

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

**MODELO INTEGRADO DE USO DO SOLO E TRANSPORTE
PARA O APRIMORAMENTO DAS PREVISÕES DE
DEMANDA: UMA APLICAÇÃO DO TRANUS EM BRASÍLIA -
DF**

RAPHAEL GONÇALVES VANDERLEI

**ORIENTADOR: PASTOR WILLY GONZALES TACO
COORIENTADOR: TOMÁS DE LA BARRA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES

**PUBLICAÇÃO: T.DM-020/2016
BRASÍLIA/DF: AGOSTO / 2016**

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

**MODELO INTEGRADO DE USO DO SOLO E TRANSPORTE PARA O
APRIMORAMENTO DAS PREVISÕES DE DEMANDA: UMA
APLICAÇÃO DO TRANUS EM BRASÍLIA - DF**

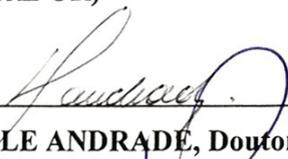
RAPHAEL GONÇALVES VANDERLEI

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO 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.**

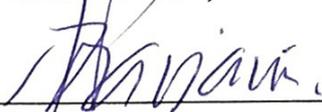
APROVADA POR:



**PASTOR WILLY GONZALES TACO, Doutor, (PPGT/UnB)
(ORIENTADOR)**



**MICHELLE ANDRADE, Doutora, (PPGT/UnB)
(EXAMINADOR INTERNO I)**



**ALDO PAVIANI, Doutor, (NEUR/CEAM/UnB)
(EXAMINADOR EXTERNO I)**

BRASÍLIA/DF, 24 DE AGOSTO DE 2016

FICHA CATALOGRÁFICA

VANDERLEI, RAPHAEL GONÇALVES

Emprego do Modelo Integrado de Uso do Solo e Transporte para o Aprimoramento das Previsões de Demanda: Uma Aplicação do TRANUS em Brasília [Distrito Federal] 2016.

xv, 129p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Transportes, 2016).

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

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Planejamento de Transportes 2. Transporte e Uso do Solo

3. Modelagem de Previsão de Demanda 4. Urbanismo

I. ENC/FT/UnB II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

VANDERLEI, R. G. (2016). Emprego do Modelo Integrado de Uso do Solo e Transporte para o Aprimoramento das Previsões de Demanda: Uma Aplicação do TRANUS em Brasília, Publicação T.DM-020/2016, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 118p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Raphael Gonçalves Vanderlei.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Emprego do Modelo Integrado de Uso do Solo e Transporte para o Aprimoramento das Previsões de Demanda: Uma Aplicação do TRANUS em Brasília.

GRAU: Mestre

ANO: 2016

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.

Raphael Gonçalves Vanderlei
SGAN 911, Módulo F, Bloco D, apt. 118 – Asa Norte
70.790-901 Brasília – DF – Brasil.

“ O caos é uma ordem por decifrar.”

José Saramago

DEDICATÓRIA

Dedico essa obra aos meus pais, Maria José e Luís, que sempre me apoiaram na busca pelo conhecimento e me ensinaram a amar.

AGRADECIMENTOS

A minha família, em especial ao meu pai e minha mãe, pelo amor e apoio em todas as decisões tomadas em minha vida.

Ao Maurício, companheiro de todas as horas, pelo suporte afetivo e intelectual.

Ao meu orientador Prof. Dr. Pastor Willy Gonzales Taco, pela cordialidade, respeito e amizade ao longo deste trabalho e pelo auxílio no desenvolvimento e estruturação deste estudo.

À professora Dra. Michelle e Paulo Cesar, pelo acompanhamento desta dissertação e direcionamento nos momentos de dúvidas.

Ao Dr. Tomás de la Barra, pelo auxílio na aplicação da ferramenta de modelagem, apesar da distância que nos separava, presente durante todo o trabalho.

Aos professores do programa de Pós-graduação em Transporte, pela dedicação na transmissão dos conhecimentos e formação de novos profissionais.

Aos colegas do PPGT e do CEFTRU da Universidade de Brasília, que contribuíram no meu crescimento acadêmico e profissional através da discussão de ideias e convivência fraterna nesses dois anos de dedicação.

Aos colegas da ITEC Engenharia e Consultoria, pelo suporte, colaboração e confiança no desenvolvimento do trabalho, em especial ao Renato Maia, Larissa Brito, Cecília Pereira que muito me ensinaram sobre a prática da modelagem.

Aos colegas da Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação, em especial ao Vicente Lima, Heloísa Pereira, Adriana Salles e Jonathan Vinagre que apoiaram este estudo, além da confiança depositada nesta pesquisa.

Aos demais órgãos de governo, dentre eles Codeplan, Detran e DER, que disponibilizaram os dados necessários para a aplicação do trabalho.

Finalmente eu gostaria de agradecer aos membros dos grupos de discussão do TRANUS que deram conselhos e dicas preciosas no uso deste modelo.

RESUMO

MODELO INTEGRADO DE USO DO SOLO E TRANSPORTE PARA O APRIMORAMENTO DAS PREVISÕES DE DEMANDA: UMA APLICAÇÃO DO TRANUS EM BRASÍLIA – DISTRITO FEDERAL

A interação entre a oferta de transporte e a localização das atividades urbanas é um fenômeno com muitos estudos consolidados. O planejamento de transportes tem nos modelos de previsão de demanda uma importante ferramenta para a tomada de decisão em relação a novas intervenções físicas e serviços de transporte. Estes modelos de previsão buscam segregar os dados mais críticos do sistema de transporte para entender a situação atual e prever a evolução. Os modelos integrados de transporte e uso do solo, também conhecido por modelos LUTI (*Land used transportation integration*) são uma alternativa para a geração de previsões de demanda por meio da inserção de dados socioeconômicos de uso do solo das zona de tráfego, que se alteram conforme as mudanças de acessibilidade. O TRANUS é um dos modelos LUTI mais detalhados e de grande potencial de aplicação na área metropolitana do Distrito Federal (DF). Existe um desequilíbrio acentuado no Distrito Federal devido a sua concepção fortemente centralizadora, segregada e dispersa onde vias expressas realizam a interação entre as zonas periféricas e o centro. O Distrito Federal teve um crescimento exponencial e uma expansão da área urbana com novos assentamentos de baixa densidade, dispersão que colabora com a segregação social e supressão de oportunidades. Brasília tem todas as condições que permitem a realização da modelagem, em especial pela disponibilidade dos dados necessários. A aplicação do TRANUS na região metropolitana do Distrito Federal foi realizada por meio da importação da rede previamente criada no *software* EMME. A rede foi ajustada para o TRANUS, com inserção manual de informações sobre o transporte e em especial de uso do solo. Por esse trabalho foi possível criar a rede e aplicar o TRANUS para o desenvolvimento de um cenário base. Os resultados mostram saturação das vias estruturantes do Distrito Federal semelhantes às conclusões da aplicação do modelo EMME e do volume observado em dia típico, validando o estudo. Entretanto as variações dos valores de carregamento viário indicam a necessidade de calibração antes do processamento de cenários futuros.

ABSTRACT

LAND USE AND TRANSPORT INTERACTION MODEL FOR DEMAND PREDICTIONS ENHANCEMENT: AN APPLICATION OF TRANUS IN BRASÍLIA – DISTRITO FEDERAL

The interaction between transport supply and urban activity location is a phenomenon with strongly consolidated studies. Transport planning has in demand prediction models an important tool for decision making in relation to new physical interventions and transport services. This prediction models search to segregate critical data to understand the present situation and predict evolution. Land use and transport integrated models, also known as LUTI models, are an alternative for generation of demand prediction by insertion of socioeconomic data and land use of traffic zones, which alternates according to accessibility changes. TRANUS is one of the most detailed LUTI models, with great potential for application on the Distrito Federal (DF) metropolitan region. There is an accentuated imbalance in Distrito Federal due its strong centralist, segregated and disperse conception, where highways have an important role on interaction between peripheral zones and central ones. Federal District had an explosive growth in the later years with the expansion of urban areas with new, low density, settlements. Those dispersions collaborate with social segregation and opportunity suppression. Brasília has all conditions, which allows the development of modeling, in special due data availability. The application of TRANUS on the metropolitan region of Distrito Federal was performed through the importation of a previously designed network on the *software* EMME. The network was imported and adjusted for TRANUS, with manual insertion of land-use and transport data. In the present work was possible to generate a Brasília Network and apply TRANUS on the development of the reference scenario. The results showed saturation of Distrito Federal's structural axis with similar conclusion from previously applied models and with vehicle volume, validating this study. However the values variations on the road loading indicates the necessity of calibration of the network before processing future scenarios.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1. DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA	19
1.2. OBJETIVO GERAL	19
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.4. JUSTIFICATIVA.....	20
1.4.1. Aspectos Técnicos e Acadêmicos.....	20
1.4.2. Aspectos Econômicos e Sociais.....	22
1.4.3. Aspectos Políticos e Territoriais.....	23
1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	24
2. MODELOS DE TRANSPORTE.....	27
2.1. APRESENTAÇÃO.....	27
2.2. MODELOS DE TRANSPORTE TRADICIONAIS.....	27
2.2.1. O Modelo de Quatro Etapas.....	28
2.2.2. <i>Software</i> EMME	30
2.2.3. Modelos de Atividade	31
2.3. TÓPICOS CONCLUSIVOS.....	32
3. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO DOS MODELOS DE USO DO SOLO.....	34
3.1. APRESENTAÇÃO.....	34
3.2. RELAÇÃO ENTRE USO DO SOLO E TRANSPORTE.....	34
3.3. EVOLUÇÃO DOS MODELOS DE USO DO SOLO E TRANSPORTE	36
3.3.1. Modelo Clássico de Uso do Solo e Transporte Proposto por Von Thünen.....	36
3.3.2. Modelo Neoclássico de Uso do Solo e Transporte Proposto por Alonso.....	36
3.3.3. Modelo Gravitacional de Atividades Proposto por Lowry.....	37
3.3.4. Modelo Integral e maximização da entropia proposto por Wilson	38
3.3.5. Modelos de Escolha e Utilidade Aleatória desenvolvido por McFadden.....	39
3.4. MODELOS INTEGRADOS DE USO DO SOLO E TRANSPORTE.....	39
3.4.1. Caracterização dos Principais Modelos de Uso do Solo e Transporte	39
3.4.2. Caracterização Teórica do Modelo TRANUS.....	41
3.4.3. Caracterização do <i>Software</i> TRANUS.....	43
3.5. TÓPICOS CONCLUSIVOS.....	46

4. MÉTODO DE APLICAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS DO MODELO INTEGRADO DE USO DO SOLO E TRANSPORTE	47
4.1. APRESENTAÇÃO	47
4.2. CARACTERIZAÇÃO DA MODELAGEM.....	47
4.3. ETAPAS DE APLICAÇÃO DO MODELO	49
4.3.1. Etapa 1: Coleta e Manipulação dos Dados	50
4.3.2. Etapa 2: Importação dos Dados.....	51
4.3.3. Etapa 3: Simplificação da rede.....	51
4.3.4. Etapa 4: Inserção de Dados Diversos.....	52
4.3.5. Etapa 5: Inserção de Dados de Uso do Solo.....	53
4.3.6. Etapa 6. Construção cenário referencial e validação	55
4.3.7. Etapa 7: Construção dos Cenários Futuros	55
4.3.8. Etapa 8: Processamento dos Resultados.....	56
4.4. MÉTODO DE ANÁLISE DOS RESULTADOS DO MODELO.....	58
4.4.1. Primeira fase: Análise dos resultados do TRANUS por meio dos indicadores	59
4.4.2. Segunda fase: Análise comparativa com o PDTU-DF 2010	60
4.4.3. Terceira fase: Análise comparativa com dados de contagem volumétrica	60
4.5. TÓPICOS CONCLUSIVOS.....	60
5. APLICAÇÃO DO MODELO TRANUS DE SIMULAÇÃO INTEGRADA PARA A ÁREA URBANA DO DISTRITO FEDERAL.....	62
5.1. APRESENTAÇÃO.....	62
5.2. CONTEXTO URBANO DO DISTRITO FEDERAL	62
5.3. CONCEPÇÃO E SISTEMATIZAÇÃO DOS DADOS COLETADOS	72
5.4. CONSTRUÇÃO DA REDE DE TRANSPORTE E ZONAS DO TERRITÓRIO	73
5.4.1. Importação, manipulação e adição de dados para a construção da rede.....	74
5.4.2. Cenário referencial e cenários futuros	80
5.4.3. Categorização dos dados	83
5.4.4. Criação dos setores.....	84
5.4.5. Dados Econômicos	85
5.5. TÓPICOS CONCLUSIVOS.....	90
6. RESULTADOS E ANÁLISE DA APLICAÇÃO MODELO	92
6.1. APRESENTAÇÃO	92
6.2. INDICADORES	92

6.2.1 Indicador 1: Taxa de Saturação Viária.....	93
6.2.2 Indicador 2: Viagens por classe de renda e por modo.....	95
6.2.3 Indicador 3: Número de viagens totais, realizadas e suprimidas.....	96
6.2.4 Indicador 4: Comprimento médio de viagem.....	97
6.2.5 Indicador 5: Tempo de viagem	98
6.2.6 Indicador 6: Custo médio de viagem por categoria	99
6.2.7 Análise geral dos indicadores	100
6.3. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS RESULTADOS DA MODELAGEM E OS DADOS DO PDTU (2010)	101
6.4. ANÁLISE COMPARATIVA DA MODELAGEM COM OS DADOS DE CONTAGEM VOLUMÉTRICA DE VEÍCULOS EM DIA TÍPICO.....	107
7. CONCLUSÕES	113
7.1. LIMITAÇÕES DE PESQUISA	113
7.2. ANÁLISES CONCLUSIVAS.....	115
7.3. RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	116
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118
ANEXOS	122

