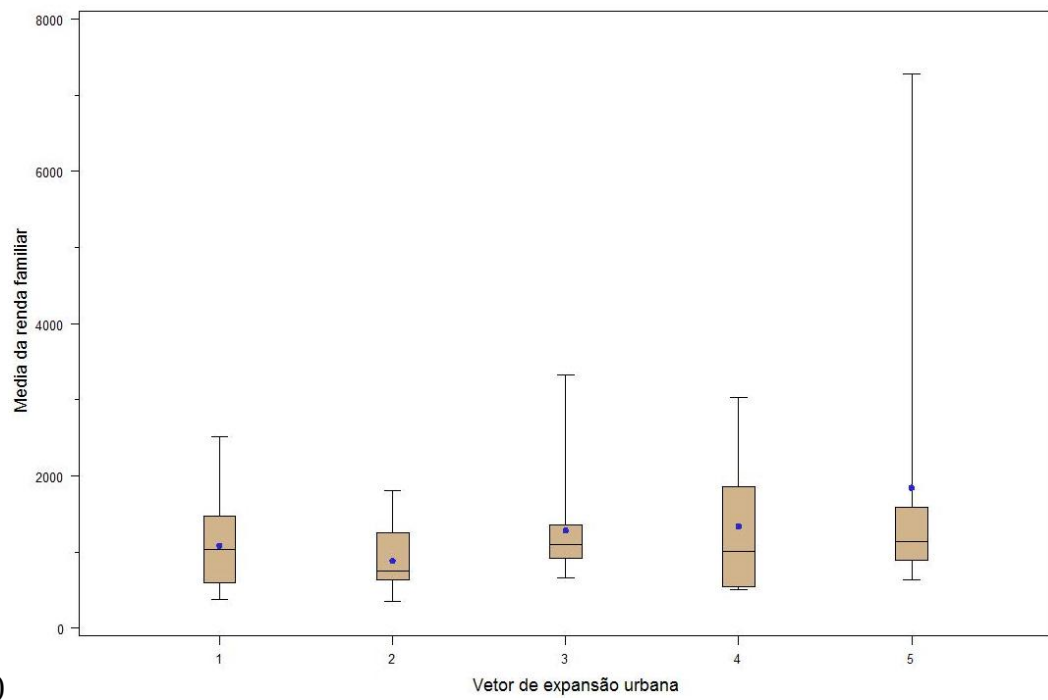
- **Características socioeconômicas:** Para o vetor de fatores socioeconômicos foram utilizadas as variáveis indicadoras apresentadas no capítulo 4, analisando as características socioeconômicas das zonas de tráfego selecionadas para cada vetor. Para serem utilizadas neste trabalho, os dados para essas variáveis foram agregadas por zona de tráfego. A tabela 5.4 apresenta as estatísticas descritivas das variáveis indicadoras agrupadas por vetor de expansão urbana.

**Tabela 5.4:** Estatísticas descritivas das variáveis indicadoras características socioeconômicas

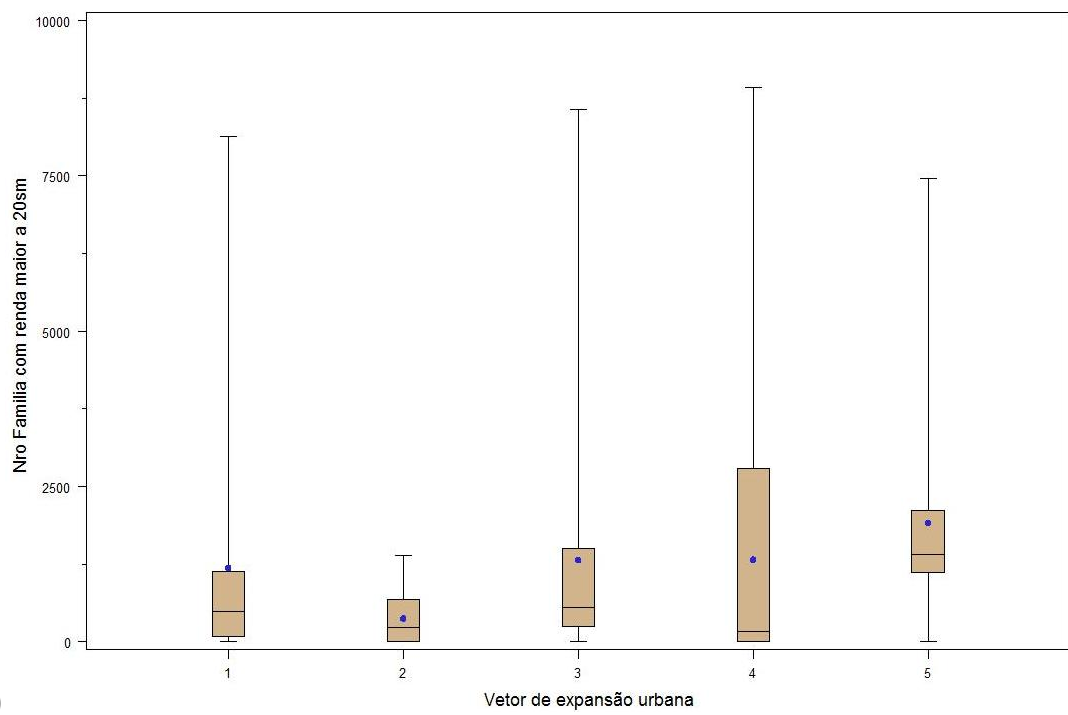
| Variável          | No obs. | Media     | Minimo  | Máximo   | Std.dev   |
|-------------------|---------|-----------|---------|----------|-----------|
| <b>Nfam_r20sm</b> |         |           |         |          |           |
| Vetor 1           | 18      | 1193,000  | 0       | 8130     | 1973,602  |
| Vetor 2           | 15      | 379,667   | 0       | 1384     | 475,025   |
| Vetor 3           | 42      | 1318,500  | 0       | 8569     | 1839,955  |
| Vetor 4           | 19      | 1327,053  | 0       | 8923     | 2227,023  |
| Vetor 5           | 17      | 1919,471  | 0       | 7453     | 1917,273  |
| <b>Nfam_2car</b>  |         |           |         |          |           |
| Vetor 1           | 18      | 2705,278  | 0       | 11174    | 2787,558  |
| Vetor 2           | 15      | 796,800   | 0       | 2568     | 811,649   |
| Vetor 3           | 42      | 3459,119  | 0       | 10456    | 2841,156  |
| Vetor 4           | 19      | 2151,316  | 0       | 7187     | 1794,949  |
| Vetor 5           | 17      | 3650,941  | 0       | 8876     | 2624,319  |
| <b>Mrendafam</b>  |         |           |         |          |           |
| Vetor 1           | 18      | 1086,000  | 382,400 | 2516,000 | 566,600   |
| Vetor 2           | 15      | 888,200   | 355,600 | 1841,000 | 404,600   |
| Vetor 3           | 42      | 1287,000  | 655,900 | 3329,000 | 598,800   |
| Vetor 4           | 19      | 1341,000  | 501,700 | 3034,000 | 862,800   |
| Vetor 5           | 17      | 1848,000  | 635,400 | 7276,000 | 1801,000  |
| <b>N_homes15</b>  |         |           |         |          |           |
| Vetor 1           | 18      | 16923,010 | 1712    | 40315    | 11843,460 |
| Vetor 2           | 15      | 18459,680 | 1894    | 46050    | 12901,180 |
| Vetor 3           | 42      | 36029,220 | 595     | 92006    | 16790,240 |
| Vetor 4           | 19      | 30306,580 | 1453    | 82346    | 19944,720 |
| Vetor 5           | 17      | 38960,350 | 1133    | 132715   | 35663,820 |
| <b>N_mulher15</b> |         |           |         |          |           |
| Vetor 1           | 18      | 16378,280 | 2389    | 38555    | 11105,110 |
| Vetor 2           | 15      | 19627,680 | 2282    | 48006    | 13889,330 |
| Vetor 3           | 42      | 34528,110 | 2125    | 91144    | 17205,860 |
| Vetor 4           | 19      | 31726,650 | 2363    | 84016    | 20778,050 |
| Vetor 5           | 17      | 38591,150 | 1676    | 139128   | 38348,620 |

A figura 5.10 Apresenta o conjunto de *box-plots* das variáveis indicadoras do fator socioeconômico correspondentes a cada vetor de expansão urbana.

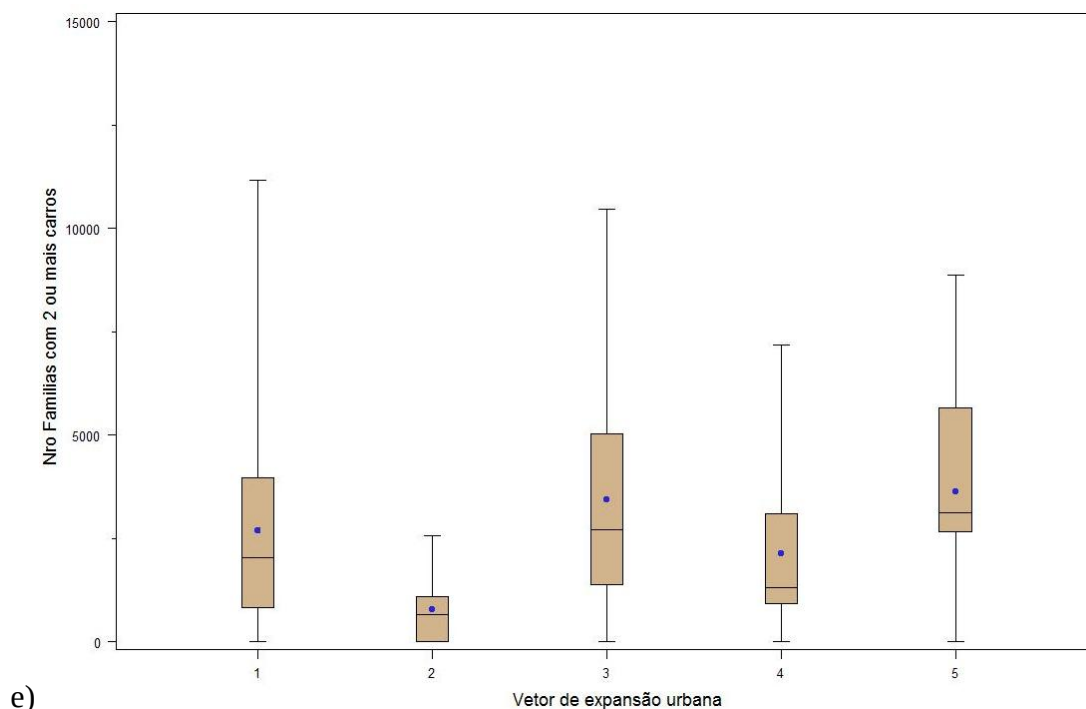




c)



d)



**Figura 5.10:** *Box-plots* das características socioeconômicas por vetor de expansão urbana, a) Nro. de mulheres à partir de 15 anos, b) Nro. de Homens à partir de 15 anos, c) Média da renda familiar, d) Nro. de famílias com renda familiar a partir de 20 salários mínimos, e) Nro. de famílias com 2 ou mais carros

Na Figura 5.10.a pode-se observar que os vetores 3, 4, e 5 possuem maior número de mulheres à partir de 15 anos. O mesmo acontece com o caso de homens na Figura 5.10.b. A partir da Figura 5.10.c é possível observar que não existe muita variação entre vetores correspondente a média de renda familiar, mas existem zonas de tráfego com valores atípicos no vetor 5. Os vetores 5 e 4 possuem o maior número de famílias com a renda à partir de 20 salários mínimos, como apresenta a figura 5.10.d. Na figura 5.10.e é possível observar que os vetores 1, 3, e 5 apresentam o maior número de famílias que possuem mais de dois carros.

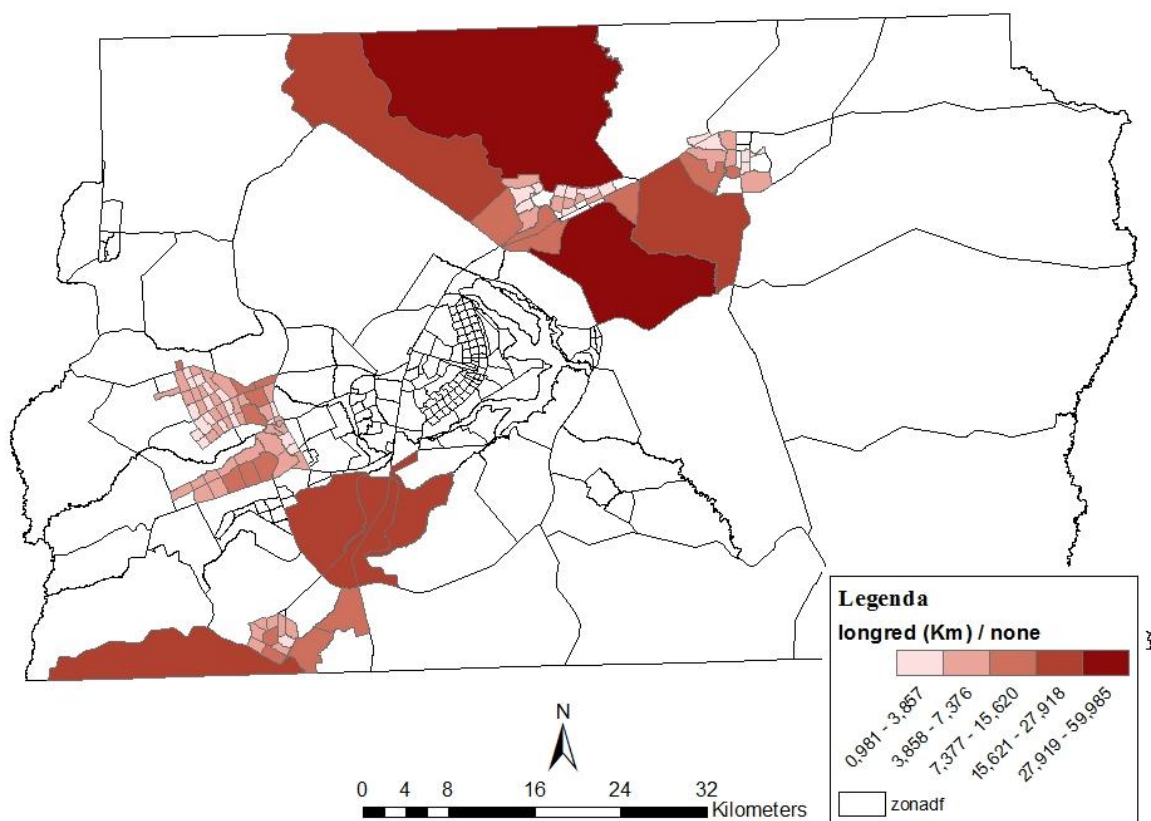
- **Acessibilidade ao sistema de transporte:** Na tabela 5.5 apresentam-se as estatísticas descritivas das variáveis indicadoras da acessibilidade do sistema de transporte, correspondente a cada padrão de expansão urbana.