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Estrutura da dissertação	26
Figura 3. 1. Relação entre transporte e uso do solo (Lowry, 1964)	34
Figura 3. 2. Antecedentes teóricos do sistema TRANUS (De la Barra, 1989)	42
Figura 3. 3. Componentes principais do sistema uso do solo e transportes (De la Barra, 1989)	44
Figura 3. 4. Estrutura geral do sistema TRANUS (De la Barra, 1989).....	45
Figura 4. 1. Fluxograma das oito etapas.....	49
Figura 4. 2. Fluxograma do método de importação dos dados e desenvolvimento da rede no programa TRANUS.....	57
Figura 4. 3. Fases da análise dos resultados	59
Figura 5. 1. Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno - RIDE.....	63
Figura 5. 2. Mancha urbana da região metropolitana do Distrito Federal (PDOT/DF, 2009) .	63
Figura 5. 3. Linhas de desejo de deslocamento da região metropolitana do Distrito Federal (PDTU/DF, 2010).....	65
Figura 5. 4. Rede de vias que recebem as linhas de ônibus e metrô do serviço básico de transporte coletivo do Distrito Federal (PDTU/DF, 2010)	68
Figura 5. 5. Rede de vias que recebem as linhas de ônibus do serviço de transporte coletivo semiurbano do Distrito Federal (PDTU/DF, 2010).....	69
Figura 5. 6. Fluxo esquemático de linhas de transporte público no Sistema Direto	70
Figura 5. 7. Fluxo esquemático de linhas de transporte público no Sistema Integrado troncal	71
Figura 5. 8. Eixos troncais propostos no PDTU (PDTU/DF, 2010)	72
Figura 5. 9. Visão geral da rede importada (nós, <i>links</i> e zonas) e editada dentro do programa TRANUS	76
Figura 5. 10. Visão aproximada da rede importada (nós, <i>links</i> e zonas) e editada dentro do programa TRANUS.....	77
Figura 5. 11. Fluxograma do processo de aquisição e importação dos dados originalmente da rede de Brasília dentro do programa EMMÉ para o programa TRANUS	77
Figura 5. 12. Representação das rotas das linhas de ônibus que circulam na rede viária do DF no cenário base, a diversidade de cores indicam o número de linhas que passam por um determinado <i>link</i>	78
Figura 5. 1. Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno – RIDE (PDTU/DF, 2010).....	63
Figura 5. 2. Mancha urbana da região metropolitana do Distrito Federal (PDOT/DF, 2009) .	63
Figura 5. 3. Linhas de desejo de deslocamento da região metropolitana do Distrito Federal (PDTU/DF, 2010).....	65

Figura 5. 4. Rede de vias que recebem as linhas de ônibus e metrô do serviço básico de transporte coletivo do Distrito Federal (PDTU/DF, 2010)	68
Figura 5. 5. Rede de vias que recebem as linhas de ônibus do serviço de transporte coletivo semiurbano do Distrito Federal (PDTU/DF, 2010).....	69
Figura 5. 6. Fluxo esquemático de linhas de transporte público no Sistema Direto	70
Figura 5. 7. Fluxo esquemático de linhas de transporte público no Sistema Integrado troncal	71
Figura 5. 8. Eixos troncais propostos no PDTU (PDTU/DF, 2010)	72
Figura 5. 9. Visão geral da rede importada (nós, <i>links</i> e zonas) e editada dentro do programa TRANUS.....	76
Figura 5. 10. Visão aproximada da rede importada (nós, <i>links</i> e zonas) e editada dentro do programa TRANUS.....	77
Figura 5. 11. Fluxograma do processo de aquisição e importação dos dados originalmente da rede de Brasília dentro do programa EMME para o programa TRANUS	77
Figura 5. 12. Representação das rotas das linhas de ônibus que circulam na rede viária do DF no cenário base, a diversidade de cores indicam o número de linhas que passam por um determinado <i>link</i>	78
Figura 5. 13. Visão ampliada das rotas das linhas de ônibus que circulam na rede do DF no cenário base, a diversidade de cores indicam o número de linhas que passam por um determinado <i>link</i>	78
Figura 5. 14. Rede viária modelada no <i>software</i> TRANUS. As cores diferentes dos <i>links</i> correspondem aos 44 diferentes <i>link-types</i> especificados dentro do <i>software</i> TRANUS	79
Figura 5. 15. Visão ampliada da rede dentro do programa TRANUS, cada cor dos <i>links</i> correspondem aos diferentes <i>link-types</i>	79
Figura 5. 16. Fluxograma do processo de continuidade de edição da rede de Brasília dentro do programa TRANUS, com inserção de dados não importáveis.....	80
Figura 5. 17. Fluxograma da criação dos cenários futuros e edição dos mesmos.....	81
Figura 5. 19. Mapa do preço médio de venda do metro quadrado dos imóveis comerciais e residenciais de cada AMB em escala de cor (Elaboração própria)	88
Figura 5. 20. Fluxograma da inserção dos dados de uso do solo e da edição dos dados do PDAD/PMAD	90
Figura 6. 1. Taxa de saturação viária pela modelagem no TRANUS	94
Figura 6. 2. Visão ampliada da taxa de saturação viária pela modelagem no TRANUS.....	94
Figura 6. 3. Gráfico do número total de viagens de acordo com classe de renda e modo de transporte, resultante da modelagem do cenário base no TRANUS	96
Figura 6. 4. Gráfico com número total de viagens resultante da somatória de viagens realizadas com viagens suprimidas de acordo com classe de renda, independente do modo.....	97
Figura 6. 5 Gráfico com comprimento médio de viagem em quilômetros rodados de acordo com classe de renda.....	98
Figura 6. 6. Gráfico com horas de viagem de acordo com classe de renda	99

Figura 6. 7. Gráfico com custo médio (em reais) de viagem por classe de renda.....	100
Figura 6. 8. A - Carregamento da rede de transporte público coletivo apresentado no PDTU/DF (2010) executados com o <i>software</i> EMME. Situação do ano base (2009) - passageiros na hora pico da manhã. B - Carregamento da rede de transporte público coletivo executado com o <i>software</i> TRANUS. Situação do ano base - passageiros na hora pico da manhã.....	103
Figura 6. 9. A - Visão ampliada do carregamento da rede de transporte público coletivo apresentado no PDTU/DF (2010) executados com o <i>software</i> EMME. Situação do ano base (2009) - passageiros na hora pico da manhã. B - Visão ampliada do carregamento da rede de transporte público coletivo executado com o <i>software</i> TRANUS.....	105
Figura 6. 10. A - Carregamento da rede de transporte individual executado com o <i>software</i> EMME. Passageiros na hora pico da manhã – situação ano base 2009 (PDTU/DF, 2010). B - Carregamento da rede de transporte individual executado com o <i>software</i> TRANUS	107
Figura 6. 11. Posições georeferenciadas dos radares com informações para calibração do cenário base	109
Figura 6. 12. Fluxograma do processo de calibração e análise dos resultados da rede de Brasília no programa TRANUS	109
Figura 6. 13. Gráfico dos dados de contagem volumétrica do DER com os dados de volume resultantes da análise do TRANUS.....	110
Figura A.1. Gráficos das funções de demanda de cada setor de uso do solo utilizados na rede Brasília no TRANUS.	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 3. 1 Principais modelos integrados de uso do solo e transporte. (Wegener, 2004 <i>apud</i> Kneib (2009)	40
Tabela 5. 1. Número de zonas de cada Região Administrativas (PDTU/DF, 2010).....	75
Tabela 5. 2. Categorias de renda da área metropolitana do Distrito Federal (PDAD-2013)....	83
Tabela 5. 3. Definições de setores no TRANUS com seus respectivos tipos e elasticidades ..	85
Tabela 5. 4 .Valor monetário (Real) do aluguel por metro quadrado por região administrativa do Distrito Federal e de oito cidades do entorno.....	86
Tabela 5. 5. Matriz de <i>Inter-sector</i> no TRANUS, considerando que os valores de uso do solo na tabela usam média e não valores mínimos e máximos como na rede	89
Tabela 6. 1. Teste-t: duas amostras presumindo variâncias diferentes	110
Tabela A.1. Resultados dos indicadores de transporte da rede Brasília no TRANUS.....	122
Tabela A.2. Painel de controle com a estimativa de parâmetros.....	127

Tabela A.3. Dados usados para montagem dos gráficos das funções de demanda de cada setor de uso do solo utilizados na rede Brasília no TRANUS.	129
Tabela A. 4. Dados de “ <i>inter-sector</i> ” inseridos no TRANUS para análise da rede Brasília.	131

LISTA DE TABELAS

Figura 6. 1. Taxa de saturação viária pela modelagem no TRANUS	94
Figura 6. 2. Visão ampliada da taxa de saturação viária pela modelagem no TRANUS.....	94
Figura 6. 3. Gráfico do número total de viagens de acordo com classe de renda e modo de transporte, resultante da modelagem do cenário base no TRANUS. (Elaboração própria)	96
Figura 6. 4. Gráfico com número total de viagens resultante da somatória de viagens realizadas com viagens suprimidas de acordo com classe de renda, independente do modo (Elaboração própria).....	97
Figura 6. 5 Gráfico com comprimento médio de viagem em quilômetros rodados de acordo com classe de renda (Elaboração própria).....	98
Figura 6. 6. Gráfico com horas de viagem de acordo com classe de renda (Elaboração própria)	99
Figura 6. 7. Gráfico com custo médio (em reais) de viagem por classe de renda (Elaboração própria).....	100
Figura 6. 8. A - Carregamento da rede de transporte público coletivo apresentado no PDTU/DF (2010) executados com o <i>software</i> EMME. Situação do ano base (2009) - passageiros na hora pico da manhã. B - Carregamento da rede de transporte público coletivo executado com o <i>software</i> TRANUS. Situação do ano base - passageiros na hora pico da manhã.....	103
Figura 6. 9. A - Visão ampliada do carregamento da rede de transporte público coletivo apresentado no PDTU/DF (2010) executados com o <i>software</i> EMME. Situação do ano base (2009) - passageiros na hora pico da manhã. B - Visão ampliada do carregamento da rede de transporte público coletivo executado com o <i>software</i> TRANUS.....	105
Figura 6. 10. A - Carregamento da rede de transporte individual executado com o <i>software</i> EMME. Passageiros na hora pico da manhã – situação ano base 2009 (PDTU/DF, 2010). B - Carregamento da rede de transporte individual executado com o <i>software</i> TRANUS	107
Figura 6. 11. Posições georeferenciadas dos radares com informações para calibração do cenário base (Elaboração própria).....	109
Figura 6. 12. Fluxograma do processo de calibração e análise dos resultados da rede de Brasília no programa TRANUS	109
Figura 6. 13. Gráfico dos dados de contagem volumétrica do DER com os dados de volume resultantes da análise do TRANUS. (Elaboração própria).....	110

LISTA DE SIGLAS

AMB	Área metropolitana de Brasília
BRT	Bus Rapid Transit
CODEPLAN	Companhia de Planejamento do Distrito Federal
CTNT	Comportamento em Transporte e Novas Tecnologias (Grupo de pesquisa)
DER	Departamento de Estradas e Rodagem
DETRAN	Departamento Estadual de Trânsito
EPAR	Estrada Parque Aeroporto
EPCL	Estrada Parque Ceilândia
EPCT	Estrada Parque do Contorno
EPIA	Estrada Parque de Indústria e Abastecimento
EPIG	Estrada Parque de Indústrias Gráficas
EPNB	Estrada Parque Núcleo Bandeirante
EPTG	Estrada Parque Taguatinga
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LUTI	Land Use and Transport Integration
PDAD	Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios
PDOT	Plano Direto de Ordenamento Territorial do Distrito Federal
PDTU	Plano Diretor de Transporte Urbano e Mobilidade
PMAD	Pesquisa Metropolitana por Amostra de Domicílios
RA	Região Administrativa
RIDE	Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno
SEGETH	Secretaria de Estados de Gestão do Território e Habitação
STPC/DF	Sistema de Transporte Público Coletivo
VLT	Veículo leve sobre trilhos

1. INTRODUÇÃO

A relação entre oferta de infraestrutura de transporte e o desenvolvimento econômico-social urbano é evidente nas cidades brasileiras. Existe uma interação muito forte entre a oferta de transporte e a localização das atividades urbanas na ocupação e uso do solo. O sistema de transporte gera consequências no uso do solo tanto no curto prazo, influenciando origem, destino, modo, tempo, rota das viagens; quanto no longo prazo, alterando a localização das atividades (Manheim, 1979).

Os modelos de previsão de demanda de transporte buscam segregar os dados mais críticos para entender a situação atual e prever a evolução (Ben-Akivai *et al.*, 1996). No planejamento dos transportes a modelagem é uma importante ferramenta para a tomada de decisão.

De acordo com Ortúzar & Willumsen (1994), modelo é uma representação simplificada do mundo real, onde se concentra determinados elementos críticos para a análise de um fenômeno, de um ponto de vista particular. A quantidade de entes envolvidos e a complexidade dos sistemas exige a criação de parâmetros de análise e comparação. Assim é possível fazer uma leitura do comportamento da rede mais próxima da realidade.

Os primeiros modelos desenvolvidos se concentravam na previsão de demanda com o objetivo prioritário de prover infraestrutura adequada, privilegiando quase sempre o transporte individual motorizado (Bates, 2008). Essa postura justificou muitas obras de expansão viária e desapropriações por parte do poder público.

Os modelos tradicionais de transporte geralmente realizam previsões para cenários estáticos, desconsiderando algumas interações e fatores externos. Esta simplificação pode ocultar mudanças que alterariam a realidade esperada, invalidando o modelo (Ortúzar & Willumsen, 1994, Hensher & Button, 2008).

O modelo de previsão de demanda mais tradicional é o modelo de quatro etapas. Este modelo se consolidou devido ao seu pioneirismo e a praticidade de aplicação e coleta dos dados (McNally, 2007). O modelo é estruturado em estágios sequenciais de previsão: geração de viagens, distribuição, divisão modal e alocação. O modelo de quatro etapas faz uso de dados agregados onde o uso do solo, em termos socioeconômicos, é um dado de entrada.

As interações entre uso do solo e transporte são negligenciadas no modelo de quatro etapas. Esta omissão é apontada como uma das principais causas de imprecisão na previsão de demanda (Vichiensan *et al.*, 2003). Com isso, outras técnicas e métodos matemáticos foram se consolidando no desenvolvimento de modelos que fazem uso de dados desagregados e características comportamentais nas decisões de viagem.

As relações entre os aspectos espaciais e as decisões de viagem são cada vez mais investigadas. De acordo com Medrano (2012), a expansão urbana tem uma relação causal no comportamento da demanda de viagens e na produção dos padrões de viagens. Seus estudos apontam que quanto maiores os fatores espaciais da expansão urbana, maior será o número de viagens residência-trabalho e residência-estudo.

Segundo Takano (2011) quando as projeções de demanda não consideram os fatores espaciais do ambiente urbano presume-se implicitamente que o comportamento das pessoas nos deslocamentos se manterá o mesmo. Esta presunção é enganosa, pois a acelerada expansão urbana, nem sempre controlada pelo planejamento, influencia a geração e os padrões de viagens.

Os modelos integrados de transporte e uso do solo, também conhecido por modelos LUTI (*Land used transportation integration*) surgem como uma alternativa adequada para a previsão de demanda associada ao planejamento de uso do solo urbano. O que o diferencia dos demais modelos é o fato de gerar suas próprias previsões de uso do solo através das mudanças de acessibilidade provocadas pelas condições do sistema de transporte (De La Barra, 1989).

Os modelos LUTI partem do princípio de que o uso do solo afeta e é afetado pela oferta de transportes, numa interação em ciclos até atingir uma situação de equilíbrio entre a oferta de transporte e o uso do solo urbano (Kneib, 2009). Este tipo de modelo advém da necessidade de prever não apenas a demanda de transporte consequente do uso do solo urbano como também as alterações no uso do solo urbano consequente das alterações de oferta de transporte. A fundamentação teórica dos modelos LUTI advém das teorias da microeconomia espacial, teorias de gravidade e entropia, insumo-produto e teoria da utilidade aleatória (De La Barra, 1989).

De acordo com Martinez (2000), o desenvolvimento e consolidação dos modelos Integrados de Transporte e Uso do Solo (LUTI) para subsidiar o planejamento urbano abrem novas reflexões: (a) até que ponto e em que circunstâncias as infraestruturas de transporte podem induzir o desenvolvimento urbano; (b) quanto dos benefícios gerados pela oferta de novas infraestruturas são apropriados e capitalizados pelos proprietários e usuários do solo urbano; (c) em que medida os locais de escolha são definidos pela acessibilidade proveniente do sistema de transporte.

1.1. DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

Diante das reflexões apontadas em torno dos modelos LUTI apresenta-se o seguinte problema de pesquisa:

Como aplicar o modelo integrado de Transporte e Uso do Solo (LUTI) no contexto urbano do Distrito Federal para a previsão de demandas futuras fazendo uso das bases de dado disponíveis no DF?

1.2. OBJETIVO GERAL

Aplicar o modelo integrado de uso do solo e transporte, utilizando o *software* TRANUS e as bases de dado disponíveis para a previsão da demanda de transporte na área urbana do Distrito Federal.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar e compreender o funcionamento dos parâmetros abordados no modelo integrado de uso do solo e transporte (TRANUS).
- Analisar a representatividade do modelo LUTI (TRANUS) por meio de indicadores de mobilidade relativos a tempo, distância e custo de viagem.
- Verificar o nível de acerto da aplicação do modelo LUTI (TRANUS) por meio da comparação entre o carregamento viário do cenário base no TRANUS e o carregamento viário do mesmo cenário no modelo quatro etapas (EMME) do

PDTU/DF (2010) e da comparação com os dados de contagem volumétrica de veículos do ano 2015.

1.4. JUSTIFICATIVA

1.4.1. Aspectos Técnicos e Acadêmicos

Existem vários modelos de previsão de demanda: Modelos que fazem uso de dados agregados e desagregados, modelos com abordagem comportamental nas decisões de viagem e modelos centrados nas atividades. A praticidade na coleta e processamento das informações necessárias mostrou-se decisiva na escolha do Modelo Integrado de Uso do Solo e Transporte (LUTI) para estudo.

A escolha de modelo para a previsão de demanda é um momento crítico no planejamento urbano. Dado a dificuldade de decisão, este trabalho pretende fornecer informações que auxiliem nesta escolha.

Comumente, faz-se uso do modelo quatro etapas para definição da demanda na elaboração de planos diretores de transporte urbano, caso do PDTU/DF (2010), possibilitando uma grande quantidade de dados já disponibilizados a partir destes planos. A abordagem comparativa entre a aplicação do modelo LUTI e do modelo quatro etapas não exigiria a aplicação de extensos questionários e entrevistas com amostra significativa da população, visto que os dados de uso do solo podem ser obtidos nos bancos de dados cadastrais do zoneamento urbano e nos levantamentos censitários do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e CODEPLAN (Companhia de Planejamento do DF) (emprego, renda e matrículas escolares) e os dados de transportes podem ser coletados dos planos diretores de transporte elaborados previamente.

A aplicação de modelos LUTI para previsão de demanda ainda não é realizada de forma expressiva no Brasil, porém já existem algumas aplicações em andamento nas regiões metropolitanas de São Paulo (Stm-Sp, 2012, Stm-Sp, 2013), Campinas, Belo Horizonte (Werneck, 2015, Dos Santos, 2013), Rio de Janeiro, Fortaleza e Salvador. Procura-se promover o uso dos modelos LUTI no planejamento urbano das cidades brasileiras demonstrando que estes modelos apresentam resultados robustos e completos. Os resultados

da aplicação do modelo também podem contribuir com um planejamento urbano mais integrado entre as áreas de transporte e urbanismo. Muitas vezes estas áreas do planejamento estão distanciadas nos órgãos de governo. A aproximação pode proporcionar soluções mais equilibradas e eficientes, atendendo interesses comuns e favorecendo a compatibilização de projetos que, no fundo, referem-se ao mesmo objeto: o planejamento e desenvolvimento da cidade.

Os modelos LUTI são muito vantajosos, pois permitem aos planejadores identificar as mudanças na ocupação e uso do solo em cenários futuros propostos. Seus resultados podem, inclusive, serem usados como dados de entrada no modelo tradicional de quatro etapas (Bates, 2008).

É importante ressaltar que modelos são abstrações simplificadas do mundo real e muitos aspectos são desconsiderados (Bates, 2008). Assim sendo, modelos de previsão de demanda não são os únicos instrumentos para a tomada de decisão. Porém, devem ser compreendidos como primordiais para o planejamento. Os resultados expressivos que geram evitam o mau dimensionamento, o desperdício e a ineficiência de novas infraestruturas propostas.

O uso de um modelo LUTI, complementando os modelos convencionais, é oportuno para a busca por maior precisão das previsões de demanda. Ao confrontar os resultados das duas abordagens pode-se reforçar e validar as conclusões. Outro ponto importante é a racionalização dos recursos disponíveis, que são sempre limitados, exigindo maior planejamento e gestão para alcançar as previsões.

Estas pesquisas são úteis ao planejamento urbano para definição de ações prioritárias e de maior efeito. A aplicação de recursos públicos em obras e serviços demanda bons estudos que comprovem os impactos positivos e vantagens para a cidade. A atração de investimentos privados também se apoia em resultados robustos, que exponham a rentabilidade e os riscos de investimento, em contrapartida aos custos e prejuízos sociais e ambientais.

O Grupo de Pesquisa Comportamento em Transportes e Novas Tecnologias – CTNT, formado por professores e pesquisadores de diferentes departamentos da Universidade de Brasília, universidades nacionais e internacionais parceiras e instituições afins, tem entre seus

objetivos investigar o comportamento dos indivíduos no sistema de transportes, para subsidiar os gestores na implementação de políticas públicas eficientes. Esta dissertação integra os trabalhos realizados pelo grupo CTNT na linha de pesquisa da Modelagem Comportamental em Transportes, que tem por objetivo representar e modelar o comportamento de viagem dos indivíduos nos sistemas de transportes.

Portanto, existe uma quantidade expressiva de fatores técnicos e acadêmicos que justificam o avanço de estudos de modelos de previsão de demanda com o intuito de aperfeiçoar as técnicas de modelagem em transporte para o planejamento de cidades cada vez mais eficientes e equilibradas.

1.4.2. Aspectos Econômicos e Sociais

Um Modelo de Uso do Solo e Transportes é uma representação teórica e formal com finalidade de contribuir com a análise de um território em seus aspectos espaciais, econômicos e sociais (Leurent, 2012).

Por meio do modelo LUTI é possível realizar simulações que fornecem previsões para os eixos de transporte, localização das atividades e empregos, e estimar variações nos preços das propriedades e do solo urbano. Este tipo de modelagem permite integrar os dados sobre o uso do solo com os dados sobre o sistema de transporte, possibilitando simular esta interação em um horizonte temporal (Feudo, 2014).

Por modelação integrada entende-se a representação da oferta e demanda de um sistema de transportes e o funcionamento socioeconômico do território em que se insere este sistema por meio da simulação do comportamento das famílias e empregos, assim como os efeitos estruturantes da oferta de transporte na composição espacial da área de estudo.

Estes modelos podem fazer esses dois sistemas interagirem e, com isso, gerar mudanças no equilíbrio econômico entre a oferta e a procura e também na dinâmica competitiva que existe na escolha da localização de atividades em função de alguns fatores-chaves: acessibilidade, custos de transporte e preços das propriedades e do solo urbano (Nguyen-Luong, 2012).

A expansão e crescimento das cidades, principalmente nos países em desenvolvimento, proporcionam o surgimento de assentamentos desarticulados e carentes de serviços e empregos, prejudicados pela acessibilidade e escassez de oportunidades. Estas características potencializam a marginalização social e a preservação da desigualdade social. Os resultados desse fenômeno atingem toda a população urbana, que perde produtividade e eficiência, mas principalmente a população pobre que é afastada das vantagens de habitar a cidade e se desenvolver individual e familiar.

A aplicação do modelo LUTI pode, portanto, contribuir com o planejamento urbano na identificação de áreas de baixa dinamização econômica e definição de ações que aumente a dinamização destas áreas, colaborando com o desenvolvimento econômico-social de todo o território urbano.

1.4.3. Aspectos Políticos e Territoriais

A construção de um modelo integrado de uso do solo e transporte para um território requer um significativo investimento na capacitação de um corpo técnico para o domínio teórico e metodológico e para colher informações, identificar e acompanhar os fenômenos, simular o estado observado do sistema territorial e sintetizar o desempenho (Leurent, 2012).

A modelagem também requer investimento na gestão e no planejamento do território, aproveitando-se das ferramentas de simulação, que são eficientes e flexíveis, para o diagnóstico (situação atual) e prognóstico (cenários de planejamento). O Modelo Integrado de Uso do Solo e Transporte pode ser usado para ampliar e aprofundar a capacidade de planejamento territorial integrando as questões de ordenamento territorial com o as questões de desenvolvimento econômico e social (Leurent, 2012).

O poder público tem, portanto, uma grande oportunidade de realizar a gestão e o planejamento eficiente das cidades e melhorar a qualidade de vida da população urbana de forma progressiva e desconcentrada. O estudo da dinâmica urbana e desenvolvimento de políticas que compõem um plano estratégico podem alcançar suas finalidades e promover mudanças permanentes e positivas, desde que seja feito de forma responsável e com propósitos legítimos.

Uma das dificuldades políticas na realização de estudos e planos de desenvolvimento urbano é o baixo interesse dos agentes políticos em ações de longo prazo, que muitas vezes estão mais interessados na rápida ascensão pessoal e na visibilidade que ações de curto prazo geram. Outro fator é a interferência de grupos organizados e empresas em favor de causas próprias em detrimento dos demais grupos sociais. São grupos que possuem vantagens e privilégios na manutenção da situação atual e por isso pressionam e prejudicam o avanço de mudanças positivas (Feudo, 2014).

A expansão territorial e o crescimento exponencial das cidades ocasionam na ocupação de áreas de difícil e custosa integração, pela distância das áreas centrais ou pelo assentamento em terrenos inapropriados, como morros e encostas. O planejamento e a gestão do território urbano devem ser contínuos e buscar atender as demandas por habitação e demais usos do solo de forma que as cidades consigam se desenvolver de forma mais compacta (Feudo, 2014). A ocupação de áreas degradadas e áreas em desuso são essenciais para este processo. Evitar a segmentação das atividades apoiando a diversificação também deve ser a prioridade, pois é uma das principais causas da geração de viagens longas.

Os modelos de previsão podem apoiar os planos estratégicos acelerando o desenvolvimento das cidades. A realização de pesquisas científicas e estudos técnicos locais podem contribuir para o esclarecimento da população e a persuasão dos agentes políticos das reais demandas urbanas.

1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Essa dissertação será estruturada em sete capítulos.

O capítulo introdutório comporta a contextualização do problema, os objetivos do estudo e as justificativas de pesquisa.

O segundo capítulo da dissertação trata da revisão literatura e está dividida em seções que abordam o Modelo de Quatro Etapas e os Modelos baseados em Atividades.

O terceiro capítulo aborda a relação entre uso do solo e transporte, a Evolução dos Modelos de Uso do Solo e a caracterização dos Modelos Integrados de Uso do Solo e Transporte. Esta

última composta pela caracterização teórica do TRANUS e pela caracterização do *software* em questão.

O quarto capítulo trata da metodologia da dissertação. Este descreve o método de modelagem da área de estudo no TRANUS e método comparativo de análise dos resultados.

O quinto capítulo contém a aplicação do modelo na área urbana do Distrito Federal, abordando uma análise e contextualização da área de estudo, a concepção e sistematização dos dados coletados, construção da rede de transporte e zoneamento do território e a introdução dos dados de uso do solo nas zonas de tráfego.