**Tabela 5.5:** estatísticas descritivas das variáveis *Longred* e *IndAcc* segundo os vetores de expansão urbana

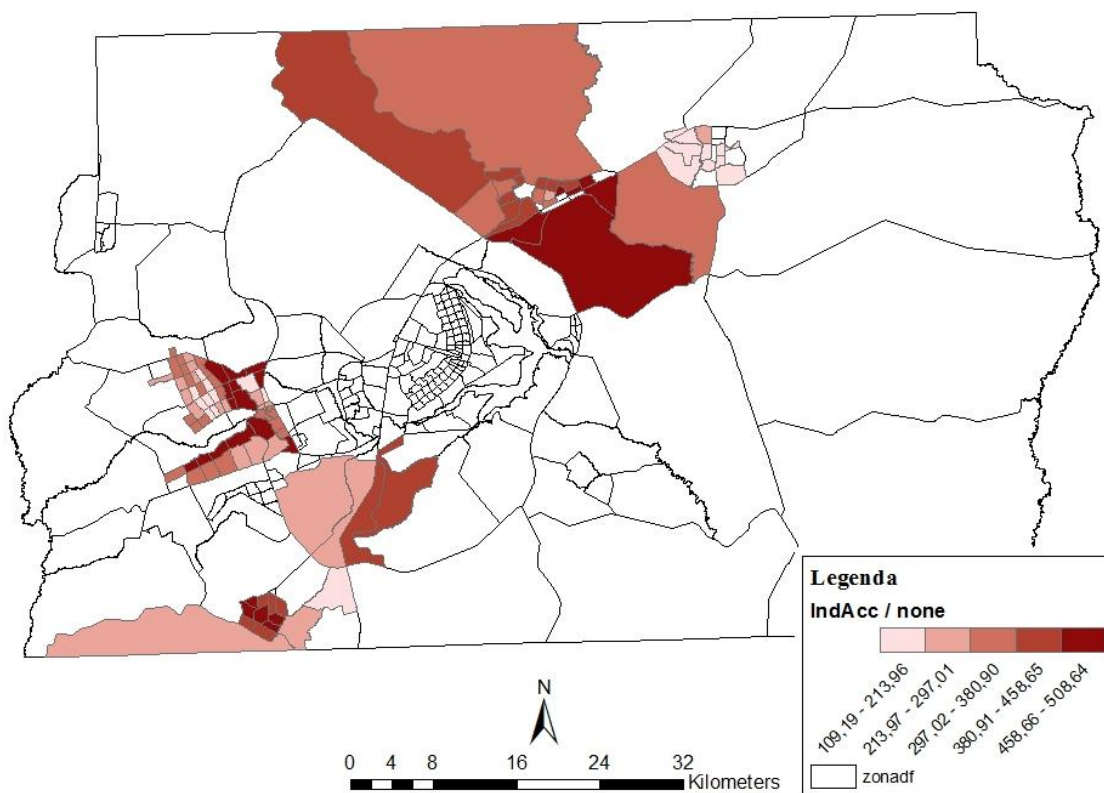
| Variável       | No obs. | Media | Mínimo | Máximo | Std.dev |
|----------------|---------|-------|--------|--------|---------|
| <b>Longred</b> |         |       |        |        |         |
| Vetor 1        | 18      | 8,756 | 0,981  | 59,990 | 14,160  |
| Vetor 2        | 15      | 10,33 | 1,715  | 46,420 | 11,880  |
| Vetor 3        | 42      | 4,609 | 1,034  | 10,130 | 2,285   |
| Vetor 4        | 19      | 5,671 | 1,451  | 11,970 | 2,470   |
| Vetor 5        | 17      | 11,62 | 3,324  | 25,530 | 8,030   |
| <b>IndAcc</b>  |         |       |        |        |         |
| Vetor 1        | 18      | 410,3 | 286,9  | 476,30 | 51,68   |
| Vetor 2        | 15      | 240,1 | 109,2  | 469,60 | 133,30  |
| Vetor 3        | 42      | 307,6 | 148,9  | 501,00 | 108,50  |
| Vetor 4        | 19      | 374,4 | 260,2  | 508,60 | 96,17   |
| Vetor 5        | 17      | 395,4 | 188,5  | 480,20 | 103,10  |

A Figura 5.11 apresenta o mapa temático dos valores da variável *Longred* das zonas de tráfego seleccionadas, divididos em cinco classes. Na figura, observa-se que os vetores de expansão 3 e 4 apresentam os menores valores de *Longred* por zona de tráfego comparados com os outros vetores. As zonas correspondentes aos vetores 3 e 4 possuem menores áreas, apresentando um grau de compactação urbana maior que as outras zonas de tráfego.

A Figura 5.12 apresenta o mapa temático do índice de acessibilidade por distância média entre zonas de tráfego, dividido em cinco classes. Ressalta-se que os valores maiores representam maior acessibilidade, os valores menores, por sua vez, representam menor acessibilidade.



**Figura 5.11:** Mapa temático da extensão da rede viária de cada zona de tráfego selecionada do DF



**Figura 5.12:** Mapa temático do índice de acessibilidade por distância média entre zonas de tráfego selecionadas



### 5.3.3.2 Constructo latente endógeno

- a) **Geração de viagens baseadas em atividades:** Como foi mencionado no item 4.5.3.2., o vetor de padrões de viagens está baseado nas atividades (que motivaram as viagens).

A Figura 5.13 apresenta o mapa das linhas de desejo de viagens segundo a pesquisa OD feita no ano 2000 para o DF. Foram desenhadas setas para indicar onde estão as maiores tendências de viagens urbanas. Pode-se observar que a maior tendência de viagens urbanas concentra-se entre Plano Piloto e os vetores de expansão 3 e 4. Também existe uma alta tendência de viagens entre o Plano Piloto, os vetores 3, 4 e o vetor 5 (que corresponde às regiões de Gama e Santa Maria).



**Figura 5.13:** Tendências de deslocamento da Matriz OD 2000 do DF

As variáveis indicadoras descritas no item 4.5.3.2 foram calculadas para cada zona de tráfego. Assim, a tabela 5.6 apresenta o resumo das frequências de padrões de viagens baseadas em atividades correspondentes a cada vetor de expansão urbana.

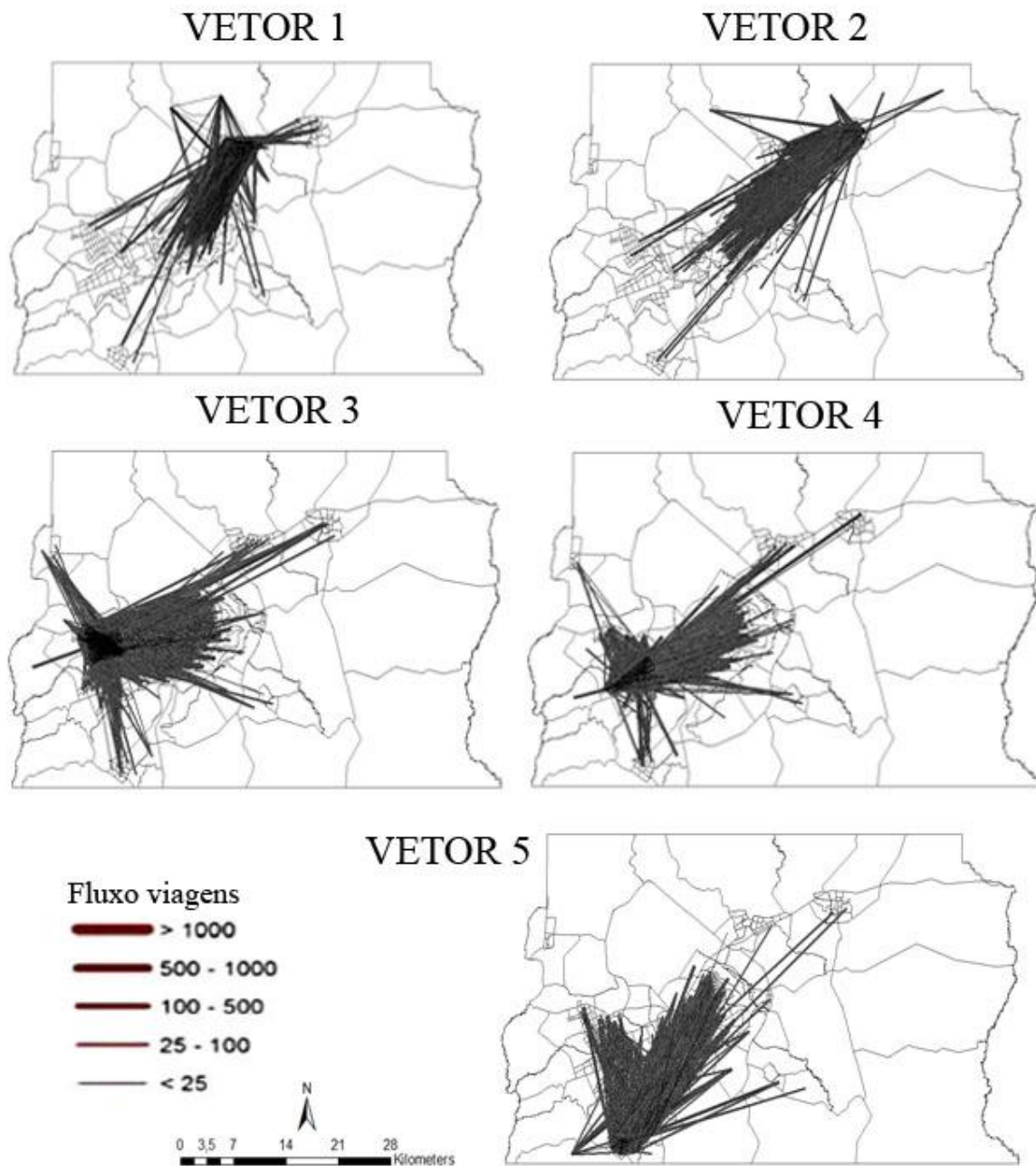
**Tabela 5.6:** Frequência de padrões de viagens baseadas em atividades

| <b>Padrões de viagens B.A.</b> |     | <b>Nro. Viagens</b> | <b>(%) Relativo ao total de viagens baseados na residência (H) por vetor</b> |
|--------------------------------|-----|---------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Vetor 1                        | HW  | 204723              | 49                                                                           |
|                                | HS  | 192084              | 46                                                                           |
|                                | HM  | 4901                | 1                                                                            |
|                                | HA' | 19567               | 5                                                                            |
| Vetor 2                        | HW  | 203031              | 49                                                                           |
|                                | HS  | 198082              | 48                                                                           |
|                                | HM  | 2691                | 1                                                                            |
|                                | HÁ  | 10423               | 3                                                                            |
| Vetor 3                        | HW  | 1058349             | 45                                                                           |
|                                | HS  | 1035170             | 44                                                                           |
|                                | HM  | 41865               | 2                                                                            |
|                                | HA' | 242319              | 10                                                                           |
| Vetor 4                        | HW  | 445092              | 40                                                                           |
|                                | HS  | 543114              | 49                                                                           |
|                                | HM  | 26532               | 2                                                                            |
|                                | HA' | 90126               | 8                                                                            |
| Vetor 5                        | HW  | 453969              | 41                                                                           |
|                                | HS  | 542894              | 49                                                                           |
|                                | HM  | 18708               | 2                                                                            |
|                                | HA' | 92376               | 8                                                                            |

Os padrões HW (residência – trabalho) e HS (residência – estudo) representam a maioria das viagens realizadas nos vetores, considerando como base a residência. O padrão HW apresenta os maiores percentagens de viagens urbanas para os vetores 1, 2, e 3. Mas, no caso dos vetores 4 e 5, o padrão HS apresenta maiores percentagens. Os padrões HM (residência – saúde) e HA (residência – outras atividades) apresentam percentagens baixas, portanto a existem poucos residentes nos vetores de expansão que realizam estas atividades como principais. Portanto, é possível que saúde e outras atividades sejam realizadas como atividades secundárias, complementares às atividades principais estudo e trabalho.

Observa-se que o Plano Piloto é a região de maior atração de viagens HW, considerando a distribuição espacial das linhas de desejo de viagens dos cinco vetores na Figura 5.14. Taguatinga apresenta-se como a segunda região com maior atração de viagens HW para os vetores 3, 4, e 5, observando-se que existem também viagens

internas entre os vetores de expansão urbana. Fenômenos similares de viagens ao Plano Piloto e viagens internas podem ser observadas para os vetores 1 e 2.



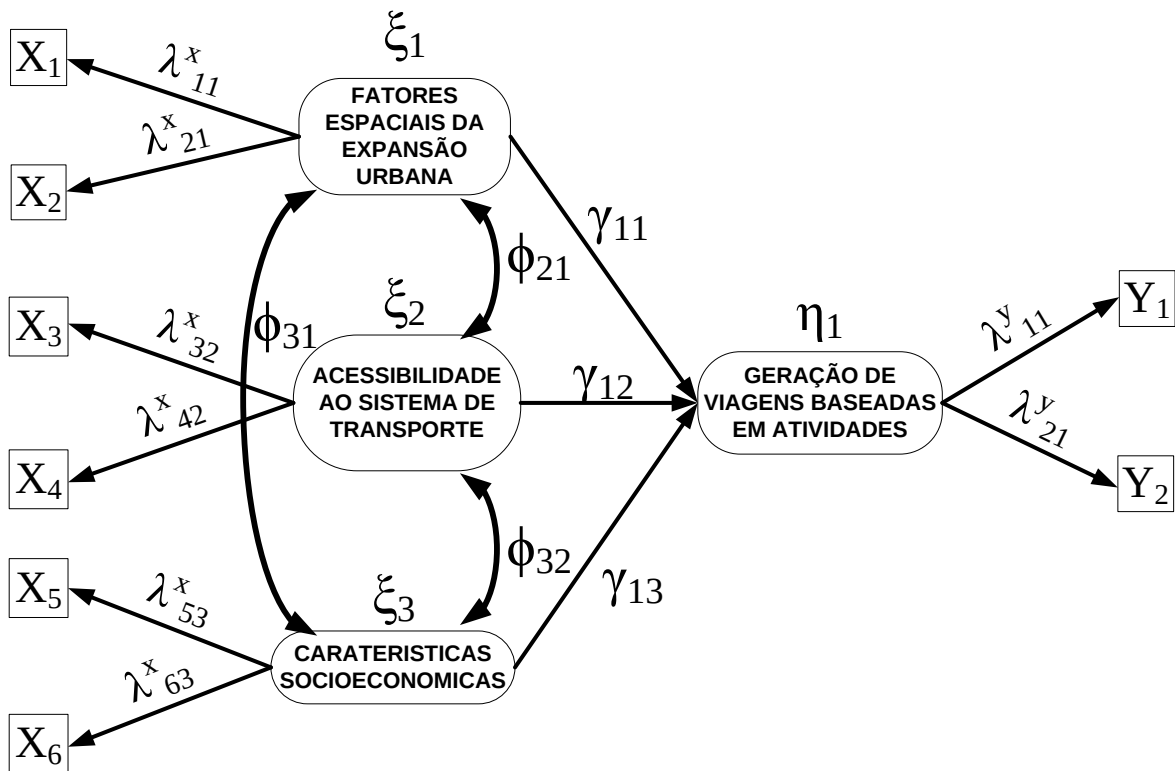
**Figura 5.14:** Fluxos de viagens HW para cada vetor de expansão urbana

Os padrões de viagens HW e HS parecem ter maior consistência e representatividade de viagens realizadas nos vetores de expansão urbana. Assim, para evitar discrepâncias e erros no processo da modelagem, só foram considerados esse dois padrões como variáveis indicadoras do construto endógeno latente.

#### 5.4 DIMENSIONAMENTO E ESTIMAÇÃO DO ABTUS

A seguir é apresentada a estrutura completa do Modelo ABTUS elaborado para o teste, incluindo os critérios para a formulação dos modelos de mensuração de X e de Y e a forma de identificação e representação de todas as variáveis manifestas empregadas em cada modelo de mensuração. Cabe destacar que, este modelo foi modificado da proposta apresentada no item 5.3.1, considerando que ele não produziu um ajuste significativo em testes exploratórios.

A estrutura completa do ABTUS é apresentada na figura 5.15. Os construtos latentes e variáveis indicadoras, bem como os parâmetros a serem estimados, são listados nas tabelas 5.7 e 5.8.



**Figura 5.15:** Modelo Activity-Based Travels of Urban Sprawl (ABTUS)

**Tabela 5.7:** Descrição das variáveis latentes e parâmetros estruturais do MPEUPV

| <b>Variável Latente</b>     | <b>Descrição</b>                                                                              |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\xi_1$                     | Padrão de expansão urbana (Fatores espaço urbano)                                             |
| $\xi_2$                     | Acessibilidade do sistema de transporte (Fatores espaciais e temporais)                       |
| $\xi_3$                     | Características socioeconômicas                                                               |
| $\eta_1$                    | Comportamento da demanda de viagem                                                            |
| <b>Parâmetro estrutural</b> |                                                                                               |
| $\gamma_{11}$               | Impacto do padrão de expansão urbana sobre o comportamento da demanda de viagem               |
| $\gamma_{12}$               | Impacto da acessibilidade do sistema de transporte sobre o comportamento da demanda de viagem |
| $\gamma_{13}$               | Impacto das características socioeconômicas sobre o comportamento da demanda de viagem        |
| $\phi_{31}$                 | Covarianza entre o padrão de expansão urbana e as características socioeconômicas             |
| $\phi_{21}$                 | Covarianza entre o padrão de expansão urbana e acessibilidade do sistema de transporte        |
| $\phi_{32}$                 | Covarianza entre acessibilidade do sistema de transporte e características socioeconômicas    |

**Tabela 5.8:** Descrição das variáveis indicadoras e parâmetros estruturais do MPEUPV

| <b>Padrão de Expansão Urbana</b>               |         |                |                  |
|------------------------------------------------|---------|----------------|------------------|
| Variável indicadora                            | Notação | Parâmetro      | Tipo de variável |
| MIX <sub>US</sub>                              | X1      | $\lambda_{11}$ | Continua         |
| DEN <sub>R</sub>                               | X2      | $\lambda_{21}$ | Continua         |
| <b>Acessibilidade do Sistema de Transporte</b> |         |                |                  |
| Variável indicadora                            | Notação | Parâmetro      | Tipo de variável |
| Longred                                        | X3      | $\lambda_{32}$ | Continua         |
| IndAcc                                         | X4      | $\lambda_{42}$ | Continua         |
| <b>Características socioeconômicas</b>         |         |                |                  |
| Variável indicadora                            | Notação | Parâmetro      | Tipo de variável |
| Nfam_r20sm                                     | X5      | $\lambda_{53}$ | Continua         |
| Nfam_2car                                      | X6      | $\lambda_{63}$ | Continua         |
| <b>Comportamento da Demanda de Viagem</b>      |         |                |                  |
| Variável indicadora                            | Notação | Parâmetro      | Tipo de variável |
| N_HW                                           | Y1      | $\lambda_{11}$ | Continua         |
| N_HS                                           | Y2      | $\lambda_{21}$ | Continua         |

O MPEUPV é formado por três variáveis latentes independentes e uma dependente. O padrão de expansão urbana, acessibilidade do sistema de transporte e as características socioeconômicas são exógenas ao modelo. Cada uma delas é explicada por duas variáveis indicadoras. Nesse modelo, admite-se a covariância entre o padrão de expansão urbana, acessibilidade do sistema de transporte e as características socioeconômicas.