O sexto capítulo apresenta a análise dos resultados da modelagem e a análise comparativa do modelo em conjunto com a discussão.

O sétimo e último capítulo apresenta a conclusão do trabalho, ou seja, apresentação dos objetivos alcançados, as restrições da pesquisa, recomendações de estudos futuros.

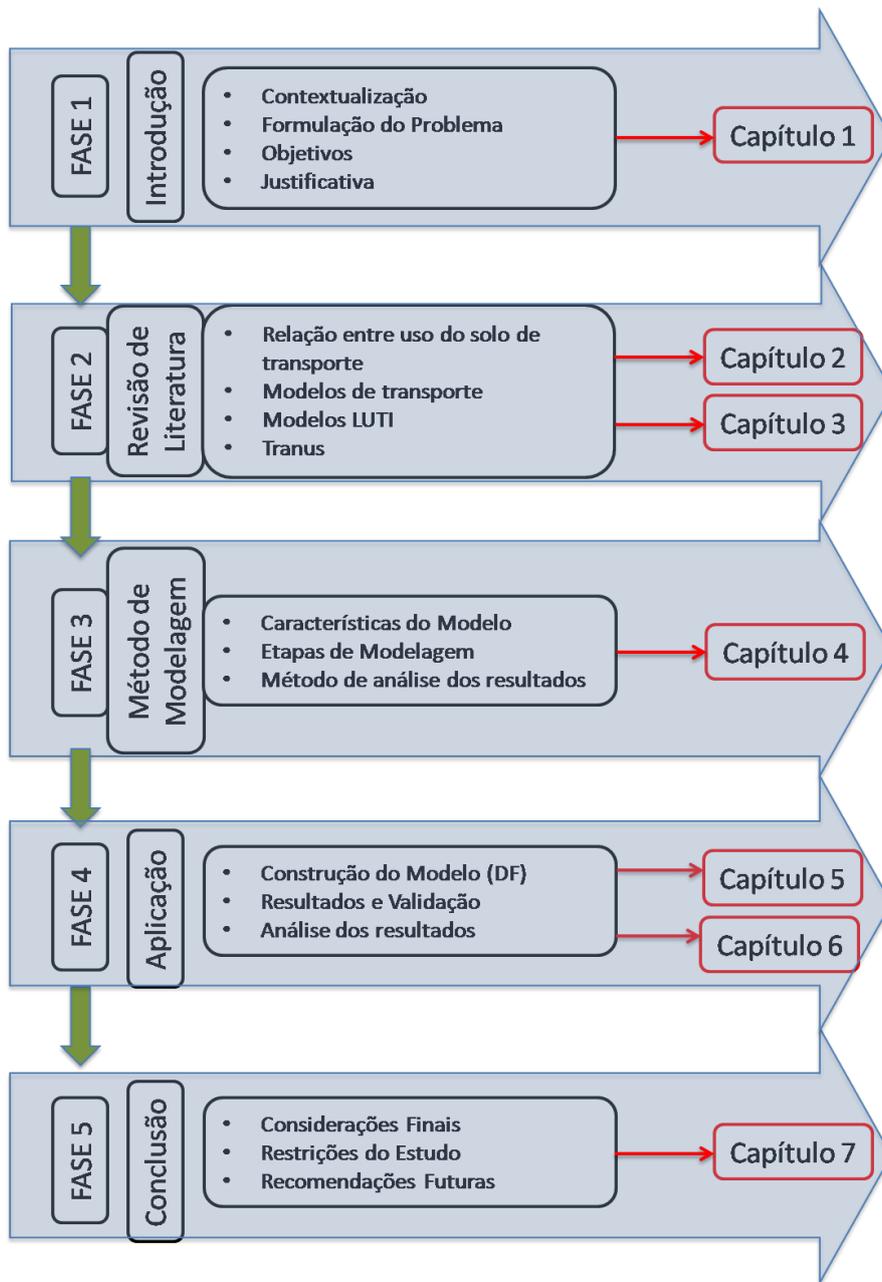


Figura 1.1. Estrutura da dissertação

2. MODELOS DE TRANSPORTE

2.1. APRESENTAÇÃO

Este capítulo irá apresentar os principais itens que compõem o modelo de quatro etapas e o modelo de atividade. O objetivo deste capítulo será revisar estes modelos de previsão de demanda que são precedentes à consolidação dos modelos integrados de uso do solo. Foram observados aspectos relacionados à evolução teórica dos modelos, especificidades dos submodelos desenvolvidos e as relações entre estes métodos de modelagem.

As partes que compõem capítulo são: modelos tradicionais de demanda, modelo quatro etapas, *softwares* EMME e modelos de atividade.

2.2. MODELOS DE TRANSPORTE TRADICIONAIS

Os fundamentos da modelagem de transporte foram desenvolvidos nos EUA durante a década de 1950 e importados ao Reino Unido na década de 1960. Na década de 1970 o trabalho resultou em uma estrutura unificadora, compatível com o desenvolvimento econômico (Ortúzar & Willumsen, 1994). O grande aumento do poder da computação a partir da década de 1990 tem expandido muito as possibilidades de análise dos problemas que podem ser processados por meio de técnicas de modelagem.

A modelagem de transportes vem sofrendo mudanças em seus objetivos. No início os modelos eram predominantemente preocupados com a oferta de capacidade, refletindo as crescentes exigências feitas pelo automóvel. Atualmente, as principais preocupações são os efeitos ambientais do transporte rodoviário e os esforços para restringir ainda mais o crescimento do fluxo por transporte individual por automóveis (Bates, 2008).

As noções de oferta e demanda são fundamentais para a teoria econômica. Embora estas noções sejam amplamente utilizadas no planejamento dos transportes, é importante que haja preocupação maior com equilíbrio do sistema. A separação espacial é a essência da demanda de viagens e a maioria dos modelos pretendem reconhecer a distribuição espacial das viagens explicitamente, por meio de um sistema adequado de fluxos (Ortúzar & Willumsen, 1994). A modelagem da demanda implica o processamento profundo dos dados coletados para a

previsão das decisões de viagem que as pessoas fazem, dado o custo generalizado de todas as alternativas.

2.2.1. O Modelo de Quatro Etapas

O modelo de quatro etapas é o mais amplamente usado. A razão da consolidação desse modelo reside essencialmente no seu apelo lógico. A estrutura básica introduzida por Manheim (1979) e ampliado por Florian *et al.* (1988) fornece um paradigma abrangente para examinar o modelo de quatro etapas.

O sistema de transporte, formado pelos elementos que compreendem a infraestrutura de transportes e serviços, e o sistema de atividade, que se refere à distribuição espacial da atividade demográfica e econômica no solo urbano, servem de insumos exógenos aos procedimentos de desempenho e de demanda.

O modelo foi desenvolvido para projetos de infraestrutura de grande escala e não envolve a gestão e controle da infraestrutura com introdução de políticas que influenciam o comportamento de viagem (Paiva, 2010). O sistema de transportes é representado por meio de um gráfico de rede formado por nós (terminais de ligação), ligações (*links*) e zonas de tráfego. As zonas se interagem por meio de conectores, que são ligações abstratas na rede física, com os centroides, pontos centrais de cada zona. Todos os itens do sistema possuem atributos associados (velocidade, comprimento, capacidade, direção). Este modelo é composto por uma sequência de quatro submodelos: geração de viagens, distribuição de viagens, divisão modal e alocação de tráfego. Paiva (2010) descreve as etapas assim:

A etapa de geração de viagens é realizada a partir dos dados coletados das relações entre as características das viagens e situação econômica da população. Ortúzar & Willumsen (1994) afirmam que os fatores que influenciam a produção de viagens são: renda, propriedade do automóvel, estrutura do domicílio, tamanho da família, valor do solo, densidade residencial, acessibilidade. Os fatores que mais influenciam a atração de viagens para uma determinada zona são: empregos ofertados, atividade comercial e matrículas escolares.

Para determinar a Geração de Viagens utiliza-se: o (1) Fator de Crescimento, para dados agregados e planos de curto prazo; (2) Taxas de Viagens, para cada tipo de atividade e

relacionando o número de viagens por unidade de área construída; (3) Classificação Cruzada, que associa para cada categoria de residência/família uma taxa de viagem, usando dados desagregados; (4) Árvore de Decisão, que ajusta os dados por sucessivas divisões com a finalidade de obter subconjuntos mais homogêneos; e (5) Regressão Múltipla, que pode usar tanto dados totais (agregados) quanto as médias (desagregados).

Para a Distribuição de Viagens as opções são: (1) Fator de Crescimento, que se baseia em uma matriz de origem e destino de viagens no ano base e pode usar um fator de crescimento uniforme, fator médio de crescimento, método de Fratar e o fator Furness de Crescimento Duplo; e (2) os Modelos Gravitacionais, que semelhante à lei de Newton considera que o número de viagens produzidas pela zona i e atraída pela zona j é proporcional ao número total de viagens produzidas pela zona i , ao número total de viagens atraídas pela zona j e a uma função de impedância que relacione a separação espacial ou custo de viagem entre as zonas.

A Divisão Modal busca identificar a decisão entre os diferentes modos de transporte entre as zonas i e j . Os fatores que influenciam a escolha do modo são as características socioeconômicas dos usuários e as características dos serviços de transporte. Os parâmetros para esta etapa são: atributos do deslocamento (motivo da viagem, período de realização e destino); atributos do usuário (posse de automóvel, renda e estrutura familiar); atributos do sistema de transporte (custo e tempo de viagem, tempo de espera, frequência, conforto e acessibilidade).

Para definição da divisão modal existem dois modelos: Determinísticos, utiliza método quantitativo simples (Regressão Linear, Classificação Cruzada ou Curvas de Desvio) para determinar a proporção de viagens por cada modo; Probabilísticos, que utiliza métodos de probabilidade (Logit Binominal, Logit Multinomial e Logit Hierárquico) para determinar as viagens por cada modo.

A Alocação de Viagens, último passo do modelo de quatro etapas, consiste em distribuir as viagens (carregamento das matrizes) na rede viária correspondente. Os modelos de Alocação de Viagens fornecem estimativas de tráfego em vias estratégicas, possibilitando comparar propostas para os sistemas de transportes. Todos os modelos de alocação pressupõe o custo generalizado de deslocamento, que consiste na ponderação que cada usuário faz ao escolher

entre as rotas alternativas a que lhe oferece o menor custo. Os fatores para esta ponderação referem-se aos tempos e distâncias possíveis para o deslocamento. Fatores de difícil quantificação, como o conforto e segurança de cada percurso, são desprezados.

Para a Alocação do Transporte Individual existem três opções: Modelos tudo-ou-nada, que determina o trajeto com o custo inicial mais baixo para cada par origem-destino (O-D) e carrega esse percurso com todas as viagens do par; Modelos Estocásticos, que procuram simular a inconsistência de escolha dos condutores e um ou mais elementos são colocados sujeitos à aleatoriedade apresentando resultado diferente para cada simulação do mesmo caso; e Modelos de Equilíbrio, que considera que os condutores escolhem os seus percursos independentemente e no seu melhor interesse com base nas condições de tráfego resultantes das escolhas de outros e cooperam na escolha de trajetos produzindo um padrão de tráfego que resulte no equilíbrio do sistema.

Para a Alocação do Transporte Coletivo dois tipos de modelos de escolha são destacados: Modelos de Rota Mínima, onde o usuário opta pela rota que minimiza seu custo generalizado, fazendo uso sempre da mesma linha (correspondente ao modelo “tudo ou nada”); e Modelos de Estratégia Ótima (Spiess & Florian, 1989), onde o usuário escolhe um conjunto de linhas atrativas (mesmos pontos de parada, para transbordo ou caminhada até o destino) que minimizam o custo total.

2.2.2. Software EMME

O módulo de balanceamento bidimensional de matrizes do *software* EMME faz uso do modelo Gravitacional e do Fator de Crescimento Fratar e Furness (Paiva, 2010). Para isso é necessário os totais de viagens por zona e de uma matriz modelada atual.

No balanceamento de matrizes deve-se obter um valor para a constante c da função $F = e^{-c}$ ($c = -\beta$ do Modelo Gravitacional), para gerar uma matriz modelada com distribuição de tempos viagem próxima à da matriz pesquisada.

Para Alocação do Transporte Individual por equilíbrio (restrição de capacidade) é usado o algoritmo de aproximação linear proposto por Bruynooghe *et al.* (1969). Por meio do método de aproximação linear, a cada ciclo, obtém-se uma redução da área sob a curva. A alocação é

realizada em seis ciclos: 1º- alocação tudo ou nada da demanda total; 2º- atualização dos custos das ligações; 3º- alocação tudo-ou-nada da demanda total nos novos caminhos mínimos; 4º- cálculo da variável para carregamento incremental sob a curva volume-retardamento; 5º- alocação dos volumes nas ligações; 6º- verificação do critério de interrupção.

Para Alocação do Transporte Coletivo é usado o Modelo de Estratégia Ótima (Spiess & Florian, 1989), onde define-se um conjunto de regras que permitem ao usuário atingir seu objetivo. A partir daí o modelo considera que o passageiro somente descobre qual será a próxima linha e decide se fará o embarque no veículo quando está em um dos nós da rede.

2.2.3. Modelos de Atividade

Durante a década de 1970 surgiram várias teorias comportamentais, modelos conceituais e estudos empíricos de comportamento de viagem. A consequência deste contexto foi o surgimento da abordagem baseada na atividade.

A motivação desta abordagem é a interpretação de que decisões de viagem são definidas pelas atividades e que qualquer compreensão do comportamento de viagem é secundária a uma compreensão fundamental do comportamento da atividade (Arruda, 2005). Esta abordagem explicitamente reconhece e aborda a incapacidade dos modelos baseados em viagem de modo a refletir o comportamento de base e, por conseguinte, a incapacidade de tais modelos serem sensíveis à evolução das políticas voltadas para a gestão versus expansão de infraestrutura e serviços de transporte.

O princípio fundamental da abordagem por atividade é que as decisões de viagem são impulsionadas por um conjunto de atividades que formam uma agenda de participação e, como tal, não podem ser analisadas com base na viagem individual (Arruda, 2005). Assim, a escolha do processo associado a qualquer decisão específica de viagem pode ser entendida e modelada apenas dentro do contexto de toda a agenda.

São modelados os mecanismos que os indivíduos usam para decidir quais atividades irão realizar e as relações de causa e efeito que determinam as decisões de viagens (Paiva, 2010). No processo de definição do modelo são consideradas: as interações entre os membros do

domicílio, o tipo de atividade de cada membro, os padrões de uso do solo e as restrições existentes, sejam elas domiciliares ou individual.

Essa abordagem é derivada da demanda por participação em atividade. As sequências ou padrões de comportamento são unidades relevantes de análise e não viagens individuais. As famílias e outras estruturas sociais influenciam as viagens e o comportamento (Arruda, 2005). Portanto, esta abordagem reflete a programação de atividades no tempo e no espaço.

As informações necessárias para os modelos de Atividades são: dados sociais e demográficos dos indivíduos (idade, gênero, situação de emprego, ocupação, grau de escolaridade, etc.); recursos disponíveis no domicílio (posse de automóvel, renda, estrutura do domicílio, etc.); dados espaciais e não espaciais sobre os locais de realização da atividade (horário de funcionamento, acessibilidade, localização geográfica, tipos de comércio, etc.); e dados da malha viária e rede de transporte (Paiva, 2010).

As principais técnicas utilizadas nos modelos baseados em atividades são: Maximização da Utilidade e Viabilidade da Atividade (Ortúzar & Willumsen, 1994). O primeiro se estrutura no modelo Logit Hierárquico, avaliando a probabilidade de escolha entre alternativas similares ou correlacionadas e agrupadas em níveis de uma árvore de decisão. O segundo utiliza em sua estrutura regras lógicas para simular o comportamento individual e domiciliar de realização de atividades. O modelo é baseado em heurísticas de escolha (SE <condição> ENTÃO <ação>) definidas a partir das atividades. O objetivo deste modelo é avaliar como os indivíduos, dentro de um domicílio, tomam suas decisões de atividades, dentro das condições do ambiente de viagem (sistemas de transporte e uso do solo) e restrições individuais.

Uma das principais desvantagens da aplicação de diários de atividades é o elevado número de desistentes. Isso ocorre principalmente entre os indivíduos que realizam maior número de viagens, inviabilizando os resultados.

2.3. TÓPICOS CONCLUSIVOS

Esta sessão apresentou os principais itens que compõem o Modelo de Quatro Etapas e o Modelo de Atividade. O propósito deste capítulo foi revisar estes modelos de previsão de demanda que são precedentes e contemporâneos à consolidação dos modelos integrados de

uso do solo. Foram observados aspectos relacionados à evolução teórica dos modelos, especificidades dos submodelos desenvolvidos e as relações entre estes métodos de modelagem.

O modelo de quatro etapas é o mais consolidado e é a principal referência no desenvolvimento de novos modelos. O modelo é composto por uma sequência de quatro submodelos: geração de viagens, distribuição de viagens, divisão modal e alocação de tráfego.

Foi possível observar que existem diversas definições e métodos dentro desses formatos de modelagem. Para fins exemplificação e compreensão de um *software* que se baseia no modelo de quatro etapas, foi descrito o método de modelagem do *software* EMME.

O modelo de atividade baseia-se na agenda de atividades diárias que é formada a partir da interação entre os membros familiares e as sequências são unidades de análise. As principais técnicas utilizadas nos modelos baseados em atividades são: Maximização da Utilidade e Viabilidade da Atividade e o modelo é baseado em heurísticas de escolha.

O seguinte capítulo discorrerá mais especificamente sobre a caracterização e evolução dos modelos de uso do solo. Nesse estudo serão descritos a relação entre transporte e uso do solo, os principais modelos desenvolvidos e em destaque o *software* TRANUS, desenvolvido por Tomás de la Barra.

3. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO DOS MODELOS DE USO DO SOLO

3.1. APRESENTAÇÃO

Este capítulo irá apresentar os principais itens que compõem o modelo integrado de uso do solo e transporte. O objetivo deste capítulo será revisar a relação entre estes dois elementos e o desenvolvimento teórico dos modelos matemáticos baseados nesta interação. Foram observados aspectos relacionados à evolução teórica dos modelos LUTI, especificidades dos submodelos desenvolvidos e as interações entre os elementos deste modelo.

As partes que compõem o capítulo são: a relação entre uso do solo e transporte, a evolução dos modelos, caracterização teórica e especificidades do *software* TRANUS.

3.2. RELAÇÃO ENTRE USO DO SOLO E TRANSPORTE

A vitalidade das atividades sociais impõe ao espaço urbano maior acessibilidade espacial e diversas alternativas de mobilidade. A implantação de infraestruturas que atendam estas necessidades acaba por favorecer a possibilidade de maiores interações sociais, ampliando novamente a necessidade de maior acessibilidade e mais alternativas de mobilidade. Estes fenômenos se expressam em ciclos de equilíbrio entre demanda e oferta (Figura 3.1) (Lowry, 1964).

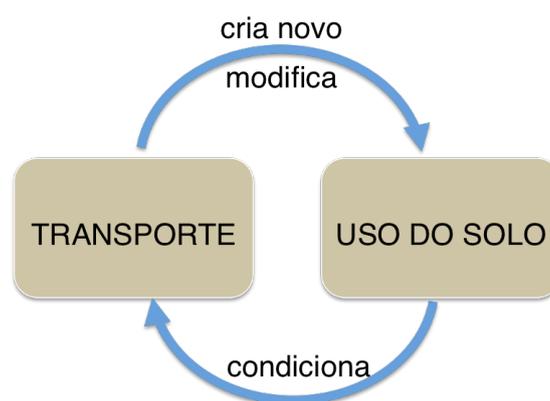


Figura 3. 1. Relação entre transporte e uso do solo (Lowry, 1964)

Para compreender a dinâmica urbana dos transportes é essencial entender o uso do solo. Uso do solo pode ser caracterizado como os tipos de atividade que são executados nos vários terrenos do conjunto urbano. Estas atividades costumam se agrupar de forma ordenada ou não concentrando os deslocamentos humanos. É, portanto, a distribuição espacial das funções da cidade. Se dividirmos o território urbano em zonas verificaremos as concentrações funcionais: zonas residenciais, industriais, comerciais, de serviços, de lazer, institucionais e zonas mistas.

O uso do solo decorre de um conjunto de ações individuais e de grupos. Estas ações seguem um comportamento motivado por valores, ideias e atitudes, organizados e não organizados da população urbana (Chapin, 1974). Portanto, o uso do solo se dá segundo distintas lógicas internas que refletem em diferentes possibilidades de espacialização ao longo da história das cidades.

Bruton (1970) afirma que o sistema de transporte não é apenas o sistema físico. Este sistema gera consequências ao ambiente urbano que se refletem a curto prazo, influenciando a origem, destino, modo, tempo, rota das viagens; e a longo prazo, podendo resultar na mudança da localização de atividades (uso do solo) se ajustando ao sistema de transportes presente.

Watterson (1993) afirma que o sistema de transporte urbano é responsável por resolver problemas espaciais de uso do solo, pois é o sistema de transporte que oferece acessibilidade aos habitantes. O autor compreende acessibilidade por facilidade de movimento entre locais separados.

Existe um ciclo de respostas entre transportes e uso do solo. De acordo com Kneib (2009), a distribuição dos usos do solo (residencial, industrial ou comercial) sobre a área urbana determina as localizações das atividades humanas. A distribuição das atividades no espaço requer interações espaciais para superar as distâncias entre a localização das atividades. A distribuição das infraestruturas de transportes cria oportunidades para as interações espaciais. A distribuição da acessibilidade no espaço é um dos fatores determinantes para decisões de localização, causando mudanças nos padrões de uso do solo.

3.3. EVOLUÇÃO DOS MODELOS DE USO DO SOLO E TRANSPORTE

3.3.1. Modelo Clássico de Uso do Solo e Transporte Proposto por Von Thünen

Os efeitos do custo de transportes na localização de atividades e o funcionamento do mercado de solo começaram a ser estudados com Von Thünen (1826), que desenvolveu o denominado modelo clássico de uso do solo e transporte. Neste modelo idealizou-se uma região agrícola que possui um área central com um único mercado, no qual um grande número de produtores querem vender seus produtos e os proprietários da terra estão dispostos a arrendar seus terrenos pelo maior preço.

O modelo possui as seguintes condicionantes: sistema fechado, sem interações com outras regiões e, uma vez alcançado o equilíbrio, nenhum agente entra ou sai do sistema; o solo é homogêneo em relação a fertilidade, produtividade e transporte, ou seja, o custo de transporte por unidade de distância é constante em qualquer direção; os produtores agrícolas querem maximizar seus lucros, os proprietários da terra querem maximizar suas rendas e nenhum agente tem poder para controlar os preços; não há custos para entrar ou sair do sistema.

Considerando um cenário com mais mercadorias, os proprietários de terra procuraram arrendar suas propriedades para os produtores da mercadoria com maior valor excedente, pois estes serão os dispostos a pagar mais. Os produtores da mercadoria que geram mais excedentes terão privilégio sobre os terrenos mais próximos ao centro e isso será assegurado pelos proprietários do solo, concentrando os produtores por faixa de mercadoria à medida em que se aproxima do centro.

3.3.2. Modelo Neoclássico de Uso do Solo e Transporte Proposto por Alonso

Mais tarde, Alonso (1964) propôs um modelo urbano de uso do solo, classificada por De La Barra (1989) como modelo neoclássico, que possui por condicionantes: solo homogêneo, único centro de emprego na área central, demanda elástica de solo e vários tipos de empresas e residências. Sua equação considera três elementos: renda da terra, transporte e um bem composto, que representa todos os bens e serviços consumidos.

Os três elementos da equação podem ser combinados de diversas maneiras. Cada residência ou firma terá um número infinito de combinações entre estes três elementos, na forma de uma superfície tridimensional denominada *locus de oportunidades*, cada ponto na superfície tridimensional provê a residência ou firma um determinado nível de satisfação ou utilidade. Os consumidores navegam na superfície do *locus de oportunidades* buscando maximizar a utilidade.

3.3.3. Modelo Gravitacional de Atividades Proposto por Lowry.

O modelo de Lowry (1964) é um modelo gravitacional em termos econômicos e de probabilidade. Ele utilizou princípios de base econômica e a introdução de um multiplicador para prover uma explicação compreensiva da estrutura urbana. A proposta de Lowry foi melhorada com os trabalhos de Rogers (1967) e Garin (1966), utilizando métodos matriciais.

O modelo, também denominado Modelo de Metrôpoles, propôs relação entre distribuição espacial de atividades e deslocamento de pessoas com seus efeitos sobre os transportes, verificados por meio de variações de acessibilidade.

O objetivo deste modelo era explicar a conformação urbana das áreas residenciais e dos centros de atividades a elas associadas, com enfoque para a concentração demográfica. O modelo propõe a simulação de uma determinada situação existente em um dado instante, onde posteriormente é reproduzida a distribuição de população e emprego pelas diversas zonas que compõem a cidade.

Lowry dividiu a cidade em setor básico, que no modelo corresponde a uma demanda exógena; setor de serviços e comércio, que corresponde a variáveis endógenas; e setor residencial, que corresponde também a variáveis endógenas. O setor básico corresponde a atividades industriais voltadas para o público externo.

O modelo procura condensar os condicionantes do processo de disputa pelo solo a nível microeconômico por meio do potencial de cada zona para cada tipo de atividade. As ligações espaciais são obtidas por meio do ajuste de curvas aos dados de origem/destino, o modelo é, portanto fenomenológico.

Outra característica fundamental do modelo de Lowry é que ele não representa a evolução do fenômeno no tempo é, portanto um modelo estático. As variáveis são: área do terreno, emprego, população, distância entre duas zonas i e j – função impedância e restrições oriundas da saturação de determinadas regiões urbanas.

Vários modelos surgiram a partir desta concepção. Apesar de estática, estes modelos se beneficiaram do desenvolvimento de métodos consistentes e de técnicas de estimação como a maximização da entropia.

A possibilidade de desagregar o modelo de Lowry tem sido uma preocupação constante dos pesquisadores, ressaltando os trabalhos de Baxter & Williams (1973) e Wilson (1967).

A principal contribuição de Lowry foi definir vários submodelos relacionados entre si em uma estrutura interativa, o que permite uma estrutura mais completa.

3.3.4. Modelo Integral e maximização da entropia proposto por Wilson

Wilson (1967) desenvolveu o método de maximização da entropia, proporcionou aos modelos de interação espacial um novo marco teórico, mais geral e robusto. O conceito de maximização da entropia foi desenvolvido originalmente na mecânica estatística e logo se transformou em uma teoria geral de informação aplicável a qualquer sistema (De La Barra, 1989).

Para Wilson (1967), entropia é o grau de probabilidade do estado final de um sistema. Os resultados possíveis são denominados macro-membros e cada uma das permutações são denominadas microestados. Cada macroestado então se obtêm com um ou mais microestados, e ao macroestado mais provável é aquele que se associa ao maior número de microestados. Entretanto, a medida em que a probabilidade de um macroestado aumenta, a incerteza a cerca de qual foi o microestado que o gerou também aumenta. Portanto a entropia é máxima quando a incerteza é máxima.

3.3.5. Modelos de Escolha e Utilidade Aleatória desenvolvido por McFadden

Domencich & Mcfadden (1975) estudaram a utilidade aleatória desenvolvendo modelos de escolha, ou seja, trabalho os dados agregados na teoria de decisão. Quando se considera os dados agregados em função da utilidade se refere a uma população de indivíduos que escolhem entre grupos de opção as variações na percepção da utilidade pode ser grandes demais para serem ignoradas. Quanto menor for o grupo, menor serão as variações, mas o analista deverá fazer um balanço entre a dificuldade de trabalhar com um grande número de grupos pequenos relativamente homogêneos e as dificuldades de operação, calibração e coleta de dados.