## 5.5 VALIDAÇÃO DO MODELO ABTUS

O ABTUS foi estimado utilizando a Máxima Verossimilhança. Nas tabelas 5.9 e 5.10 são apresentados os parâmetros de efeitos totais entre as variáveis e os índices de avaliação do ajuste do modelo.

**Tabela 5.9:** Efeitos totais estimados entre variáveis

| From                                    | To                                   |    |                                         |                                 |                                           |     |
|-----------------------------------------|--------------------------------------|----|-----------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|-----|
|                                         | Fatores espaciais da expansão urbana |    | Acessibilidade ao sistema de transporte | Características socioeconômicas | Geração de viagens baseadas em atividades |     |
| <b>Latentes exógenas</b>                |                                      |    |                                         |                                 |                                           |     |
| Fatores espaciais da expansão urbana    |                                      |    |                                         |                                 | 1,070                                     | **  |
| Acessibilidade ao sistema de transporte |                                      |    |                                         |                                 | 0,663                                     |     |
| Características socioeconômicas         |                                      |    |                                         |                                 | 0,168                                     | **  |
| <b>Exógenas</b>                         |                                      |    |                                         |                                 |                                           |     |
| MIX <sub>US</sub>                       | -0,186                               | *  |                                         |                                 |                                           |     |
| DEN <sub>R</sub>                        | 0,789                                | ** |                                         |                                 |                                           |     |
| Longred                                 |                                      |    | 0,692                                   |                                 |                                           |     |
| IndAcc                                  |                                      |    | 0,192                                   |                                 |                                           |     |
| Nfam_r20sm                              |                                      |    |                                         | 0,709                           | ***                                       |     |
| Nfam_2car                               |                                      |    |                                         | 1,048                           | ***                                       |     |
| N_HW                                    |                                      |    |                                         |                                 | 1,125                                     | *** |
| N_HS                                    |                                      |    |                                         |                                 | 0,813                                     | *** |

\* = significante a um nível 0,10

\*\* = significante a um nível 0,05

\*\*\* = significante a um nível 0,01

**Tabela 5.10:** Índices de avaliação do MPEUPV

|                                       | Goodness-of-fit do modelo        |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Tamanho da amostra                    | 111                              |
| Chi <sup>2</sup> -value               | 29,5                             |
|                                       | (P = 0,014)                      |
| Graus de liberdade                    | 15                               |
| Goodness-of-Fit Index (GFI)           | 0,94                             |
| Adjusted Goodness-of Fit Index (AGFI) | 0,855                            |
| Normed Fit Index (NFI)                | 0,931                            |
| Comparative Fit Index (CFI)           | 0,964                            |
| RMSA                                  | 0,094                            |
|                                       | (LO90% = 0,041 ;<br>HI90%=0,143) |

Na tabela 5.10 os indicadores de ajuste absoluto GFI e CFI foram simultaneamente satisfeitos. O  $\chi^2$  é de 29,5 e a razão máxima de 5 vezes o número de graus de liberdade (Hair *et al.* 2005) foi respeitada.

## 5.6 TOPICOS CONCLUSIVOS

Ao revisar os documentos sobre o processo de planejamento territorial do Distrito Federal, observa-se que, desde sua concepção, houve intenso esforço em elaborar diretrizes urbanísticas com base em critérios técnicos. Contudo, nota-se o descompasso entre o planejamento e o crescimento urbano desordenado que aconteceu no Distrito Federal, evidenciado com a confrontação do histórico de documentos técnicos e planos diretores elaborados e aprovados no DF com a realidade da ocupação do espaço urbano e falta de entendimento das expansões urbanas.

Assim, O modelo ABTUS foi aplicado com o caso de estudo de Distrito Federal no ano 2000. Como base de dados foi utilizada a Pesquisa Domiciliar O/D 2000. Cinco vetores de expansão urbana foram identificados e 111 zonas de tráfego foram selecionadas para análise e construção das variáveis indicadoras.

Os padrões de viagens baseadas em atividades mais significativos identificados nos vetores de expansão foram: Residência-Trabalho e Residência-Estudo. O modelo ABTUS foi estimado com o método de máxima verossimilhança e foram obtidos os índices de avaliação de qualidade de ajuste para validar o mesmo. Uma discussão mais detalhada dos resultados do modelo será realizada no seguinte capítulo.



## **6. ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Neste capítulo é apresentada a análise dos resultados do modelo Activity-Based Travels of Urban Sprawl (ABTUS). Os dados foram trabalhados em um nível agregado de zonas de tráfego, e a análise e a interpretação dos resultados obtidos são feitas em dois momentos: primeiramente, em nível global; e posteriormente, em nível local de modelagem. Após estas duas análises, são explicadas as hipóteses de causalidade das relações que foram obtidas.

Assim a seção 6.2 apresenta os resultados das avaliações. Na seção 6.3 os resultados obtidos são analisados e interpretados. A seção 6.4 apresenta uma proposta de modificação do MPEUPV. Finalizando este capítulo, a seção 6.5 apresenta os tópicos conclusivos do capítulo.

### **6.1 RESULTADOS DA MODELAGEM**

#### **6.1.1 Avaliação global do ABTUS**

Os resultados da avaliação global do ABTUS foram apresentados no capítulo 5 seção 5.6 tabela 5.10. O modelo apresenta um qui-quadrado igual a 29,5 com graus de liberdade de 15 e um nível descritivo (p-level) igual a 0,014. Estes resultados apresentam uma discrepância baixa do ajuste do ABTUS.

Em relação aos indicadores de ajuste absoluto tem-se:

- O índice de qualidade de ajuste foi de 0,94, considerado bom;
- O RMSA foi de 0,094, o valor obtido encontra-se acima do recomendado de 0,08 mas é menor de 0,10. Então, aceita-se marginalmente um ajuste de boa qualidade do modelo.

No caso dos índices de ajuste parcimonioso:

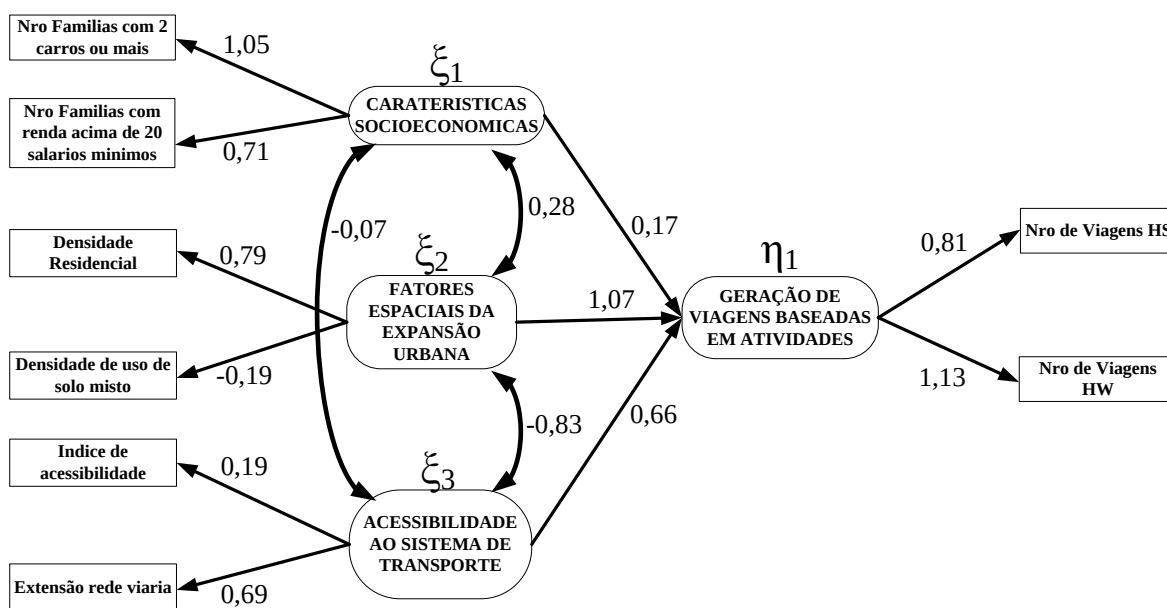
- O AGFI tem um valor de 0,855 (o que é próximo ao recomendado valor de 0,90). Então, aceita-se marginalmente um ajuste de boa qualidade do modelo;
- A relação entre o qui-quadrado e os graus de liberdade é de 1,964, considerada dentro dos limites recomendados (0,10- 2,00).

Em relação aos índices de ajuste incremental: o Índice Tucker-Lewis (TLI) foi de 0,933 e o índice de ajuste normalizado (NFI) foi de 0,931. Ambos índices suportam o bom ajuste de qualidade do modelo.

Em resumo, os resultados obtidos nos índices de avaliação global do modelo proporcionam suficiente evidência para aceitar a boa qualidade de ajuste do ABTUS.

### 6.1.2 Avaliação local MPEUPV

Na avaliação local do ABTUS foram analisadas todas as relações entre as variáveis com o propósito de confirmar a hipótese de causalidade entre a expansão urbana e os padrões de viagens baseadas em atividades. Na figura 6.1 foram apresentados os parâmetros padronizados, a fim de medir a real importância de explicação das variáveis. Percorrendo esses caminhos, é possível verificar os impactos diretos e indiretos das variáveis indicadoras independentes sobre as variáveis dependentes.



**Figura 6.1:** ABTUS com parâmetros padronizados

Primeiramente, o parâmetro  $\gamma$  com maior poder explicativo encontra-se na relação entre o padrão de expansão urbana e o comportamento da demanda de viagem. O impacto das características socioeconômicas sobre o comportamento da demanda de viagem tem a menor das representatividades nos constructos latentes. A acessibilidade do sistema de transporte tem um impacto forte no comportamento da demanda de viagem, mas o parâmetro  $\gamma$  não passou no teste de significância. O parâmetro  $\phi$  também sugere que acessibilidade do sistema de transporte é independente das características

socioeconômicas. Mas para o caso entre padrão de expansão urbana e acessibilidade do sistema de transporte, sugere um grau de dependência inversa. A maior variação de expansão urbana, a acessibilidade tem pouca variação. Para as características socioeconômicas, o parâmetro  $\phi$  sugere que existe uma dependência positiva direta com padrão de expansão urbana, considerando que o acréscimo da expansão urbana aumenta a quantidade de famílias e pessoas.

A tabela 5.9 do capítulo 5 apresenta os parâmetros padronizados estimados de efeitos totais entre variáveis indicadoras e latentes.

As hipóteses das relações propostas do modelo entre os constructos latentes foram satisfeitas para o teste de significância, com a exceção do constructo de Acessibilidade do sistema de transporte. Na seção 6.3 serão discutidas essas hipóteses.

#### 6.1.2.1 Fatores espaciais da expansão urbana

O impacto dos fatores espaciais da expansão urbana, parâmetro  $\gamma_{12}$ , no comportamento da demanda de viagem é de 1,07, satisfazendo o teste de hipótese a um nível de confiança de 5%. Padrão de expansão urbana explica a causalidade do comportamento da demanda em um 1,07.

O efeito total da variável indicadora de densidade residencial,  $DEN_R$ , foi positivo de 0,789 sobre o padrão de expansão urbana. A variável indicadora de densidade de uso de solo misto,  $MIX_{US}$ , apresenta uma relação negativa de 0,186 sobre o padrão de expansão urbana.

Os fatores espaciais da expansão urbana também apresentam efeitos indiretos padronizados positivos de 0,869 sobre o número de viagens residência-estudo ( $N_{HS}$ ), e 1,203 sobre o número de viagens residência-trabalho ( $N_{HW}$ ).

#### 6.1.2.2 Características socioeconômicas

O impacto das características socioeconômicas sobre o comportamento da demanda de viagem ( $\gamma_{11}$ ) apresenta um valor de 0,168, satisfazendo o teste de hipótese a um nível de confiança de 5%. O que significa que as características socioeconômicas explicam a causalidade do comportamento de viagem em 0,168 dentro do modelo ABTUS.

Os efeitos totais das variáveis indicadoras são significativos a um nível de confiança de 1%. Para o número de famílias que possuem dois carros ou mais (Nfam\_2c), o valor estimado foi positivo de 1,048. No caso do número de famílias com renda superior a 20 salários mínimos (Nfam\_r20sm), o valor estimado foi positivo de 0,709. A variável Nfam\_2c tem um maior poder explicativo do construto características socioeconômicas.

O construto características socioeconômicas apresenta os seguintes efeitos indiretos padronizados positivos: 0,136 sobre o número de viagens residência-estudo (N\_HS), e 0,188 sobre o número de viagens residência-trabalho (N\_HW).

#### 6.1.2.3 Acessibilidade ao sistema de transporte

O impacto da acessibilidade do sistema de transporte ( $\gamma_{13}$ ) sobre o comportamento da demanda de viagem apresenta também um valor positivo de 0,663.

O efeito total da variável indicadora *Longred* sobre o construto acessibilidade do sistema de transporte 0,692. No caso do índice de acessibilidade de distância média entre centróides (IndAcc), o efeito total foi de 0,192.

O construto acessibilidade ao sistema de transporte apresenta os seguintes efeitos indiretos padronizados positivos: 0,539 sobre o número de viagens residência-estudo (N\_HS), e 0,746 sobre o número de viagens residência-trabalho (N\_HW).

## 6.2 INTERPRETAÇÃO DAS RELAÇÕES DE CAUSALIDADE

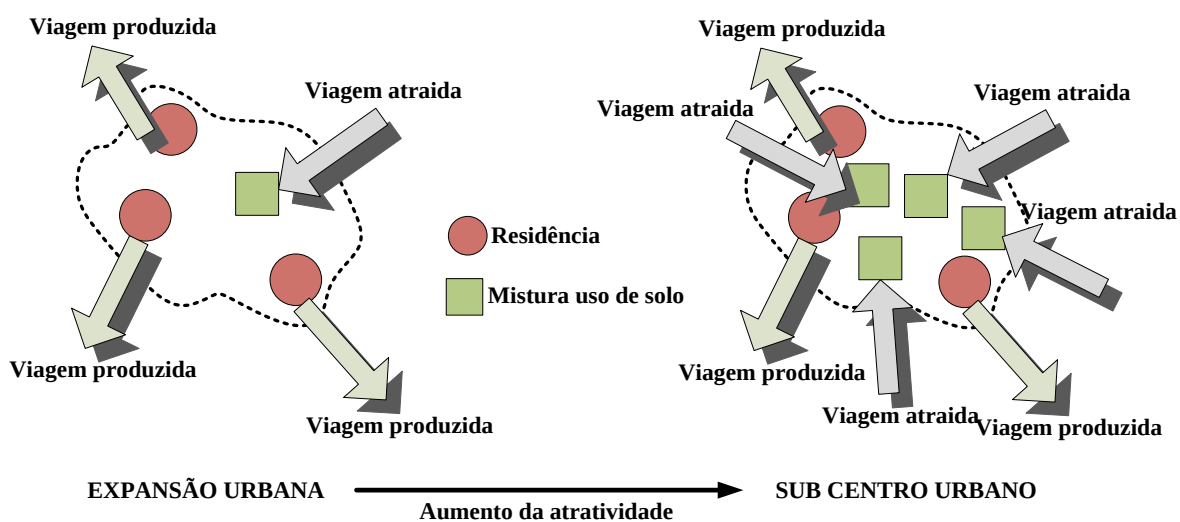
Nesta seção serão explicadas as relações obtidas com o modelo ABTUS. Todas as relações foram obtidas a um nível de dados agregados por zonas de tráfego.

### 6.2.1 Fatores espaciais da expansão urbana e geração de viagens baseadas em atividades

A hipótese de causalidade entre fatores espaciais da expansão urbana a (FEXU) e a geração de viagens baseadas em atividades (GVA) não foi rejeitada segundo os resultados obtidos. O construto latente FEXU tem uma influencia positiva no GVA. Acredite-se que quanto

maior a expansão urbana, maior é a demanda de viagens. O FEXU tem também influência indireta positiva nos padrões de viagens Residência-Estudo e Residência-Trabalho, sendo neste último de maior relação. Assim, acredita-se que quanto maior for o FEXU, maiores serão os padrões de viagens Residência-Estudo e Residência-Trabalho produzidos.

Sobre as variáveis indicadoras, a densidade residencial apresenta o maior valor positivo, sendo interessante também o valor obtido da variável de densidade de uso de solo misto ( $MIX_{US}$ ), que apresenta uma influência negativa no padrão de expansão urbana. Isso indica que quanto maior for a densidade de uso de solo misto, menor será a expansão urbana. Considerando estas relações, pode-se inferir que as variáveis estabelecem um equilíbrio dentro do ABTUS. Geralmente as expansões urbanas são caracterizadas pelo uso de solo residencial e pouca mistura com outros usos de solo. Portanto, a medida que a densidade de uso de solo misto aumenta, a característica de expansão urbana diminui, transformando o espaço urbano em um subcentro urbano e com maior atratividade de viagens (Figura 6.2).