Portanto seu raciocínio é o de que há mais fontes de variabilidade à medida que os grupos populacionais crescem.

3.4. MODELOS INTEGRADOS DE USO DO SOLO E TRANSPORTE

3.4.1. Caracterização dos Principais Modelos de Uso do Solo e Transporte

Os primeiros modelos aplicados ao contexto urbano são do início da década de 1950. Estes modelos eram voltados principalmente à distribuição de viagens e por isso partiam de projeções de uso do solo rígidas, elaboradas separadamente da modelagem. Estes modelos apresentavam natureza essencialmente estatística, estruturados em relações matemáticas obtidas por regressão ou por meio de analogias gravitacionais.

De acordo com Novaes (1982), inicialmente os modelos apresentavam pouco respaldo teórico além de serem falhos quanto à conceituação mais precisa de seus objetivos e quanto a seu efetivo uso no planejamento. O objetivo era estimar a alocação de uso do solo e as demandas de viagens associadas simultaneamente. Isso requer muito menos informação a ser determinada externamente ao modelo.

Os modelos eram sensíveis às variações da política de desenvolvimento manipuladas pelos governos, mas muitos modelos eram inconvenientes e consumiam muito tempo, desviando as agências de planejamento do propósito principal que era fornecer planos para o controle do

desenvolvimento urbano Novaes (1982). Muitas vezes as agências dedicavam-se à construção de modelos de transportes em vez de se dedicarem ao planejamento.

Entre alguns dos *softwares* que podem ser citados são: MEPLAN, modelo integral de transporte e uso do solo, com os dois componentes principais, desenvolvido por Marcial Echenique&Partners, em 1984 e indisponível há 15 anos; o modelo de uso do solo ITLUP, de Putman, denominado Integrated Transportation Land Use Package desenvolvido em 1971, e aprimorado em versões de 1983 e 1991; DRAM e EMPAL; IUIDP - Programa de Desenvolvimento Integrado da Infraestrutura Urbana, proposto por Dimitriou em 1990; e TRESIS (*Transportation and Environment Strategy Impact Simulator*).

Segundo (Paiva, 2010), existe quatro linhas ou grupos de modelagem dentro da concepção de modelos LUTI. O primeiro grupo centra-se na modelagem da ocupação do solo desprezando regras mercadológicas, utilizando o modelo Logit. O segundo grupo utiliza o modelo Logit para a previsão de ocupação do solo, considerando o preço do terreno e de transporte. O terceiro grupo realiza a modelagem da ocupação do solo seguindo regras mercadológicas e utiliza o modelo Logit para a modelagem de transporte. O TRANUS e o MEPLAN, são integrantes deste grupo. O quarto grupo realiza a modelagem do uso do solo e do transporte baseada em atividades e incorpora em sua estrutura a dinâmica da inter-relação entre uso do solo e transporte. O ILUMASS e o ABSOLUTE se enquadram neste quarto grupo.

A Tabela 3.1, apresentada por Wegener & Fürst (2004), e ampliada por Arruda (2005) mostra os principais modelos integrados de transporte e uso do solo desenvolvidos no mundo:

Tabela 3. 1 Principais modelos integrados de uso do solo e transporte. (Wegener, 2004 *apud* Kneib (2009))

Modelo	Descrição
BOYCE	Combinação de modelos de localização e escolha de viagem. Desenvolvido por Boyce (Boyce <i>et al.</i> 1983; Boyce, 1986; Boyce <i>et al.</i> , 1992).
CUFM	California Urban Futures Model, desenvolvido na Universidade da Califórnia, Berkeley (Landis, 1992, 1993, 1994; Landis e Zhang, 1998a, 1998b).
DELTA	Integração do modelo de uso do solo DELTA, de Davis Simmond Consultancy, Cambridge, Inglaterra, com o modelo de transportes START desenvolvido por MVA Consultans e o Institute of Transport Studies (ITS) da Universidade de Leeds (Simmonds e Still, 1998; Simmonds, 1990).
HUDES	Harvard Urban Development Simulation, desenvolvido por Kain e Apgar (1985).

ILUTE	Modelo integrado em desenvolvimento em universidades canadenses, Miller e Salvini, 2001.
IMREL	Integrated Modelo f Residencial and Employment Location, de Anderstig e Mattsson (1991, 1998).
IRPUD	Modelo da região de Dortmund desenvolvido por Wegener (1982a, 1982b, 1985, 1986a, Wegener, 1996, 1998b).
ITLUP	Integrated Transportation and Land Use Package, desenvolvido por Putman (1983, 1991, 1998).
KIM	Esse modelo é a versão não linear do modelo de equilíbrio urbano desenvolvido por Kim (1989) e Rho e Kim (1989).
LILT	Leeds Integrated Land-use/Transport Model desenvolvido por Mackett (1983; 1990c, 1991a, 1991b).
MEPLAN	Modelo integrado desenvolvido por Marcial Echenique&Partners (Echenique <i>et al.</i> , 1969, Echenique e Willians, 1980; Echenique, 1985; Echenique, 1994; Hunt, 1994).
METROSIM	Modelo microeconômico de transportes e uso do solo desenvolvido por Anas (Anas e Moses, 1978; Anas, 1982, Anas, 1994, 1995 e 1998).
MUSSA	5-Stage Land-Use Transport Model, desenvolvido por Martinez para Santiago do Chile (1991; 1992a, 1992b; Martinez e Donoso, 1995; Martinez, 1996, 1997a, 1997b).
POLIS	Projective Optimization Land Use Information System, desenvolvido por Prastacos para Association of Bay Area Governments (Prastacos, 1986; Caindec e Prastacos, 1995).
RURBAN	Random-Utility Urban – modelo desenvolvido por Miyamoto (Miyamoto <i>et al.</i> , 1986; Miyamoto e Kituzume, 1989).
STASA	Modelo integrado desenvolvido por Haag (1990).
TLUMIP	Modelo de transportes e uso do solo do estado de Oregon, Estados Unidos – ODOT, 2002.
TRANUS	Modelo integrado desenvolvido por de la Barra (de la Barra, 1982; de la Barra <i>et al.</i> , 1984; de la Barra, 1989, 1998).
TRESIS	Simulador de impactos de transportes e meio ambiente, de Hensher e Ton (2001).
URBANSIM	Modelo de escolha de localização domiciliar e de firmas, desenvolvido por Waddell (1998a, 1998b, 1998c, 1998d; Waddell <i>et al.</i> , 1998).
ABSOLUTE	Modelo integrado desenvolvido por Arentze e Timmermans (2004).

3.4.2. Caracterização Teórica do Modelo TRANUS

Para os objetivos deste trabalho estudamos o *software* TRANUS, desenvolvido por Tomás de la Barra, desde 1985, que tem seus fundamentos descritos no livro *Integrated Land Use and Transport Modelling*. De uma maneira sintética, apresentam-se as teorias precedentes que foram utilizadas como referência e influenciaram na definição do marco teórico do sistema TRANUS (Figura 3.1).

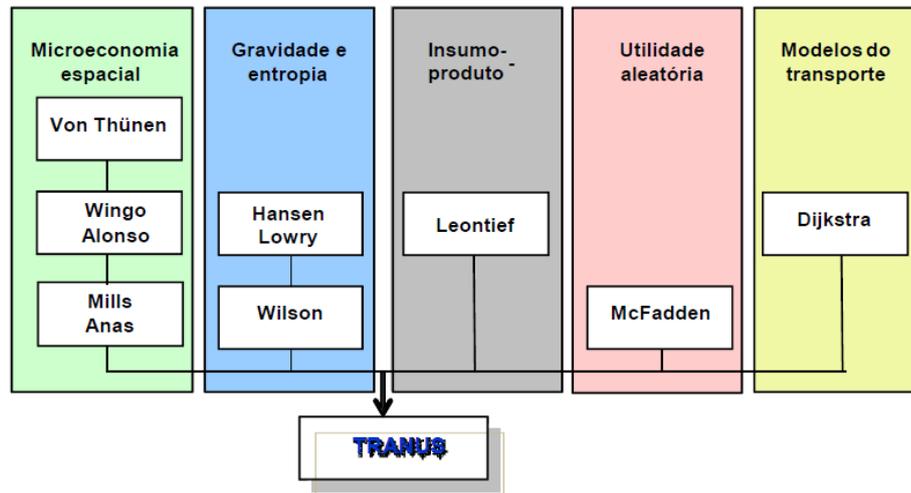


Figura 3. 2. Antecedentes teóricos do sistema TRANUS (De la Barra, 1989)

O modelo desenvolvido por De La Barra (1989) destaca-se pela capacidade de integrar várias abordagens teóricas diferentes em uma única estrutura, o que representa tanto os fenômenos relacionados ao transporte quanto os relacionados ao uso do solo. Entre os fundamentos teóricos do TRANUS encontra-se a análise econômica de Lowry (1964), que se baseia na ideia de que um sistema territorial se desenvolve em torno de um motor econômico que é o centro de atração e gerador de empregos. O modelo insumo-produto (Leontief, 1936) permite ao TRANUS definir as relações entre consumo e produção, para setores considerados, de acordo com as funções de demanda que podem ser elásticas ou inelásticas (em função do preço). Outra teoria para apoiar a estrutura do TRANUS é a teoria microeconômica de utilidade aleatória (McFadden, 1973) que permite definir o comportamento de escolha para os consumidores (seleção de rota, escolha do modo, escolha da localização, etc) dependendo do valor atribuído a todas as opções disponíveis.

O TRANUS inclui um submodelo de transporte que trata da geração e distribuição da demanda de transporte a partir da definição da repartição modal e níveis de congestionamento e um submodelo de atividades, que simula a localização e interação entre atividades no solo urbano.

Um módulo simula as interações entre os dois, usando como parâmetros de equilíbrio respectivamente os tempos de viagem e os preços dos imóveis ou terrenos.

O modelo de atividade ou ocupação do solo é do tipo econômico-espacial discreto e consiste no cálculo da demanda total, por meio de uma matriz *input-output*, a qual é distribuída nas zonas do modelo de acordo com o princípio da maximização da utilidade (custo de transporte e custos de localização). O consumo de cada tipologia de uso do solo é definido através de funções de demanda elástica, dependendo do preço. Para algumas atividades a função de demanda pode ser completamente inelástica, embora seja possível que alguns setores consumam a produção de diversos setores produtivos, ou seja, cada grupo de atividades e população pode escolher entre uma gama de diferentes opções de localização (Johnson Robert & De La Barra, 1998).

3.4.3. Caracterização do *Software* TRANUS

De acordo com De La Barra (1989), o sistema TRANUS caracteriza-se por:

1. É operacional tanto para a escala urbana quanto para a regional;
2. Reconhece como principais componentes do sistema urbano ou regional a localização e interação de atividades, o mercado imobiliário e o sistema de transportes;
3. Permite avaliar os efeitos das políticas de transporte sobre a localização de atividades e uso do solo. Também permite analisar os efeitos das políticas de usos do solo no sistema de transporte e o efeito das políticas combinadas;
4. Com sua abordagem integrada permite estimar matrizes de origem-destino das viagens a um custo reduzido;
5. Tem um sistema que pode representar tanto o movimento de cargas quanto de passageiros no transporte público e privado numa rede de transporte única, simulando o efeito combinado sobre a capacidade das infraestruturas viárias;
6. Propicia análise de uma ampla gama de políticas e projetos.

Como já detalhado na seção anterior, os dois subsistemas principais do sistema TRANUS são os transportes e as atividades, diretamente relacionadas com o uso do solo (Figura 3.3).

O sistema reconhece que atividades e transportes se influenciam mutuamente no tempo. A localização e interação entre atividades resultam em deslocamento de pessoas e bens materiais demandando o sistema de transportes. Por sua vez, a oferta de transportes afeta a localização de atividades (usos do solo) e dinamiza certas áreas urbanas. “O resultado desse equilíbrio é resumido no conceito de acessibilidade, o que representa a fricção imposta pelo sistema de transportes que inibi as interações entre as atividades” (De La Barra, 1989).

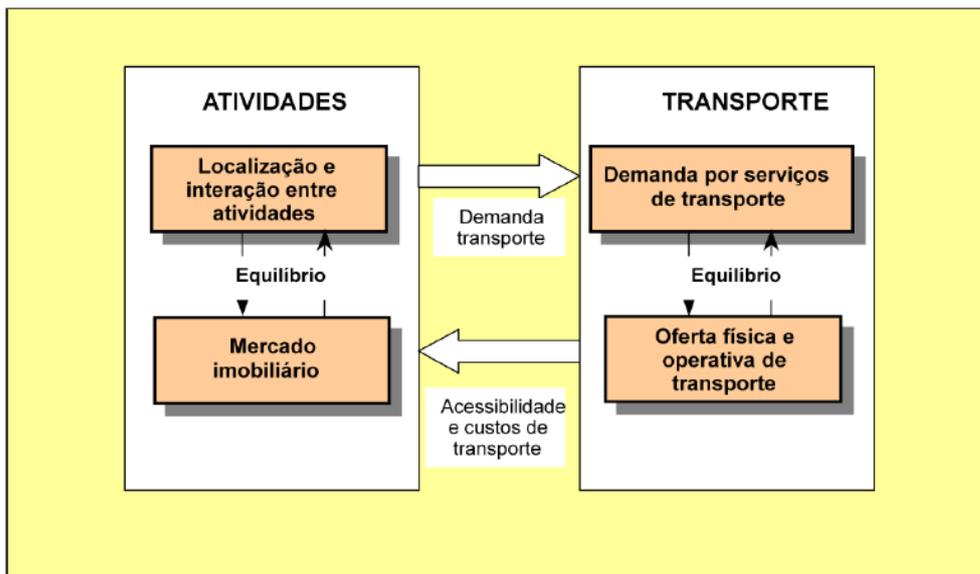


Figura 3. 3. Componentes principais do sistema uso do solo e transportes (De la Barra, 1989)

O processo começa com a localização das atividades. Nessa etapa são utilizados como insumos os dados disponíveis sobre economia e sociedade, tais como a localização dos setores tradicionais da economia (primário, secundário e terciário), fatores de produção (terra, capital e trabalho) bem como a caracterização de renda e demografia da população. Mais especificamente são definidos e especializados os níveis de consumo e distribuição de lotes de terra e edifícios em função das necessidades da população e da noção de equilíbrio entre oferta e demanda.

Uma vez que o sistema de atividade tenha atingido o equilíbrio, o modelo de uso do solo apresenta a localização das atividades, os consumos de espaço, os valores da renda imobiliária e um conjunto de matrizes de origem-destino com fluxos funcionais por área (setor) do

território. A Figura 3.4 apresenta as principais etapas na sequência de cálculo do modelo integral de usos do solo e transportes no sistema TRANUS.

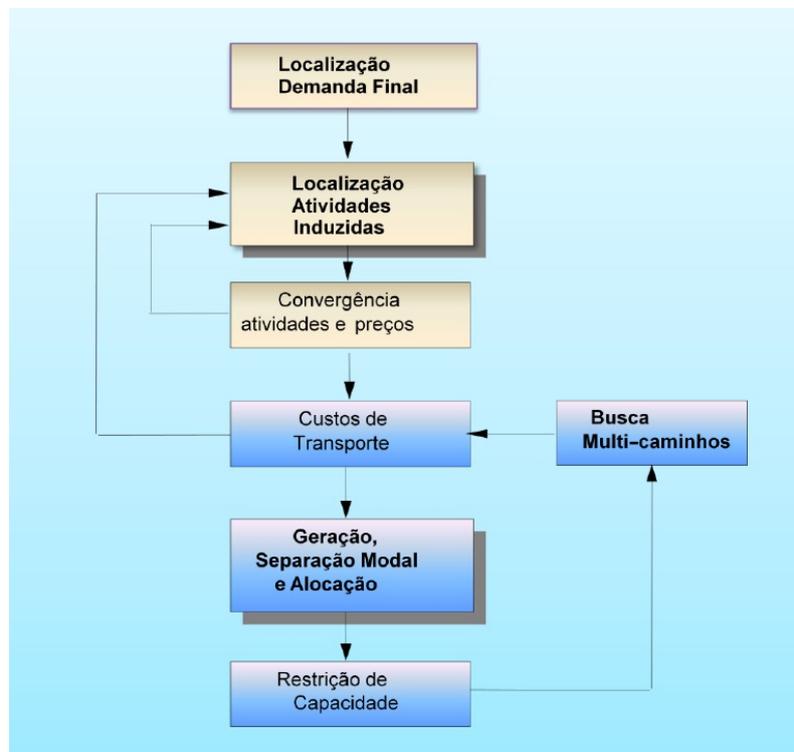


Figura 3. 4. Estrutura geral do sistema TRANUS (De la Barra, 1989)

A etapa de transportes inicia-se pelo processo de busca de rotas ou caminhos. Inseridas as informações que descrevem o sistema de transportes, o modelo estima o número de opções de viagens e passa a detalhar o custo detalhado da cada uma delas. As etapas finais são a alocação das viagens estimadas segundo as opções disponíveis e a restrição de capacidade. A restrição de capacidade ajusta os tempos de viagem e tempos de espera em termos das relações entre a demanda alocada e a capacidade da oferta.

3.5. TÓPICOS CONCLUSIVOS

Esta sessão apresentou os principais itens que compõem o Modelo Integrado de Uso do Solo e Transporte. O primeiro propósito deste capítulo foi revisar a evolução do entendimento da relação entre transportes e o uso do solo na dinâmica urbana e os modelos desenvolvidos a partir desta leitura. Foram observados aspectos relacionados à evolução teórica dos modelos, especificidades dos submodelos desenvolvidos e as relações entre estes métodos de modelagem. O segundo propósito foi destrinchar os submodelos matemáticos que compõem o modelo proposto por De la Barra, descrevendo também as particularidades do *software* TRANUS.

O TRANUS realiza a interação os dois subsistemas, atividades e transporte. O sistema reconhece que atividades e transportes se influenciam mutuamente no tempo. A localização e interação entre atividades resultam em deslocamento de pessoas e bens materiais demandando o sistema de transporte. Por sua vez, a oferta de transportes afeta a localização de atividades (usos do solo) e dinamiza certas áreas urbanas.

Os cinco submodelos que compõem o TRANUS – microeconomia espacial, gravidade e entropia, insumo-produto, utilidade aleatória e modelos de transporte – foram detalhados nesta sessão.

Os capítulos seguintes detalham o método aplicado para modelagem da rede metropolitana do Distrito Federal, a aplicação dos dados coletados no *software* e os resultados alcançados.

4. MÉTODO DE APLICAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS DO MODELO INTEGRADO DE USO DO SOLO E TRANSPORTE

4.1. APRESENTAÇÃO

Este capítulo irá apresentar o método de modelagem no TRANUS, explicitando todas as etapas de aplicação do modelo e o método para análise dos resultados obtidos. O objetivo deste capítulo deixar claro todo o procedimento da aplicação esclarecendo todas as etapas e permitindo a auditoria e a reprodutibilidade para novos estudos e simulações.

As partes que compõem capítulo são: caracterização, etapas de aplicação do modelo e as fases do método de análise dos resultados.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DA MODELAGEM

Conforme descrito por Leurent (2012), “no modelo LUTI a família é compreendida como entidade de decisão racional sujeita a uma restrição orçamentária entre as despesas (habitação, transporte e outros consumos) e receitas, que inclui os rendimentos de atividade profissional.”

No modelo LUTI é necessário categorizar os dados de população, de trabalho e as atividades produtivas presentes no campo de estudo.

É necessário identificar as características físicas e operacionais do sistema de transporte, associado às tipologias de uso do solo presentes, os preços das propriedades e terrenos disponíveis.

Wegener (1994) descreve três métodos para estudar o impacto recíproco entre a política de transportes e uso do solo: o método da preferência declarada, que consiste na aplicação de entrevistas para identificar potenciais mudanças nas características do sistema de transporte e uso do solo; o método de preferência revelada, que se baseia na observação dos hábitos dos usuários e sua evolução nos diferentes contextos; e o método matemático, que consiste na aplicação de modelos de simulação por meio de algoritmos matemáticos, identificando as escolhas de mobilidade e localização dos usuários.

O principal ponto negativo do primeiro método é a possibilidade de coletar respostas incertas dos usuários relativas ao comportamento por tratar de situações desconhecidas e fictícias. Em relação ao segundo método, embora ele possa fornecer resultados confiáveis e precisos, abrangem apenas situações atuais e, portanto, não fornece indicações totalmente confiáveis de horizontes futuros. Já o método matemático proporciona a oportunidade de expandir a simulação para períodos futuros e, portanto, passível de verificação (Wegener, 1994).

“Os modelos matemáticos são o único caminho através do qual os efeitos dos fatores determinantes individuais podem ser analisados, mantendo fixos todos os demais fatores”(Wegener, 1994).

Portanto, para efeito prático, neste trabalho será usado o método matemático para simulação das escolhas de mobilidade e localização dos usuários.

Dentre as diversas abordagens do método de simulação matemática, Lefèvre (2009) destaca a abordagem geográfica e sociológica, a microeconômica da dinâmica urbana e uma abordagem que agrega o modelo de quatro etapas, modelos de escolha discreta e modelo integrado de transporte e uso do solo. Neste trabalho será realizada esta última abordagem metodológica, aproveitando os resultados já contidos em modelos anteriores para a área de estudo, o Distrito Federal.

A aplicação do modelo tem a finalidade de simular o cenário referencial e, a partir da análise dos resultados encontrados, identificar padrões de comportamento, relações entre variáveis e perspectivas tendenciais com a manutenção das infraestruturas existentes (cenário conservador) e com a implantação de novas infraestruturas propostas pelo PDTU/DF (2010) (cenário otimista).

Esta pesquisa pode contribuir no processo de revisão de planos estratégicos de transporte e uso do solo já realizados ou com a elaboração de novos planos de desenvolvimento urbano.

Trabalhos de modelagem normalmente requerem uma equipe de profissionais experientes e vários meses de coleta, armazenamento, tratamento e geração de resultados. Este trabalho experimental pretende aplicar o modelo LUTI para o Distrito Federal em um curto espaço de tempo e com restrições de equipe e recursos, por isso foram necessárias algumas

simplificações importantes. Essas concessões devem ser relatadas pois repercutem na precisão do modelo.

4.3. ETAPAS DE APLICAÇÃO DO MODELO

A aplicação do modelo é feita com o transcorrer das seguintes etapas, conforme a Figura 4.1:

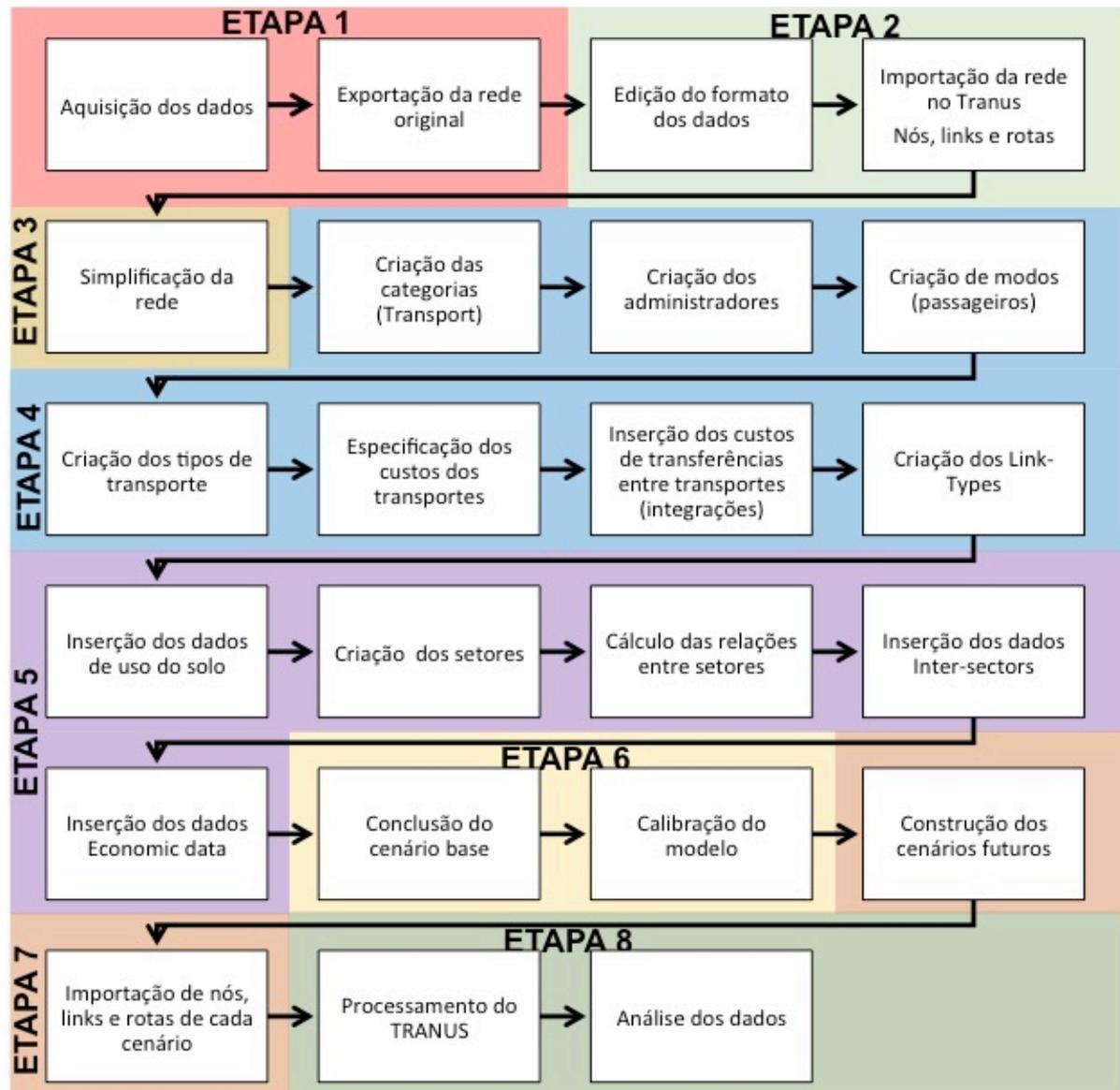


Figura 4. 1. Fluxograma das oito etapas (Elaboração própria)

4.3.1. Etapa 1: Coleta e Manipulação dos Dados

Devido ao tamanho e complexidade da rede viária de transporte da área metropolitana do Distrito Federal e entorno, foi considerada uma rede já existente, que foi gerada com o auxílio do *software* EMME para o PDTU/DF (2010). Esta rede foi editada dentro do programa PTV VISUM e a partir dele foram manipuladas e estruturadas as informações da rede para preparar os dados antes de serem exportados para o TRANUS.

No momento da exportação dos dados são selecionados apenas os atributos necessários para a modelagem no programa TRANUS, como por exemplo, os nós com número de identificação, coordenadas em UTM e a identificação da função (interseção ou centroide de zona). Para iniciar a exportação, é criado um arquivo de planilhas no formato .xls com diferentes abas. Cada aba corresponde a um arquivo diferente no momento de importar do EXCEL para o TRANUS.

Na primeira aba são separados os nós e os centroides das zonas, dados extraídos da rede original e editados com o *software* VISUM. Estes dados devem ser identificados seguindo a mesma ordem. Na segunda aba são postos os *links* e conectores com colunas para as seguintes características: número de identificação, nó de origem, nó de destino, *link-type* (categoria da via), comprimento, capacidade e nome.