**Figura 6.2:** Representação do equilíbrio entre mistura de uso de solo e densidade residencial

O padrão de expansão urbana, para este caso, resulta da interação equilibrada entre a densidade residencial e a mistura de uso de solo ou atratividade da zona. Acredita-se, segundo os resultados empíricos, que a expansão urbana tem uma relação causal positiva no comportamento da demanda de viagens e na produção dos padrões Residência-Estudo e Residência-Trabalho.

### **6.2.2 Características socioeconômicas e geração de viagens baseadas em atividades**

A hipótese de causalidade entre o construto latente de características socioeconômicas e a geração de viagens baseadas em atividades também não foi rejeitada. O construto latente características socioeconômicas (CSE) tem uma influência positiva na geração de viagens baseadas em atividades (GVA). Comparado com o construto latente padrão de expansão urbana, essa influência resulta ser menor porque os dados foram trabalhados em um nível agregado por zona de tráfego, e a variável dependente é o número de viagens produzidas. Assim, acredita-se que realizando uma análise sobre escolha modal, os fatores socioeconômicos terão uma influencia maior.

O CSE também tem uma influência positiva indireta nos padrões de viagens Residência-Estudo e Residência-Trabalho. Assim, acredita-se que os fatores socioeconômicos influenciam na formação dos padrões de viagens. No tocante as variáveis indicadoras, o numero de famílias com posse de dois veículos ou mais (Nfam\_2c) apresenta ter a maior influência no construto CSE. Já o numero de famílias com renda maior que 20 salários mínimos (Nfam\_r20sm) tem uma influência também importante, próxima a 1 sobre este construto. Ambas variáveis representam a configuração das famílias que residem nas zonas de tráfego analisadas. Como se pode observar para o caso de Distrito Federal, a expansão urbana é formada principalmente por famílias com indivíduos que têm a necessidade de realizar viagens partindo da residência para o trabalho ou para o estudo. Assim, os resultados do ABTUS sugerem quanto maior a posse de veículos nas famílias, maiores padrões de viagens serão produzidos. Também foi possível observar que a configuração de famílias residentes é uma boa variável indicadora para trabalhar a um nível agregado de zonas de tráfego.

Segundo a análise empírica realizada, é evidente que a configuração socioeconômica das famílias residentes no Distrito Federal tem uma influência importante no comportamento da demanda de viagens. E principalmente na modelagem realizada, ela interage simultaneamente com o padrão de expansão urbana para explicar causalmente o comportamento da demanda de viagens.

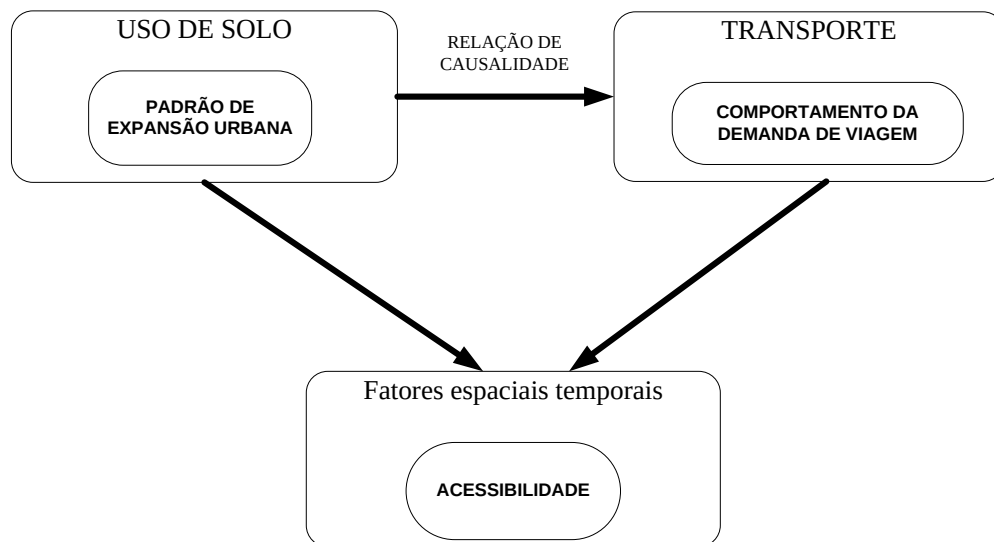
### **6.2.3 Acessibilidade ao sistema de transporte e geração de viagens baseadas em atividades**

A hipótese de causalidade entre o construto latente de acessibilidade de transporte e geração de viagens baseadas em atividades foi rejeitado segundo os resultados obtidos. Portanto, os parâmetros obtidos na estimação também não passaram nos testes de significância para as variáveis indicadoras.

Embora os resultados rejeitem a hipótese de causalidade para o construto latente acessibilidade do sistema de transporte, não significa que o processo teórico de interação espacial/temporal e o índice acessibilidade de transporte não interagem no processo de geração de viagens. Eles são parte importante neste processo de geração de padrões de viagens, mas as variáveis indicadoras não foram adequadas para representar o fenômeno modelado.

Revisando o modelo teórico do ABTUS, o processo de interação espacial/temporal parece ser melhor explicado por variáveis indicadoras de atributos do sistema de transporte, do que pelas variáveis indicadoras de acessibilidade do sistema de transporte. Isso acontece porque no processo de geração de viagens as pessoas realizaram viagens indiferentemente ao nível de acessibilidade da zona de tráfego. Sugere-se a exploração de variáveis indicadoras de atributos do sistema de transporte. Dentro do grupo dessas variáveis indicadoras também devem ser consideradas as restrições espaciais e temporais, que afetam o desempenho do sistema de transporte, portanto também têm influência nos padrões de viagens.

Revisando o ciclo de retroalimentação uso de solo-transporte (Wegener e Greiving, 2001), pode-se entender que acessibilidade é função da interação do uso de solo e do transporte. Assim, considerando a modelagem aplicada no ABTUS, a variável de acessibilidade na realidade é uma variável latente função da interação entre o padrão de expansão urbana e o comportamento da demanda de viagem, como se apresenta na Figura 6.3.



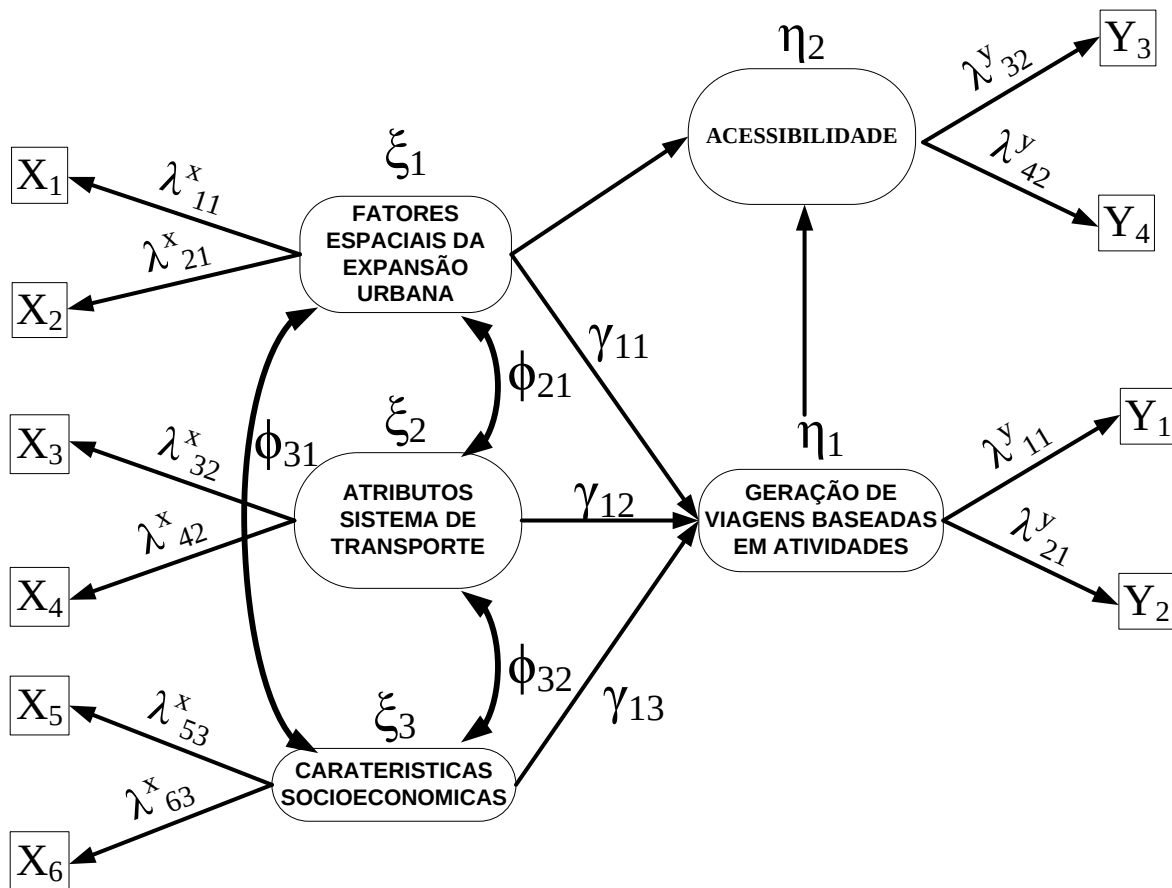
**Figura 6.3:** Modificação da relação acessibilidade no ABTUS

### 6.3 PROPOSTA DE MODIFICAÇÃO DO ABTUS

Embora o modelo ABTUS tenha sido aceito nos índices de qualidade de ajuste para a avaliação global, a hipótese de causalidade foi rejeitada para a relação causal do construto latente AST. Portanto, com base nos resultados obtidos, sugere-se a modificação do ABTUS como se apresenta na figura 6.4.

A modificação do ABTUS requer da elaboração de variáveis indicadoras adequadas para o construto latente Atributos do Sistema de Transporte. Assim, uma análise mais profunda deverá ser realizada para a elaboração desses indicadores.





**Figura 6.4:** Modificação proposta do ABTUS

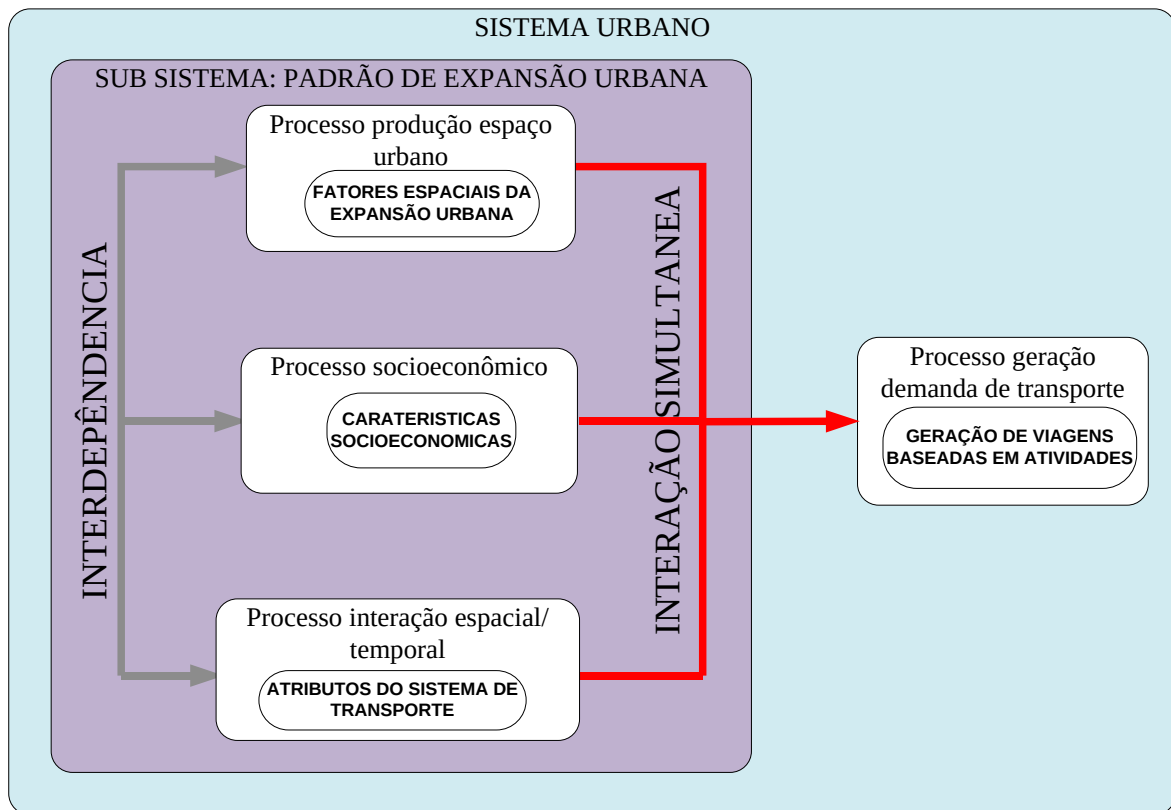
#### 6.4 A EXPANSÃO URBANA COMO UM INDICADOR DE TRANSPORTE

A partir dos resultados encontrados na modelagem do ABTUS, acredita-se que a hipótese de que existe uma relação causal entre expansão urbana e padrões de viagens não se rejeita. As estimações dos parâmetros  $\gamma$  apresentam que o construto latente de padrão de expansão urbana tem a maior influência no comportamento da demanda de viagem, na geração dos padrões de viagens baseadas em atividades HW e HS. Os resultados da modelagem também não rejeitam a inexistência dos construtos latentes PEU, CSE e CDV.

Os resultados obtidos apresentam a evidência empírica de que os construtos de fatores espaciais da expansão urbana (FEXU) e características socioeconômicas (CSE) possuem uma interdependência entre si para explicar simultaneamente o construto latente geração de viagens baseadas em atividades (GVA). Assim, não se rejeita também que a variável GVA tem uma relação causal direta positiva nos padrões de viagens HW e HS, e de que as variáveis FEXU e CSE também têm uma influência indireta nos padrões de viagens HW e HS.

Embora a hipótese da relação do construto latente acessibilidade do sistema de transporte (AST) tenha sido rejeitada, isso não invalida o modelo ABTUS. Pois, os indicadores de qualidade de ajuste global evidenciam a aceitabilidade do modelo, e as hipóteses das relações das variáveis FEXU e AST não foram rejeitadas. Como em toda modelagem tradicional, se uma variável não for aceita no teste de significância ela pode ser retirada do modelo sem invalidar o mesmo. Assim o construto latente AST deve ser descartado do ABTUS. Mas, como foi discutido na seção 6.3.3, a acessibilidade atua como um impacto da interação usa de solo e transporte e não como um indicador dos padrões de viagens. Portanto, os fatores espaciais e temporais deverão ser representados por um novo construto latente de atributos do sistema de transporte (ATST).

Na evidência dos resultados empíricos do modelo ABTUS, a expansão urbana atua sistematicamente na geração de padrões de viagens baseadas em atividades. Considerando a cidade como um sistema urbano, o padrão de expansão urbana é um subsistema urbano onde três processos (produção de espaço urbano, socioeconômico e interação espacial/temporal) são interdependentes e interagem simultaneamente na geração de viagens baseadas em atividades (Figura 6.5). Portanto, considerar o padrão de expansão urbana como um subsistema permite um melhor entendimento da dinâmica urbana e de transporte e dos impactos gerados por eles.



**Figura 6.5:** Representação da expansão urbana como um subsistema

## **7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Neste capítulo, são apresentadas as principais conclusões e recomendações obtidas à partir dos objetivos propostos no trabalho. Inicialmente, são apresentadas algumas condicionantes negativas do estudo, ocorridas em função de dificuldades encontradas ao longo de sua realização. Em seguida, são apresentadas as principais conclusões. E finalizando o capítulo, são expostas algumas recomendações para futuras investigações relacionadas ao tema trabalhado.

### **7.1 CONDICIONANTES NEGATIVAS DA PESQUISA**

Comum em diversas áreas de conhecimento, uma das condicionantes negativas diz respeito à disponibilidade de dados necessários às análises propostas, dada as condições e tempo disponível à conclusão do trabalho.

Apesar da facilidade de obtenção dos dados referentes à Pesquisa OD 2000 do DF, os dados sobre expansão urbana foram o recurso mais escasso e difícil de obter, principalmente aqueles agregados por zona de tráfego e que tinham alguma equivalência com as atividades realizadas pelos indivíduos (trabalho, estudo, saúde, etc.).

Um outro condicionante negativo foi a inexistência possível encontrar bases geográficas ou mapeamentos de uso de solo e de expansão urbana do DF para o ano 2000. Procurou-se contato com órgãos competentes responsáveis pelo planejamento urbano local, contudo verificou-se que estes também não possuíam o tipo de dados necessários para esse tipo de pesquisa. O único estudo disponível com este tipo de dados é o Plano de Desenvolvimento de Ordenamento Territorial (PDOT), que foi feito no ano 2009. Contudo, o PDOT continha dados em nível de macrozonas, não úteis para a análise proposta que era a nível de zonas de tráfego.

Outro condicionante negativo foi a mensuração da expansão urbana para elaboração das variáveis indicadoras. Existem muitos trabalhos sobre expansão urbana, mas poucos têm enfoque em suas causas ou fornecem indicadores para a sua mensuração. Galster *et al.* (2001) analisaram oito dimensões de mensuração de expansão urbana e elaboraram os respectivos indicadores de mensuração. Mas, a aplicação dos mesmos requer técnicas de

sensoriamento remoto, uma técnica que vem sendo muito utilizada como suporte para a decisão de planejadores urbanos. Todavia, há técnicas mais precisas e automatizadas para esse tipo de levantamento, porém essas exigem algum conhecimento especializado. Considerando a dimensão da análise da área de estudo, seria necessário um tempo maior para a aplicação dos indicadores, possibilidade descartada em função do tempo disponível para conclusão desse estudo. Portanto, optou-se por considerar duas dimensões da expansão urbana como variáveis indicadoras: densidade residencial e a mistura de uso de solo. O cálculo de variáveis indicadoras nas oito dimensões da expansão urbana permitiria o enriquecimento da análise realizada por meio do ABTUS, mas não foi possível em função dos motivos expostos.

Devido ao custo que representa realizar uma pesquisa OD, e dada a restrição de tempo para realização do presente trabalho, não foi possível a aquisição de bases de dados de transporte que pudessem fornecer as variáveis necessárias à análise da dinâmica da expansão urbana ao longo de um determinado período de tempo. Portanto, não foi considerado neste estudo o fenômeno “dinâmica da expansão urbana” porque ele requer dados de padrões de viagens em séries temporais que o acompanhem.

Contudo, apesar desses condicionantes negativos, os objetivos de análise propostos foram alcançados, configurando-se como uma pesquisa científica. Ressalta-se que o método elaborado neste trabalho é genérico, ou seja, passível de aplicação em qualquer outro contexto. Os resultados, contudo, são específicos para o Distrito Federal, considerando a sua dinâmica socioeconômica e suas características de forma, excentricidades e processo de expansão urbanas.

## **7.2 CONCLUSÕES**

O objetivo principal deste trabalho foi investigar a relação de causalidade entre a expansão urbana e padrões de viagens baseadas em atividades. Isso foi possível por meio da utilização da técnica estatística multivariada SEM, em que foi obtido o modelo ABTUS, cuja formulação foram considerados vários aspectos levantados na revisão bibliográfica e as limitações da pesquisa em si.

Como observado na literatura especializada, o processo de expansão urbana e a distribuição das atividades no espaço urbano afetam o desempenho do sistema de transporte. Assim sendo, o transporte é um componente vital do sistema urbano, portanto o planejamento seguro, eficiente e efetivo dos sistemas de transportes é importante para o funcionamento do sistema urbano. O ABTUS traz o entendimento por meio da relação de causalidade entre o processo de expansão urbana e a distribuição das atividades no espaço urbano, e como isso afeta a geração de viagens, o que causa impacto diretos no sistema de transporte.

Assim sendo, o ABTUS pode auxiliar o planejamento, por poder prover um bom entendimento da relação entre a expansão urbana e os padrões de viagens baseadas em atividades. Além disso, acredita-se que esse modelo tem a habilidade em prever a resposta dos indivíduos diante de mudanças no sistema de transporte, ou nos subsistemas de atividades, bem como no ambiente socioeconômico e demográfico.

O desenvolvimento de um levantamento bibliográfico ao longo deste trabalho de pesquisa foi fundamental para o entendimento sobre a relação entre expansão urbana e padrões de viagens baseadas em atividades. Foram identificados os principais fatores intervenientes no processo de formação da expansão urbana, quais sejam: fatores de espaciais urbanos (densidade residencial, mistura do uso de solo, etc.) e fatores socioeconômicos (configuração das famílias residentes, renda familiar, etc.), que foram fundamentais para a construção do ABTUS.

Fatores relativos ao espaço urbano, socioeconômicos e espaço-tempo (restrições espaciais e temporais na distribuição das atividades no espaço urbano) foram identificados como fatores intervenientes no processo de geração de padrões de viagens baseadas em atividades. Assim, pode-se verificar que a utilização de SEM na construção do modelo foi adequada, pois antes que se verifiquem estatisticamente as relações de causa e efeito entre os elementos do modelo, tais relações tiveram subsidio teórico por meio do levantamento bibliográfico. Ressalta-se, que este trabalho é uma das aplicações pioneiras da técnica SEM na modelagem de uso de solo e transportes no contexto nacional. Esperando oferecer um aporte para futuros estudos de modelos em transportes que explorem a SEM.

O modelo teórico do ABTUS formula a expansão urbana como um subsistema dentro do sistema urbano, onde existem três processos: produção de espaço urbano (onde interagem os fatores de espaciais urbanos), socioeconômico (onde interagem os fatores socioeconômicos), e de interação espacial/temporal (onde interagem os fatores espaciais e temporais). Verificou-se que esses processos apresentam uma relação de interdependência e interagem de uma forma simultânea para exercer influência no processo de geração da demanda de transporte o qual gera os padrões de viagens baseadas em atividades.

Para representar os processos formulados no modelo teórico foram elaborados construtos latentes. Assim, para o processo de produção de espaço urbano tem-se o construto latente de fatores espaciais da expansão urbana (FEXU). Da mesma forma, para o processo socioeconômico tem-se o construto latente características socioeconômicas (CSE). E para o processo de interação espacial/temporal tem-se o construto latente acessibilidade ao sistema de transporte (AST). Tais construtos formam a estrutura principal do modelo ABTUS.

O método desenvolvido para aplicação do ABTUS no estudo de caso foi feito em quatro etapas. Este método permite também a aplicação do ABTUS em outros estudos de caso, bem como a formulação de um novo modelo, de forma atender os mesmos fins estabelecidos neste trabalho.

O modelo ABTUS foi testado em um caso de estudo aplicado ao Distrito Federal no ano 2000. Como dados principais, foi utilizada a base de dados da pesquisa domiciliar OD do DF no ano 2000. Os dados foram agregados em nível de zonas de tráfego para sua aplicação no ABTUS.

O estudo de caso permitiu a identificação de cinco vetores de expansão urbana: eixo Sobradinho, eixo Planaltina, eixo Taguatinga – Ceilândia, eixo Taguatinga – Samambaia e eixo Gama. A utilização de vetores permitiu a seleção das zonas de tráfego componentes da expansão urbana, e verificou-se que existiam tendências de crescimento em algumas direções.

A maioria das análises empíricas sobre expansão urbana e transporte considera uma abordagem baseada em uma relação linear entre a viagem, os fatores socioeconômicos e a forma urbana. Além disso, as pesquisas têm se concentrado mais na correlação estatística entre fatores relevantes do que em relações causais. Sobre isso, verificou-se na literatura que a busca de relações causais entre fatores da expansão urbana e padrões de viagens é ainda muito limitada. Uma discussão deve ser feita ainda sobre o fato de que muitos dos resultados obtidos foram analisados para países desenvolvidos com estratégias de planejamento urbano e de transportes, essas são bem diferentes das estratégias adotadas em países em desenvolvimento.

Isso leva a mais uma vez afirmar a necessidade do entendimento do comportamento de viagem como resultante do processo de expansão urbana, o qual está sujeito a uma interação simultânea entre fatores de espaço urbano, socioeconômicos e de interação espaço/tempo. À partir desse processo, é possível identificar fatores que mais se ajustem a realidade brasileira.

Outro item a se considerar refere-se à possibilidade de novas modelagens em transportes. Seria interessante se comparar o ABTUS, por exemplo, com a primeira etapa do Modelo de Quatro Etapas, onde ambos os modelos consideram processos similares na geração de viagens. Contudo o Modelo de Quatro Etapas analisa a geração de viagens de uma forma sequencial e o ABTUS realiza tal análise sobre a geração de padrões de viagens baseadas em atividades de uma forma simultânea. Assim, acredita-se que a exploração da modelagem com equações estruturais pode enriquecer a abordagem da modelagem em transportes sobre a demanda de viagens, já que os processos intervenientes em transporte são resultantes de relações de causalidade.

Dentro dos resultados esperados encontrava-se a não rejeição da relação de causalidade do construto latente de acessibilidade ao sistema de transporte, mas os resultados estatísticos rejeitaram essa relação. Assim, analisando os resultados obtidos foram levantados os seguintes aspectos:

- A acessibilidade não tem uma relação causal com a geração de viagens. Considerando o estudo de Wegener e Greiving, (2001), pode-se entender que acessibilidade é função da interação do uso de solo e do transporte.



- A acessibilidade é mais uma variável que mensura o impacto de um sistema de transporte sobre o uso de solo, o qual pode influenciar mais as decisões de locação dos indivíduos do que a geração de viagens.
- A acessibilidade a um nível agregado (zonas de tráfego) não é percebida pelos indivíduos, e portanto, não exerce influência na geração de viagens.
- Os indivíduos não percebem acessibilidade como um indicador de transporte, eles percebem mais os custos e restrições espaciais e temporais que influenciam os processos de escolha modal e da rota de deslocamento. Seria mais interessante considerar que os indivíduos são mais cientes das restrições impostas às atividades a realizar, como foi estudado por Hagerstrand (1970), e que estas exercem influência na mobilidade dos indivíduos.
- A um nível agregado, é possível que as restrições de espaço/tempo das expansões urbanas exerçam influência na geração de padrões de viagens baseadas em atividades, ou que estes exerçam influência na mudança de padrões de viagens.

Foram reunidos indícios para a elaboração da conclusão de não rejeição da hipótese científica levantada neste trabalho, à partir dos resultados encontrados em cada etapa do processo de modelagem (com a atenção da análise voltada para o delineamento da influência da expansão urbana nos padrões de viagens baseadas em atividades):

*Existe uma relação de causalidade entre os padrões de expansão urbana e os padrões de viagens baseadas em atividades.*

Assim, acredita-se também que a proposta de modificação do ABTUS permitirá uma melhoria nos resultados e na significância estatísticas das variáveis. Portanto, o resultado pretendido foi atingido.

Concluindo, acredita-se que a expansão urbana atua como um subsistema onde os processos de produção de espaço urbano, socioeconômico, e interação espacial/temporal são interdependentes e interagem simultaneamente de uma forma causal no processo de geração da demanda de viagens. Essa relação significa que o subsistema de expansão urbana causa um processo de geração de demanda, cujo maior efeito é a geração de padrões de viagens residência-trabalho e residência-estudo. Onde, o processo de produção

de espaço urbano apresenta o maior impacto de causalidade (1,07); e o processo socioeconômico o menor impacto de causalidade (0,17) no processo de geração da demanda de viagens. Isso significa que, quanto maiores valores tiverem os fatores espaciais da expansão urbana e as características socioeconômicas (dentro do subsistema: padrão de expansão urbana), maior número de viagens residência- trabalho e residência- estudo serão gerados, inerentes à geração de viagens baseadas em atividades.

O aprofundamento dessa relação pode oferecer subsídios para auxiliar na abstração de padrões e análise de demanda de viagens; ou seja, ordem e tendências que podem nortear, inclusive, processos de tomada de decisão, implantação de projetos, solução de problemas, e desafios propostos para a sustentabilidade do transporte.

### **7.3 RECOMENDAÇÕES**

Recomenda-se aos trabalhos seguintes nesta linha de pesquisa:

- Aplicação da proposta de melhora apresentada na seção 6.4 do ABTUS para sua análise;
- Aprofundar o estudo realizado considerando análise da dinâmica da relação entre expansão urbana e padrões de viagens aplicando dados em series temporais;
- Operacionalizar os indicadores apresentados por Galster *et al.* (2001) sobre expansão urbana e implementar no ABTUS;
- Considerar na modelagem as restrições de espaço e tempo;
- Diferenciação dos padrões de expansão urbana;
- Incorporar ao padrão de viagem atributos como modo, duração e custo da viagem.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- Alexander, C. (1979). *The Timeless Way of Building*. Oxford University Press.
- Anjos, R. S. (2010) Monitoramento do crescimento e vetores de expansão urbana de Brasília. Brasília 50 anos de capital a metrópole. UnB, Brasília, 490p
- Adler, T.; Ben-Akiva, M. (1979). A theoretical and empirical model of trip chaining behavior. *Transportation Research Part B*. (13), p. 243-257.
- Axhausen, K.W., A. Simma and T.F. Golob, 2001. Pre-commitment and usage: Season tickets, cars and travel. *European Research in Regional Science*, in press.
- Altshuler A., Gomez-Ibanez (1993). *Regulation for Revenue: The Political Economy of Land Use Exactions*. Washington, DC: Brookings Institution.
- Black, T. (1996). The Economics of Sprawl. *Urban Land* , 6-52.
- Batty M., Xie Y. (2003). Integrated urban evolutionary modeling. UCL centre for advanced spatial analysis.
- Benitez, R.M. (1999) A infra-estrutura, sua relação com a produtividade total dos fatores e seu reflexo sobre o produto regional. *Planejamento e Políticas Públicas*, Vol.1, No.1.
- Bowman, J. L. (1995). Activity based travel demand model system with daily activity schedules. Massachusetts Institute of Technology. Thesis (Master) - Department of Civil and Environmental Engineering. MIT. USA.
- Bowman, J. L.; Ben-Akiva M. E. (1997). Activity based travel forecasting, in *Activity-Based Travel Forecasting Conference*, June 2-5, 1996: Summary, Recommendations and Compendium of Papers, New Orleans, Louisiana
- Bowman, J. L. (1998). The day activity schedule approach to travel demand analysis. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, USA.
- Burchell, R. ; Naveed, S. ; Listokin, D., Phillips, H., Downs, A., Siskin, S. (1998). *Costs of Sprawl-Revisited*. Washington, DC: National Academy Press.
- Camagni, R. ; Gibelli, M.C. ; Rigamonti, P. (2002). Urban mobility and urban form: the social and environmental costs of different patterns of urban expansion. *Ecological Economics* 40, 199–216.
- Castells, M. (1974). *La cuestion Urbana*. Madrid: Siglo veintiuno editores S.A.
- CEC, C. o. (2004). *Towards a Thematic Strategy on the Urban Enviroment* . Brussels: COM.

- Cervero, R. (1991). Land Use and Travel at Suburban Activity Centers. *Transportation Quarterly*, 479-91.
- Cervero, R., Kockelman, K. (1997). Travel demand and the 3D's: density, diversity, and design. *Transportation Research D* 2 (3), 199–219.
- Cervero, R. (1998) *The Transit Metropolis: a global inquiry*. Washington: Island Press.
- Cervero, R. (2002). Built environments and mode choice: toward a normative framework. *Transportation Research D* 7, 265–284.
- Cervero, R. (2004). Transit oriented development in America: contemporary practices, impacts, and policy directions. In: *International Planning Symposium on Incentives, Regulations, and Plans – The Role of States and Nation-States in Smart Growth Planning*, University of Maryland.
- Cervero, R. (2006). Alternative approaches to modeling the travel-demand impacts of smart growth. *Journal of the American Planning Association* 72 (3), 285–295.
- Chapin, F. S. (1972). Free-time activities and the quality of urban life. *Journal of the American Institute of Planners*. v. 37, p. 411-417.
- Chapin, F. S. (1974). "Human Time Allocation in the City". In T. Carlstein, D. Parkes, and N. J. Thrift (eds), 13–26.
- Charles, A. (1971). *The Language of Cities*. New York: Viking.
- Chiara, M. Travisi Roberto Camagni Peter Nijkamp. (2006). *Sustainability of Urban Sprawl: Environmental-Economic Indicators for the Assessment of Mobility in Italy*. Tinbergen Institute Discussion Paper , 30.
- Clawson, M. (1962). Urban Sprawl and Speculation in Suburban Land. *Land Economics* 38(2):94–111.
- Club, S. (1998). Acesso em 23 de Julio de 2011, disponível em Sierra Club: <http://www.sierraclub.org/sprawl/report98/what.html>
- Coplein, J. O. (1998). *The Patterns Handbook: Techniques, Strategies, and Applications*, chapter Software Design Patterns: Common Questions and Answers, pages 311–320. Cambridge University Press, New York.
- Crane R. (2000). The influence of Urban Form on Travel : an Interpretive Review. *Journal of Planning Literature*, v. 15, n. 1, p. 3-23.
- Da Guia, G. A. (2006). Políticas territoriais, segregação e reprodução das desigualdades sócio-espaciais no Aglomerado Urbano de Brasília. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geografia da Universidade de Brasília.

- Downs, A. (1998). How America's Cities Are Growing: The Big Picture. *Brookings Review* , 8-12.
- Downs, A. (1999). Some realities about Sprawl and Urban Decline . *Housing Policy* , 955-74.
- Duany, A., Plater-Zyberk, E., Speck, J. (2000). *Suburban nation: the rise of sprawl and the decline of the American dream*. North Point Press, New York.
- Ewing, R. (1997). Is Los Angeles-style sprawl desirable? *Journal of the American Planning Association*, 63(1), 107–126.
- Frank, L. D., Pivo, G. (1994). Impacts of mixed use and density on utilization of three modes of travel: single occupant vehicle, transit, and walking. *Transportation Research Record*, 1466, 44–52.
- Frazão, D. d. (2009). *Expansão urbana, nucleações e a formação de centralidades no Distrito Federal: o caso do Gama*. Brasília: Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Instituto de Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia.
- Friedman, B., Gordon, S.P., Peers, J.B. (1994). Effect of neo-traditional neighborhood design on travel characteristics. *Transportation Research Record* 1466, 63–70.
- Fischer, C.S. (1992). From technical networks to social networks. En *Flux. Cahiers scientifiques, internationaux Réseaux et Territoires* 9 (Groupement de Recherche 903 du CNRS).
- Galster, G., Hanson, R., Ratcliffe, M., Wolman, H., Coleman, S., & Freihage, J. (2001). Wrestling Sprawl to the Ground: Defining and Measuring an Elusive Concept. *Housing Policy Debate* , 681-717.
- Gakenheimer, R. (1999). Urban mobility in the developing world. *Transportation Research A*, 33(7), 671–689
- García-Palomares J.C. (2010). Urban sprawl and travel to work: the case of the metropolitan area of Madrid. *Journal of Transport Geography* 18 (2010) 197–213.
- Geddes, R. (1997). *American Prospect*. Acesso em 24 de Julio de 2011, disponível em *American Prospect*: [http://prospect.org/cs/articles?article=metropolis\\_unbound](http://prospect.org/cs/articles?article=metropolis_unbound).
- GAO/RCED Office, U. G. (1999). *Community Development: Extent of Federal Influence on "Urban Sprawl" Is Unclear*. Washington, DC.
- Golob, T.F. (1988). "Structural equation modeling of travel choice dynamics". Working paper no. 4, University of California Transportation Center, Berkeley, California.

- Golob, T.F. (2003). "Structural equation modeling for travel behavior research". *Transportation Research, B - Methodological*, 37:1-25
- Golob, T.F. (1998). "A model of household demand for activity participation and mobility". In T. Gärling, T. Laitilla and K. Westin (Eds.). *Theoretical Foundations of Travel Choice Modeling*, 365-398. Pergamon, Oxford.
- Golob, T.F. (2000). "A simultaneous model of household activity participation and trip chain generation". *Transportation Research B* 34, 355-376.
- Golob, T.F. (1989). "Effects of income and car ownership on trip generation". *Journal of Transport Economics and Policy* 23, 141-162.
- Golob, T.F. (1990a). "Structural equation modelling of travel choice dynamics". In P.M. Jones (Ed.), *New Developments in Dynamic and Activity - Based Approaches to Travel Analysis*, 343-370. Gower, Aldershot, Hants, England.
- Golob, T.F. (1990b). "The dynamics of travel time expenditures and car ownership decision". *Transportation Research A* 24, 443-463.
- Golob, T.F. (2000). "A simultaneous model of household activity participation and trip chain generation". *Transportation Research B* 34, 355-376.
- Golob, T.F. (2001). "Joint models of attitudes and behavior in evaluation of the San Diego I-15 Congestion Pricing Project". *Transportation Research A* 35, 495- 514.
- Golob, T.F. e HensheR, D.A. (1996). "Driver behavior of long-distance truck drivers: Effects of schedule compliance on drug use and speeding citations". *International Journal of Transport Economics* 23, 267-301.
- Golob, J. e Golob, T.F. (1997). "Shopping without travel or travel without shopping: An investigation of electronic home shopping". *Transport Reviews*, 17:355-376.
- Golob, T.F. e Hensher, D.A. (1998). "Greenhouse gas emissions and Australian commuters' attitudes and behaviour concerning abatement policies and personal involvement". *Transportation Research D* 3, 1-18.
- Golob, T.F. e M.G. McNally, (1997). "A model of household interactions in activity participation and the derived demand for travel". *Transportation Research B* 31, 177-194.
- Gordon P., Richardson W. (1997). Are Compact Cities a Desirable Planning Goal? *Journal of the American Planning Association* 63(1):89–106.
- Gottman J., Harper A. (1967). *Metropolis on the Move: Geographers Look at Urban Sprawl*. New York: John Wiley & Sons, INC.

- Giuliano, G., Narayan, D. (2003). Another look at travel patterns and urban form: the US and Great Britain. *Urban Studies* 40 (11), 2295–2312.
- Hägerstrand T. (1970). What about people in regional science? *Papers of the Regional Science Association*, 24, 1-12.
- Hair, J. F.; Anderson, R. E.; Tatham, R. L.; Black, W. C. *Análise multivariada de dados*. Tradução Adonai Schlup Sant’Anna; Anselmo Chaves Neto. 5ª Edição, Porto Alegre: Bookman, 2005. 593 p.
- Harvey R., Clark W. A. V. (1965). The Nature and Economics of Sprawl. *Land Economics* 41(1):1–9.
- Handy Susan. (2002) *Smart Growth and The Transportation-Land Use Connection: What Does the Research Tell Us?* Department of Environmental Science and Policy University of California at Davis Davis, CA 95616.
- Iriondo JM., Albert MJ, Escudero A. (2003). Structural Equation Modelling: An Alternative for Assessing Causal Relationships in Threatened Plant Populations. *Biological Conservation*, 113: 367–377.
- Kelloway, E. K. (1998). *Using LISREL for structural equation modeling: a researcher’s guide*. New York: Sage Publications.
- Kenworthy, J. (1995). Automobile dependence in Bangkok: an international comparison with implications for planning policies. *World Transport Policy and Practice*, 3(1), 31–41
- Kitamura R. (1996). Applications of models of activity behavior for activity based demand forecasting. In: *Activity-Based Travel Forecasting Conference*, June 2-5: Summary, Recommendations and Compendion of Papers, New Orleans, Louisiana. USDOT report #DOT-T-97-17, 32 pages.
- Kitamura, R., J.P. Robinson, T.F. Golob, M.A. Bradley, J. Leonard and T. van der Hoorn, (1992). A comparative analysis of time use data in the Netherlands and California. In *Proceedings of the 20th PTRC Summer Annual Meeting: Transportation Planning Methods*, 127-138.
- Lockwood, C. (1999). Sprawl. *Hemispheres* , 82-91.
- Latif, S. A. *Modelagem de equações estruturais*. 2000. 183 p. Mestrado – instituto de Matemática e Estatística, USP, 2000.
- Lima Neto, V. C. (2006). *Uma Metodologia para estimar a mais-valia imobiliária decorrente de intervenções em Infra-Estrutura de Transporte Público*. Dissertação de

- Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.
- Lu, X. and E.I. Pas, 1999. A structural equations model of the relationships among socio-demographics, activity participation and travel behavior. *Transportation Research A* 31, 1-18.
- McNally, M. G. (2000). The activity-based approach. Institute of Transportation Studies, University of California, Irvine. USA. UCI-ITS-AS-WP-00-4.
- Miller E. J., Kriger D. S., Hunt J. D., Badoe D. A. (1998). Integrated Urban Models for Simulation of Transit and Land-Use Policies. Toronto: Joint Program of Transportation, University of Toronto.
- Mota, A. M. P.; Holanda, F.; Soares, L.; Garcia, P. M. (2001). Brasília nasceu excêntrica? Anais do VI Seminário de Estudo da História do Urbanismo. Natal: Programa de pósgraduação em Arquitetura e Urbanismo.
- Newman, P. W. G., & Kenworthy, J. R. (1989). Gasoline consumption and cities: a comparison of U.S. cities with a global survey. *Journey of American Planners Association*, 55(1), 24–37.
- Novaes, A. G. (1981). Modelos em planejamento urbano, regional e de transportes. Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, SP. 290 p.
- Paviani A. (1991) A conquista da cidade : movimentos populares em Brasília. UnB, Brasília.
- Paviani A. (2010) A Metrópole Terciária : evolução urbana socioespacial. Brasília 50 anos de capital a metrópole. UnB, Brasília, 490p.
- Primerano, F. ; Taylor, M. ; Pitaksringkarn, L., Tisato, P. (2008). Defining and Understanding Trip Chaining Behavior. *Transportation*, v. 35, n. 1, p. 55-72.
- Orfield, M. (1997). *Metropolitics: A Regional Agenda for Community and Stability*. Washington: DC: Brookings Institution, and Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy .
- Ortúzar J. D., Willumsem L. G. *Modelling Transport*. 2.ed. John Wiley and Sons, London, 1994. 439p.
- Paiva Junior, H. (2006) Segmentação e modelagem comportamental de usuários dos serviços de transporte urbano brasileiros. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo, 2006. 176 p.



- Pendyala, R., 1998. Causal analysis in travel behaviour Research: A cautionary note. In J. de D. Ortuzar, D.A. Hensher and S. Jara-Diaz (Eds.). *Travel Behaviour Research: Updating the State of Play*, 35-48. Pergamon, Oxford.
- Recker W. W. (1995). The household activity pattern problem: general formulation and solution. *Transpn. Res. B*, vol. 29B, nº 1, p. 61-77.
- Rodriguez, J.P. (2006). The Geography of Transport Systems. In: <<http://people.hofstra.edu/geotrans/>>. Acesso: 29/04/2011.
- Simma, A., (2000). Verkehrsverhalten als eine Funktion soziodemografischer und räumlicher Faktoren. Working Paper 55, Institute of Transportation, Traffic, Highway- and Railway-Engineering (IVT), Swiss Federal Institute of Technology (ETHZ), Zurich.
- Simma, A., M. Vrtic and K.W. Axhausen, (2001). Interactions of travel behaviour, accessibility and personal characteristics: The case of the Upper Austria Region. Presented at the European Transport Conference, Sept. 10-12, Cambridge, England.
- Schwanen, T., Dieleman, F.M., Dijst, M. (2001). Travel behaviour in Dutch monocentric and polycentric urban systems. *Journal of Transport Geography* 9 (3), 173–185.
- Shmueli D.; Salomon I; Shefer D. (1998). Neural network analysis of travel behaviour. In: *Neural Networks in Transport Applications*. Himanem, V.; Nijkamp, P.; Reggiani, A. Raitio, J. Eds. Ashgate Publishing Ltd. England.
- Snellen, D. (2000). *Urban Form and Activity-Travel Patterns - An Activity-Based Approach to Travel In a Spatial Context*. Holanda: Tese Doutorado Technische Unibérsiteit Eindhoven.
- Travisi Chiara M., Camagni Roberto, Nijkamp Peter (2010). Impacts of urban sprawl and commuting: a modelling study for Italy. *Journal of Transport Geography* 18 (2010) 382–392.
- Takano M.S.M. (2010). Influência da forma urbana no comportamento de viagens encadeadas com base nos padrões de atividades. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.
- Waddell P., F., U. G. (2004). Introduction to Urban Simulation: Design and Development of Operational Models. In: Stopher, Button, Kingsley, & Hensher, *Handbook in Transport, Volume 5: Transport Geography and Spatial Systems* (pp. 203-236). Pergamon Press.

- Wegener, M. (2003). Overview of land-use transport models. In: international conference on computers in urban planning and urban management, 8th, 2003, Sendai, Japan. Proceedings... Sendai, Japão. CD-ROM.
- Wegener M., Fürst F. (1999) Land-Use Transport Interaction: State of the Art. Berichte aus dem Institut für Raumplanung 46. Dortmund: Institut für Raumplanung, Universität Dortmund.
- Wegener M., Greiving S. (2001). Integration of transport and land-use planning: state of the art. 9th WCTR (p. 6102). Seoul: WCTR.
- United Nations. (2007). Urban indicators database. United Nations Habitat. Nairobi: UN-Habitat.
- U.S. General Accounting Office. (1999). Community Development: Extent of Federal Influence on “Urban Sprawl” Is Unclear. Letter Report, April 30. GAO/RCED 99–87. Washington, DC.
- Zhao Pengjun. (2010). Sustainable urban expansion and transportation in a growing megacity: Consequences of urban sprawl for mobility on the urban fringe of Beijing. Habitat International. Elsevier.

## **APENDICE A**

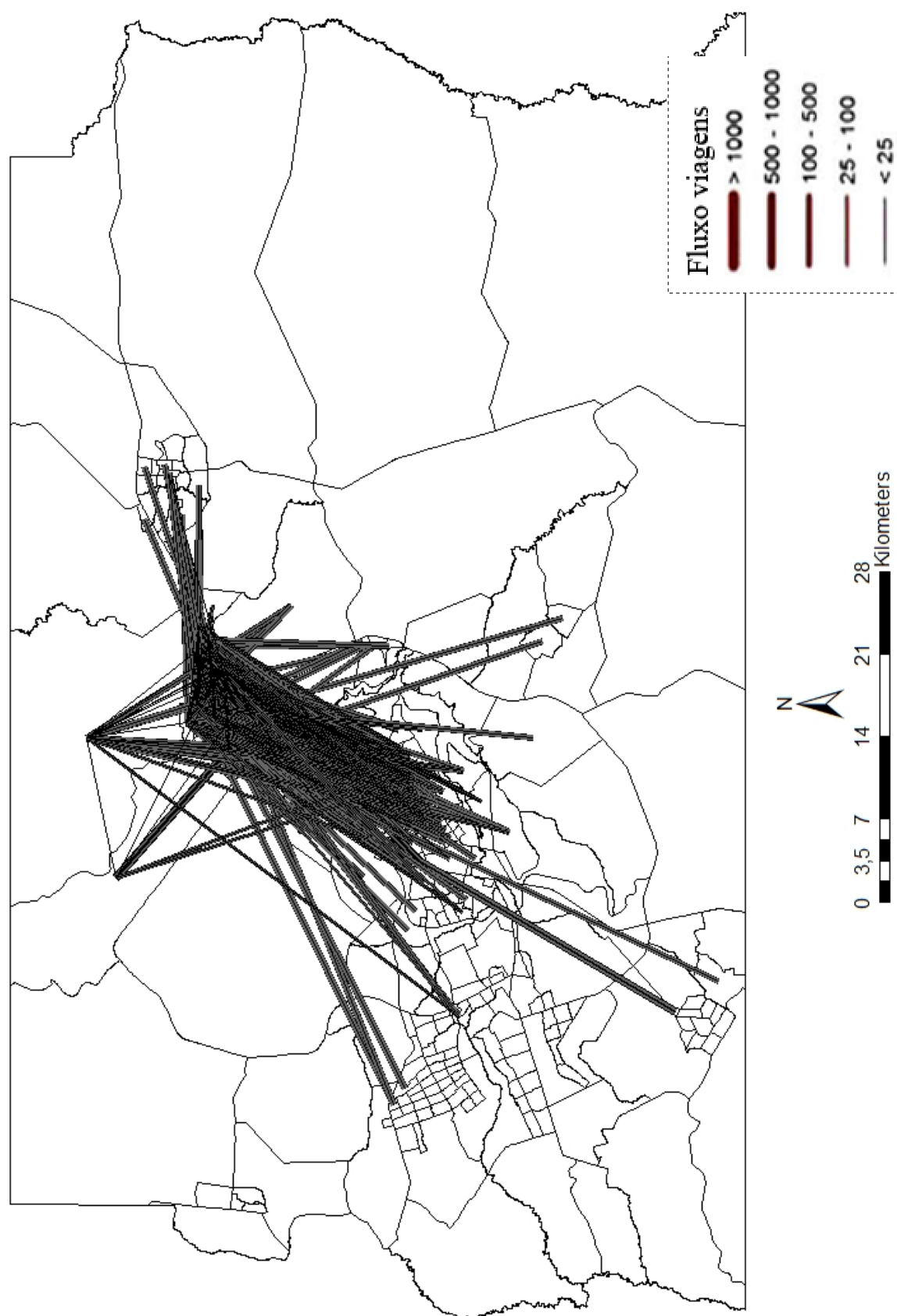


Figura A.1 Linhas de desejo dos padrões de viagens HW do vetor 1

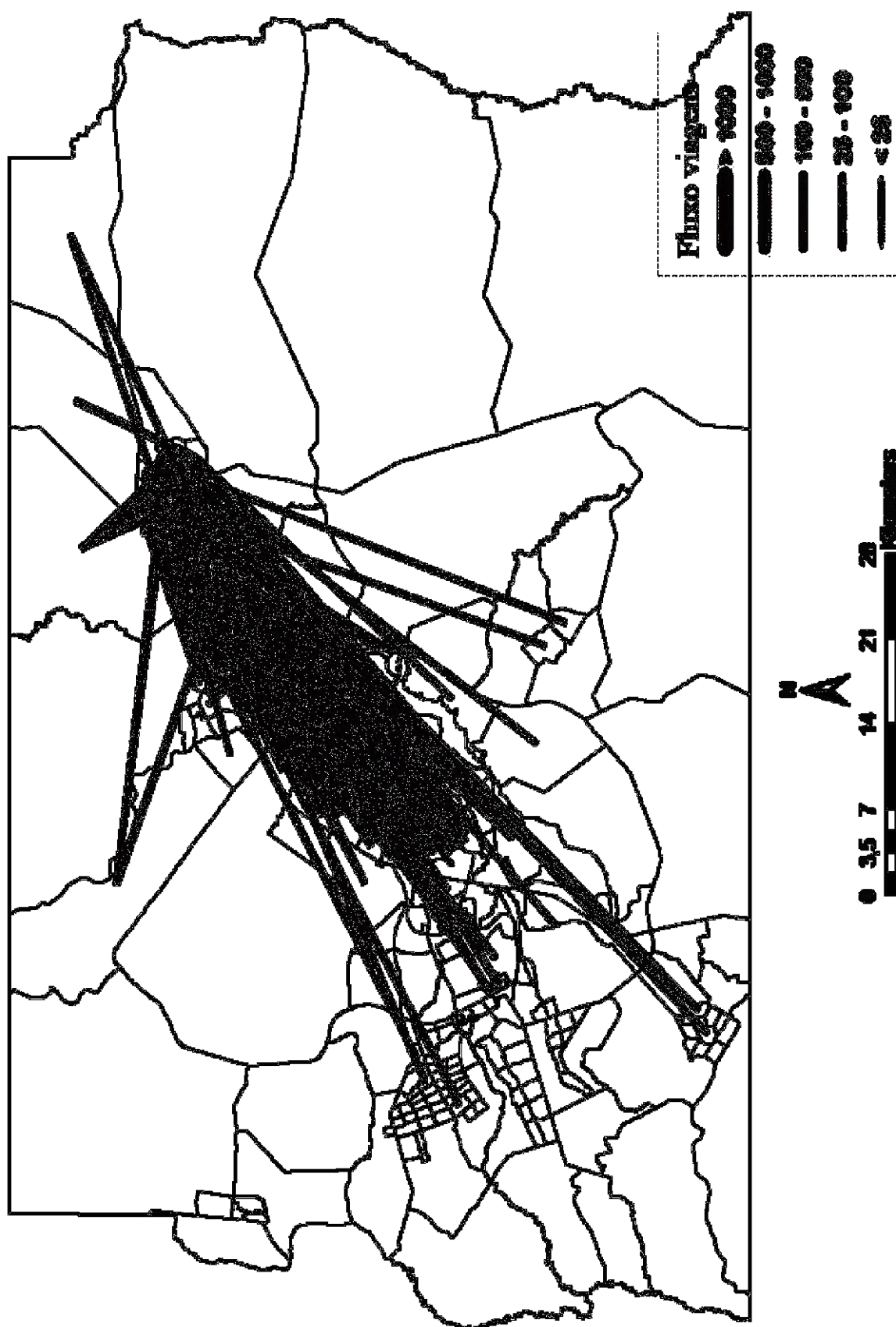


Figura A.2 Linhas de desejo dos padrões de viagens HW do vetor 2

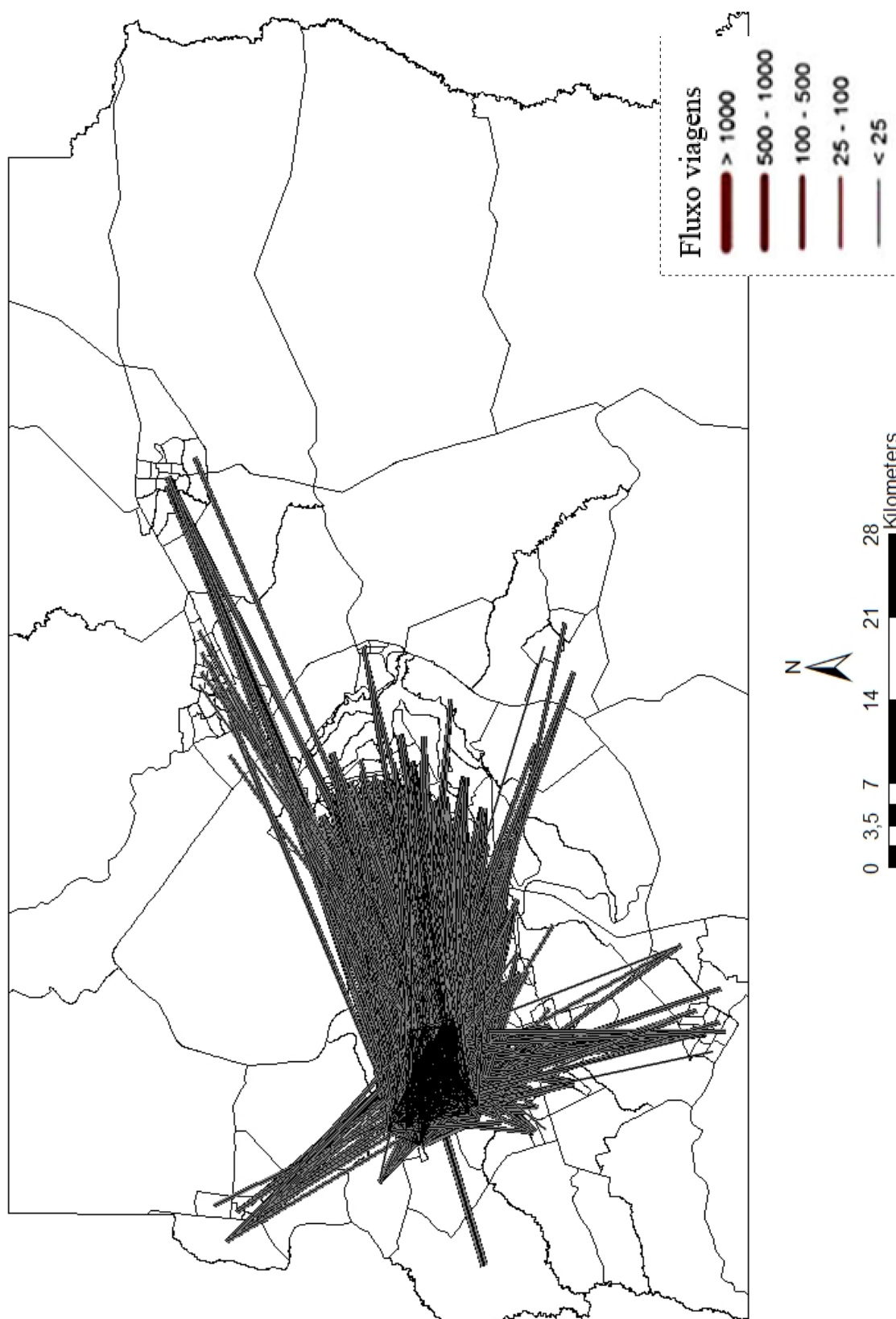
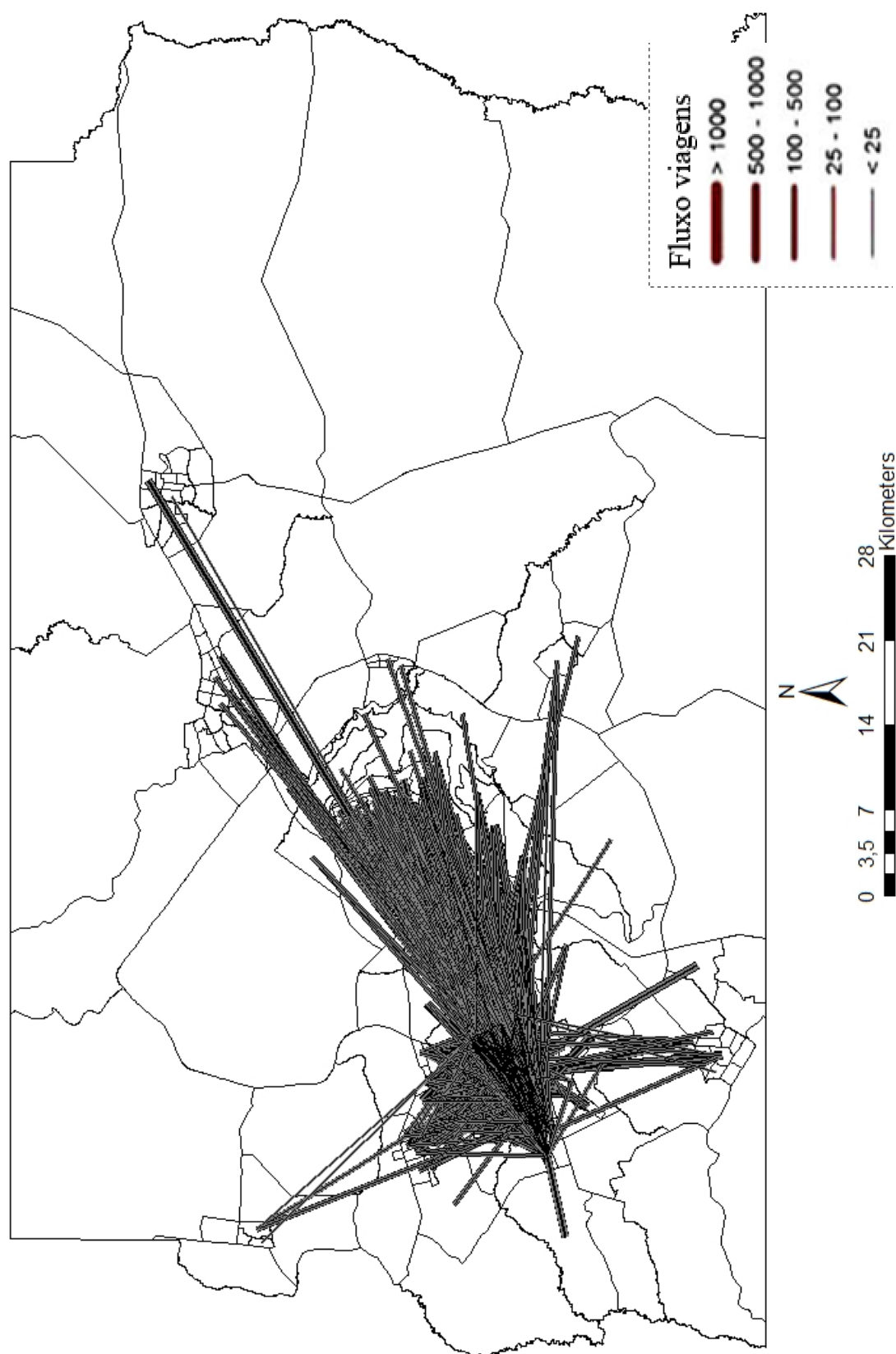


Figura A.3 Linhas de desejo dos padrões de viagens HW do vetor 3



Figura

A.4 Linhas de desejo dos padrões de viagens HW do vetor 4

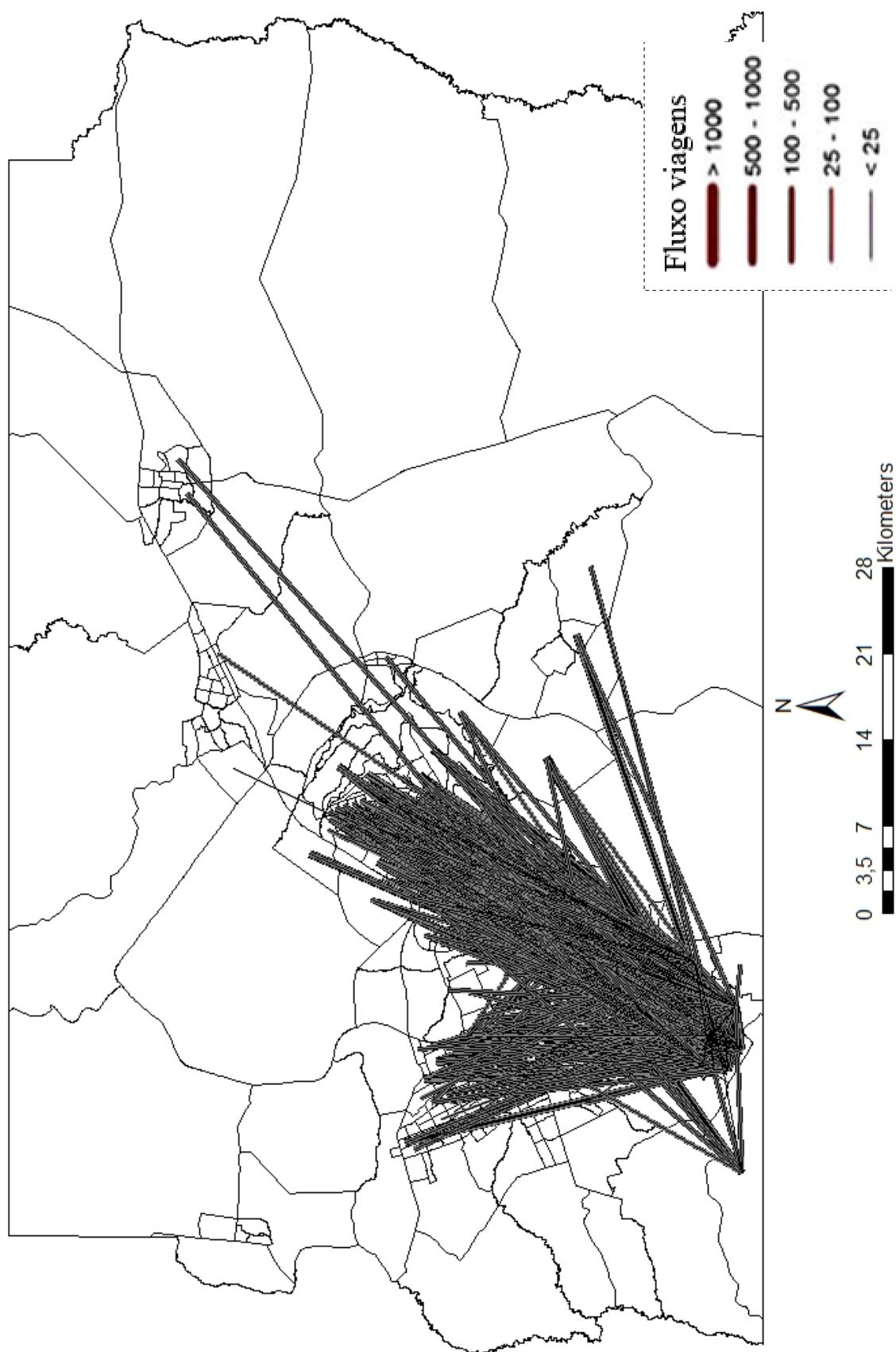


Figura A.5 Linhas de desejo dos padrões de viagens HW do vetor 5



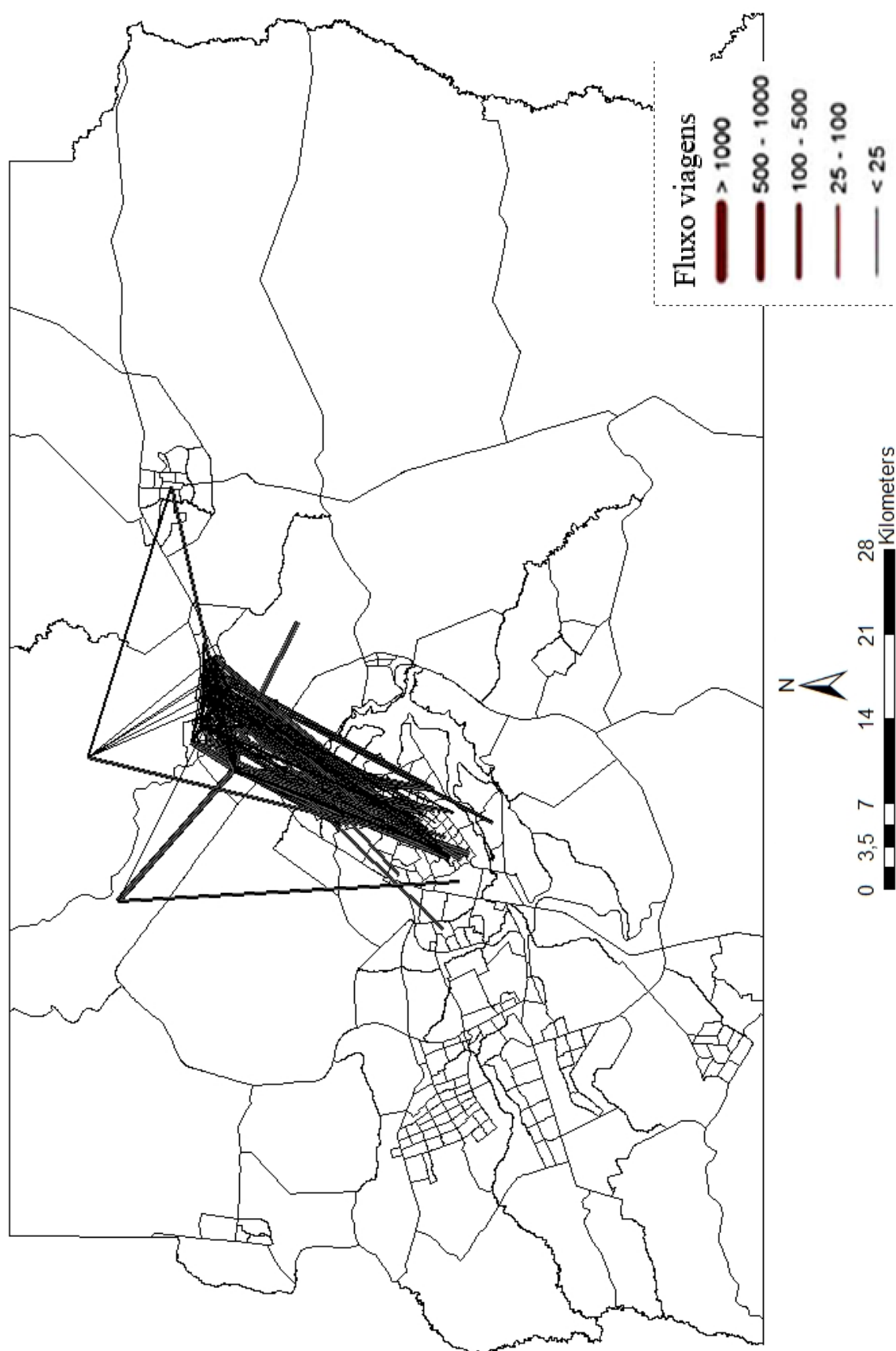


Figura A.6 Linhas de desejo dos padrões de viagens HS do vetor 1

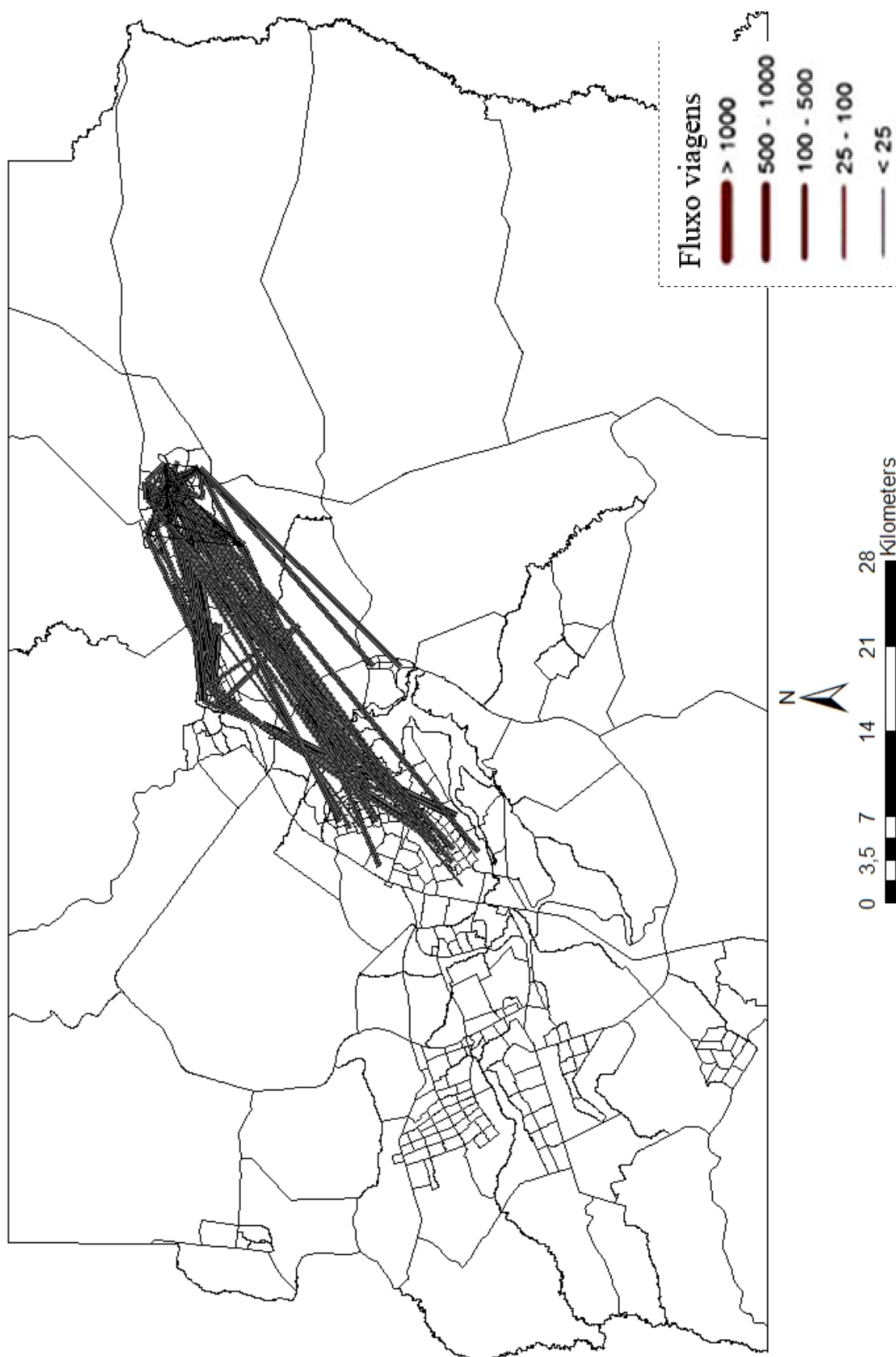


Figura A.7 Linhas de desejo dos padrões de viagens HS do vetor 2

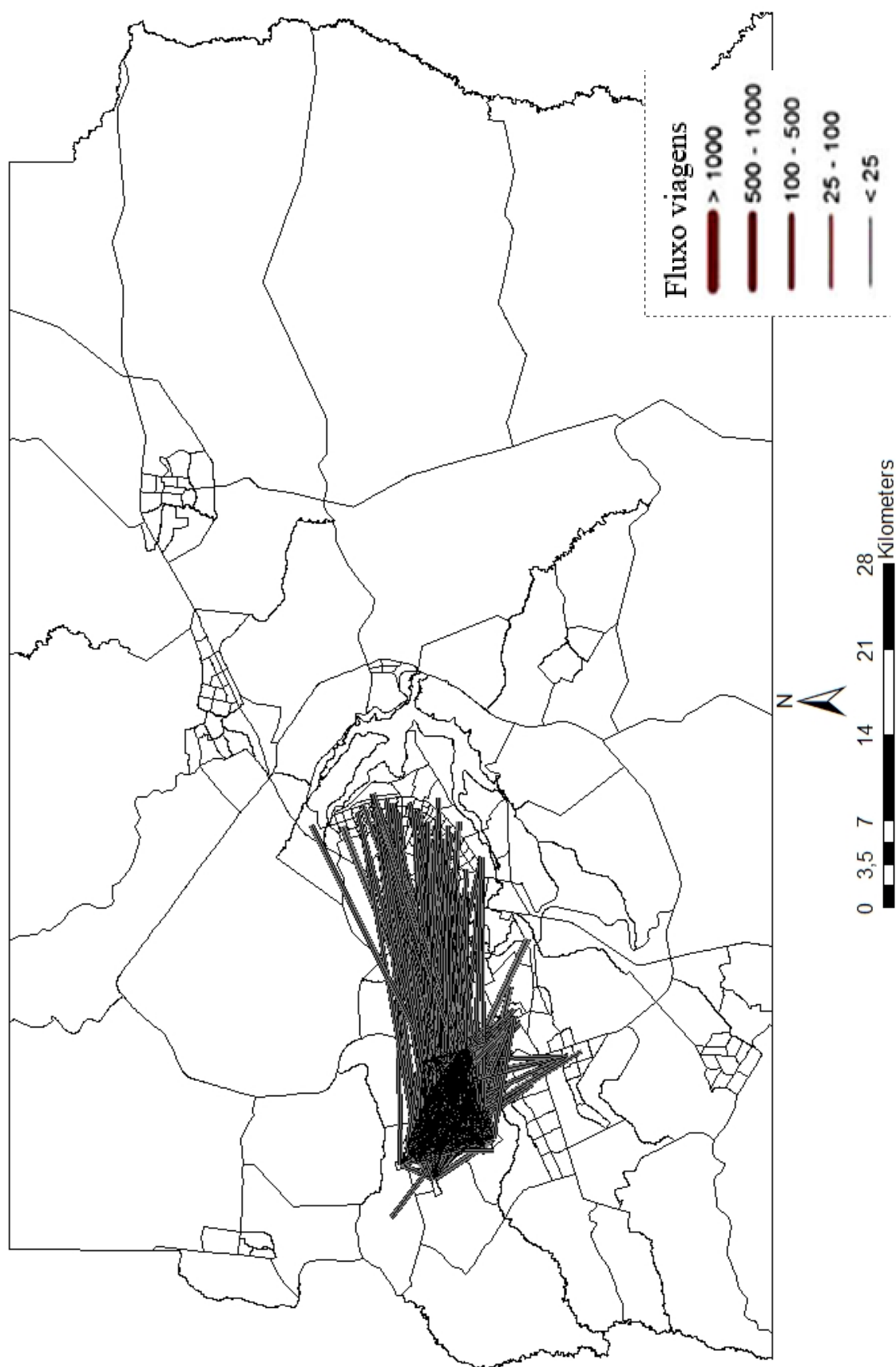


Figura A.8 Linhas de desejo dos padrões de viagens HS do vetor 3

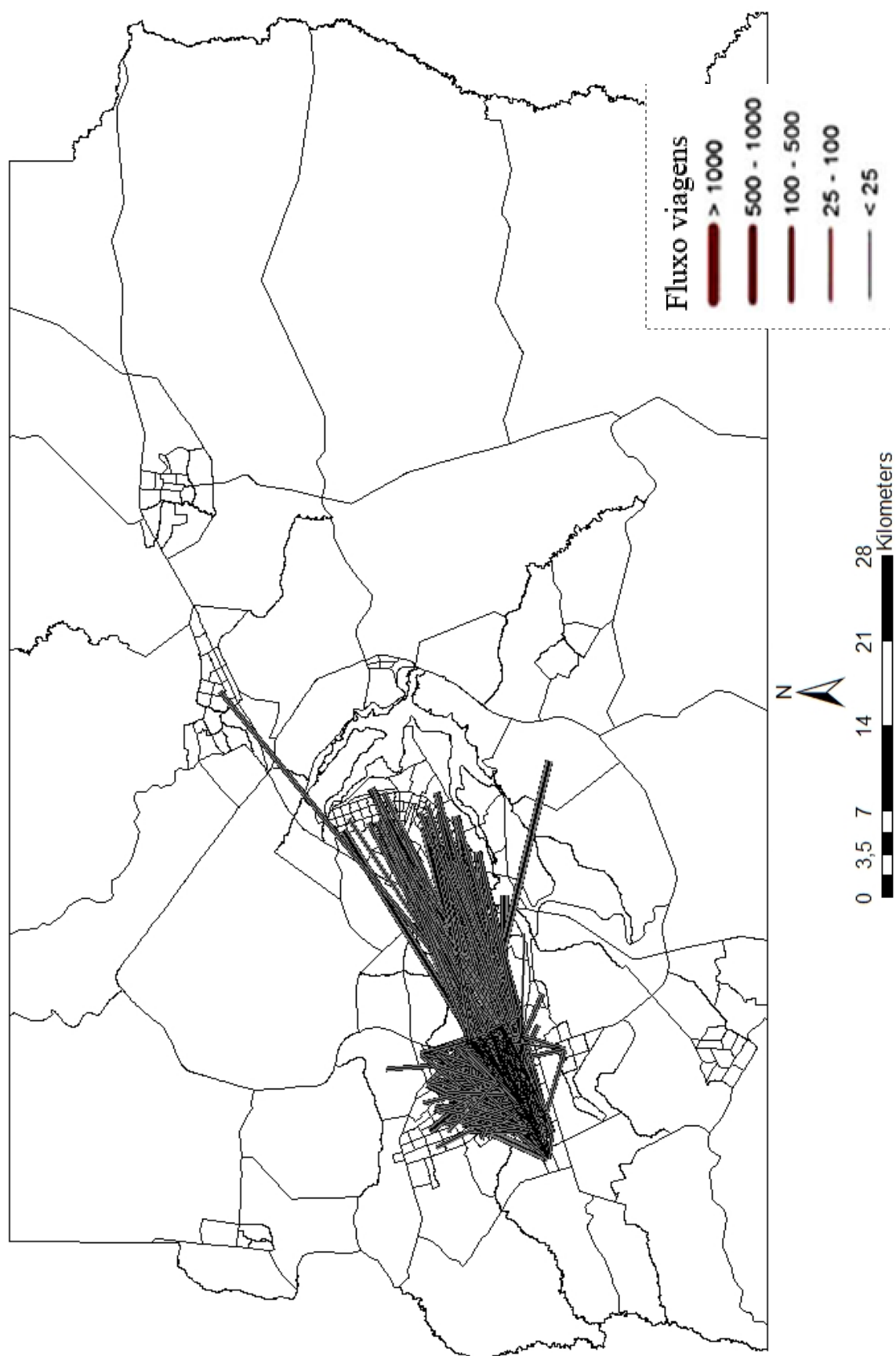


Figura A.9 Linhas de desejo dos padrões de viagens HS do vetor 4

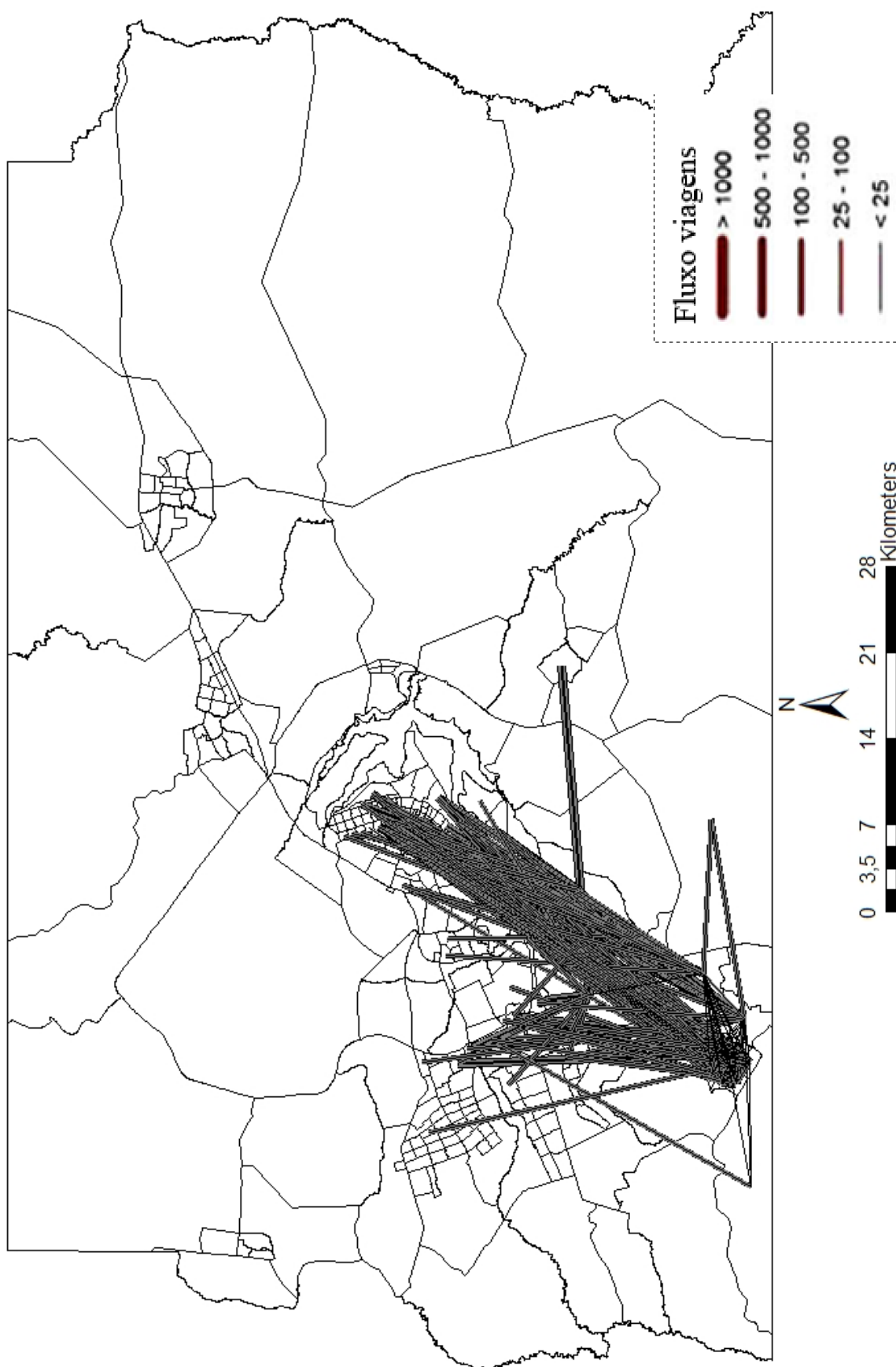


Figura A.10 Linhas de desejo dos padrões de viagens HS do vetor 5