Para os conectores, são definidos comprimentos reduzidos, de 0,001 m e sua capacidade é identificada como INF (infinito), considerando que não ocorre saturação dentro das zonas. Os conectores são vias essenciais e que aqui só exercem o papel de acesso à zona, uma abstração das vias locais. O dado de comprimento do *link*, importado da rede original, fica em desuso pois o programa TRANUS permite recalcular as distâncias entre os nós baseando-se nas coordenadas geográficas.

Na terceira aba são dispostos os operadores, que são as informações de cada rota. Os operadores são separados em colunas com número de identificação, nome, descrição, operador, frequência mínima, frequências máxima, ocupação alvo, tamanho da frota, e se segue um cronograma.

Na aba de rotas é detalhada a trajetória de uma linha de ônibus ou outro modo de transporte coletivo. As colunas são identificadas por nó de origem, nó de destino, número de identificação da rota, código (que determina se a linha de transporte para, passa ou não usa um determinado *link*) e nome da linha.

Após a transferência para uma planilha dentro do programa EXCEL, os dados são manipulados seguindo os padrões recomendados por usuários do programa TRANUS, colocando em ordem cada coluna. Algumas informações importantes da rede podem não estar disponíveis e por isso não há a possibilidade de importação do VISUM. Tornando necessária a aquisição dessa informação em outras bases de dados. Parte das dificuldades diante da importação se deve a esta ausência ou dispersão de dados essenciais que pode aumentar o tempo gasto na etapa de coleta e manipulação e organização dos dados.

4.3.2. Etapa 2: Importação dos Dados

Para importar os dados para o TRANUS, que ocorre apenas depois da edição, manipulação e organização dos dados nas planilhas do EXCEL, é necessário a exportação do arquivo .xls para .csv. Cada aba se torna um arquivo distinto identificado pelo tipo de dado que o compunha. Os arquivos agora em formato .csv devem ser editados em bloco de notas, nessa ordem, visando substituir “,” (vírgulas) de número decimais por “.” e “;” (ponto e vírgula) por “,” (vírgulas). Após a edição, cada arquivo deve ter sua extensão modificada de .csv para a extensão correta, nós e centroides de zonas para .nodes, *links* e conectores para .links, operadores para .opers, rotas para .routes.

A importação é realizada pelo menu “Project” seguido da opção “Import network”. O processo é feito na ordem de arquivos, nós, *links*, operadores e por último as rotas.

4.3.3. Etapa 3: Simplificação da rede

Ao concluir a importação de dados para o programa TRANUS, pode ser necessária a simplificação da rede. O comando “Simplify network”, dentro do menu “Project”, tem como função a eliminação de nós desnecessários ou duplicados ou nós soltos, que não tenham algum objetivo na rede. Esse comando é útil especialmente quando se está importando uma rede já existente.

4.3.4. Etapa 4: Inserção de Dados Diversos

Diversos dados devem ser inseridos manualmente após a importação, como ocorre com os dados de uso do solo. Inicia-se com a criação de categorias dentro do menu “*Transport*”, opção “*Categories*”, e as categorias são criadas individualmente com identificação de número, nome e descrição. Os dados de cada categoria são calculados a partir da renda média de cada uma, dividindo a renda pelo número de dias e depois por hora. Por exemplo, a renda média do grupo A é R\$ 13.560,00, calculando pelo número de horas úteis de trabalho fica R\$ 77,04, separando um terço da renda familiar média por hora, obtém-se R\$ 23,11, o valor médio de viagem é usado o mesmo, de R\$ 23,11, e o tempo médio de espera é o dobro do anterior de R\$ 46,22. É recomendado usar as categorias divididas em classes de renda ou de acordo com a disponibilidade de dados.

Em seguida, são criados os administradores das vias onde é especificado cada *link-type* subordinado ou administrado. Os administradores são criados no menu “*Transport*”, opção “*Administrators*”.

Dentro do menu “*Transport*”, opção “*Modes*”, cria-se a categoria “passageiros”, onde é identificado o número de rotas máximas calculadas (máximo de 12), e também o fator de sobreposição de rotas, esses valores dependem em parte do poder de processamento do computador usado.

Para criação dos modos de transporte, no menu “*Transport*”, opção “*Operators*” cria-se cada um dos modos de transporte que irão existir na rede, como pedestres, carros, ônibus, VLTs e BRTs. Cada modo precisa ter um número de identificação, nome, descrição, tipo. Os dados abaixo na aba “*basics*” precisam ser colocados considerando o tipo de transporte, como ocupação, que se coloca a taxa média de ocupação daquele modo. Na aba “*tariff*” são detalhadas as tarifas de embarque, distancia ou tempo. Na aba “*cost*” pode ser adicionado o custo aproximado de veículos como o carro, em que se calcula o custo por Km rodado. Tarifa e custo podem ter seus valores ajustados de acordo com cada cenário.

Em “*Transport*”, opção “*Transfers*” coloca-se o custo de troca de um modo de transporte para outro, podendo ser usado para troca de linha de um mesmo modo. Em cidades sem

integração de transportes geralmente se cobra o valor de tarifa cheia para a troca de um modo para outro ou de uma linha para outra. Para cidades com integração, o valor entre os modos é de zero. Esses valores podem ser ajustados nos cenários de acordo com a evolução esperada.

Os dados de *link-type* também não podem ser importados, portanto deve-se usar os números especificados nos *links* previamente importados. A inserção deve ser manual no menu “*Transport*”, opção “*Link-type*”. Para cada *link-type* são detalhados o número de identificação, que deve ser compatível com aqueles importados nos *links* anteriormente, o nome e descrição. Identifica-se o administrador, custo de manutenção e outros dados que podem usar os padrões já fornecidos pelo programa.

Ainda dentro do menu “*Transport*” podem ser colocados os valores de viagens exógenas, onde pode ser alocada uma matriz de origem destino considerando as zonas da rede, esses dados são postos em “*Exogenous trips*”. Essa função só é usada quando não há disponibilidade de dados de uso do solo, os quais determinam as viagens.

4.3.5. Etapa 5: Inserção de Dados de Uso do Solo

Os dados de uso do solo, localizados no menu “*Land-Use*”, são divididos em três sub-menus essenciais, “*Sectors*”, “*Inter-sectors*” e “*Economic Data*”. O preenchimento desses dados deve iniciar pela criação dos setores envolvidos na análise. Por exemplo, setores de empregos, setores de população e setores de solos. Nos setores são colocados o número de identificação, nome, descrição e tipo de setor. Geralmente nos setores são colocados quais são exógenos, ou seja, não são supridos pela própria rede, nesses o valor de elasticidade é zero. Nos demais setores usa-se um valor de elasticidade de acordo com o tipo de setor.

Na inserção dos dados de *inter-sectors*, são calculados alguns valores, geralmente usando o programa EXCEL. Os dados precisam ser adquiridos de algum levantamento censitário ou pesquisas locais. Essas informações se referem aos cruzamentos dos setores, ou seja, o quanto que um setor demanda do outro e em que aspecto. Iniciando-se pelos setores de trabalho, como serviços, comércio entre outros, insere-se como demanda mínima o quanto que esses setores usam dos setores da população, baseados em níveis de renda. Na demanda mínima é calculado o total da população sobre os totais da área de estudo. Se for possível distinguir os

dados de cada setor de emprego para cada setor de renda, se tornará mais preciso, porém pode-se usar o valor médio entre eles. O próximo valor dentro dos setores de serviço é o uso de cada emprego pelo solo em m^2 disponível em cada zona para este fim. Para esse valor é dividido o número de empregos de um determinado setor pela área total da zona destinada para serviços, nesse caso coloca-se o valor mínimo e máximo, assim como a elasticidade, ou seja, a flutuação que existe nesse uso.

Entre os setores populacionais, como os baseados em classes de renda, os mesmos dados relatados acima devem ser preenchidos, porém vistos de outro enfoque. É calculado o número de empregos de uma determinada zona pelo número da população total. O uso do solo também precisa ser calculado colocando a população de cada zona pela área disponível para a mesma, não é usado uma média e sim valores máximos e mínimos. O valor de elasticidade reflete o mesmo descrito anteriormente, correspondendo as flutuações entre esses valores. Nos valores do setor solo geralmente não se colocam dados, porque este setor é inelástico.

Para os dados de *economic data*, inicia-se pelos setores de emprego e serviço, onde o número total de empregos daquele setor, de uma determinada região administrativa ou cidade, é distribuído de forma homogênea entre as zonas que representam aquela mesma região. No caso de setores exógenos, os dados devem ir em “*exog. prod.*” enquanto que os demais setores devem ir em “*base prod.*”. Para os setores populacionais os dados da população existente em uma região devem ser dividido pelo número de zonas que a representam e serem adicionais em “*base prod.*”. Em alguns casos podem ocorrer a setorização de uma região. No Plano Piloto, por exemplo, existem zonas onde não há habitações, apenas uso comercial ou institucional, portanto, o número de pessoas que moram nesta RA deve ser dividido apenas entre as zonas habitacionais.

Para os setores de solo, os dados do valor do solo em m^2 devem ser adicionados. Estes dados são extraídos de índices econômicos coletados por institutos de pesquisa. No Brasil o índice FIPE-ZAP (2016) é muito indicado, pela sua abrangência de coleta e pelo histórico, que permite acompanhar as linhas de tendência da valorização imobiliária. Os valores da Tabela FIPE-ZAP (2016) são referentes ao valor de venda do m^2 , portanto se a análise for referente à unidade de tempo de um dia, é necessário o recálculo do valor de quanto vale 1 dia de um determinado m^2 . Os valores são então postos para cada zona correspondendo a região que ela

representa. O valor é repetido nos campos “*base prod.*”, “*min. prod.*”, “*max prod.*” e “*attractor*”.

4.3.6. Etapa 6. Construção cenário referencial e validação

Após a importação dos dados, inserção de informações adicionais e preparo do cenário de referência, é necessário a realização de uma análise desse cenário pelo programa TRANUS e seu “*output*” analisado. Para isso, o carregamento viário resultante da modelagem é comparado com o carregamento viário verificado *in loco* através do levantamento do volume de tráfego nas vias que compõem o sistema (tópico 3.1.3). Esses dados de carregamento podem ser obtidos através das filmagens das câmeras de fiscalização de trânsito local, como as do Detran (Departamento de Trânsito) e DER (Departamento de Estradas e Rodagens). A partir desta validação é possível realizar a calibração do cenário referencial, base de elaboração para todos os cenários futuros.

4.3.7. Etapa 7: Construção dos Cenários Futuros

Necessariamente feito após a estabilização do cenário base e eliminação de todos os erros, os cenários futuros são necessários para a realização de previsões via análise comparativa.

Com a criação e confirmação do cenário base os demais cenários propostos podem ser criados. Geralmente os cenários futuros são propostos em períodos constantes de tempo, a cada cinco anos ou a cada dez anos, e levando em consideração as intervenções urbanas como a alteração de rotas de ônibus, adição de novos meios de transporte, criação de novas vias, expansão populacional, intervenções no uso do solo, novos desenvolvimentos urbanísticos e expansão da área urbana. Todas estas alterações futuras podem ser representadas nos cenários.

Para esse processo, são criados arquivos de nós, *links*, conectores, operadores e rotas para cada uma destas alterações, visando facilitar o processo de criação dos cenários futuros. Para cada modo de transporte adicionado, seja ele, BRTs, VLTs, metrô ou outro, são criados os cinco arquivos citados anteriormente, seguindo os mesmos padrões exigidos pelo TRANUS para importação. Cada cenário é criado no menu “Project” opção “Project options” e cria-se em padrão de hierarquia os cenários futuros, de acordo com o ano que ocorrem.

Mesmo após a importação dos arquivos para cada cenário é necessário adequar os demais dados de acordo com o planejado ou esperado para os anos futuros. Para isso segue-se a seguinte ordem: adequação das tarifas de cada modo; alteração das tarifas da troca de transporte ou linha; alterações ou criação de novos *link-types*. Para as etapas a serem modificadas na aba “*Land-Use*” e nos “*inter-sectors*” é necessário recalculer os valores levando em consideração uma taxa de crescimento tanto da população como do emprego. A densidade de empregos e população por área de solo também deve ser recalculada. Em “*economic data*” os novos números de empregos devem ser recalculados usando a mesma taxa de crescimento de emprego aplicado.

4.3.8. Etapa 8: Processamento dos Resultados

A 8ª etapa refere-se ao processamento dos resultados e interpretação dos cenários obtidos. Para o processamento da análise faz-se uso do comando “*Run*” na aba “*Project*” e todas as opções são selecionadas.

Após o período de processamento o programa anuncia o término da análise e diversos arquivos e pastas são gerados. Um dos mais importantes é o de extensão .T3S. nesse arquivo é possível ver de forma gráfica o que ocorre no cenário analisado, permitindo ver a saturação de vias, rotas possíveis de um centroide à outro, probabilidade de cada opção de rota ocorrer, custo de cada rota, distância, tempo de viagem, tempo de espera, entre outros dados.

Os dados necessários para a aplicação do modelo integrado de transporte e uso do solo com uso do *software* TRANUS estão disponíveis em algumas bases de dados já catalogadas, dentre elas os dados socioeconômicos, disponibilizados pela CODEPLAN os dados de uso do solo e atividade, disponibilizados pela SEGETH (Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação) e os dados de transporte, disponibilizados pelo DER e Detran. Tem por expectativa a aplicação do modelo relatado na área urbana do Distrito Federal visando alcançar resultados satisfatórios para identificar relação entre oferta de infraestrutura de transporte e desenvolvimento urbano para a Região Metropolitana do Distrito Federal.

O fluxograma a seguir apresenta a sequência de passos, ou seja, as etapas de modelagem no TRANUS a partir de uma rede de transporte pré-existente e inserção de dados socioeconômicos e de uso do solo (Figura 4.2).

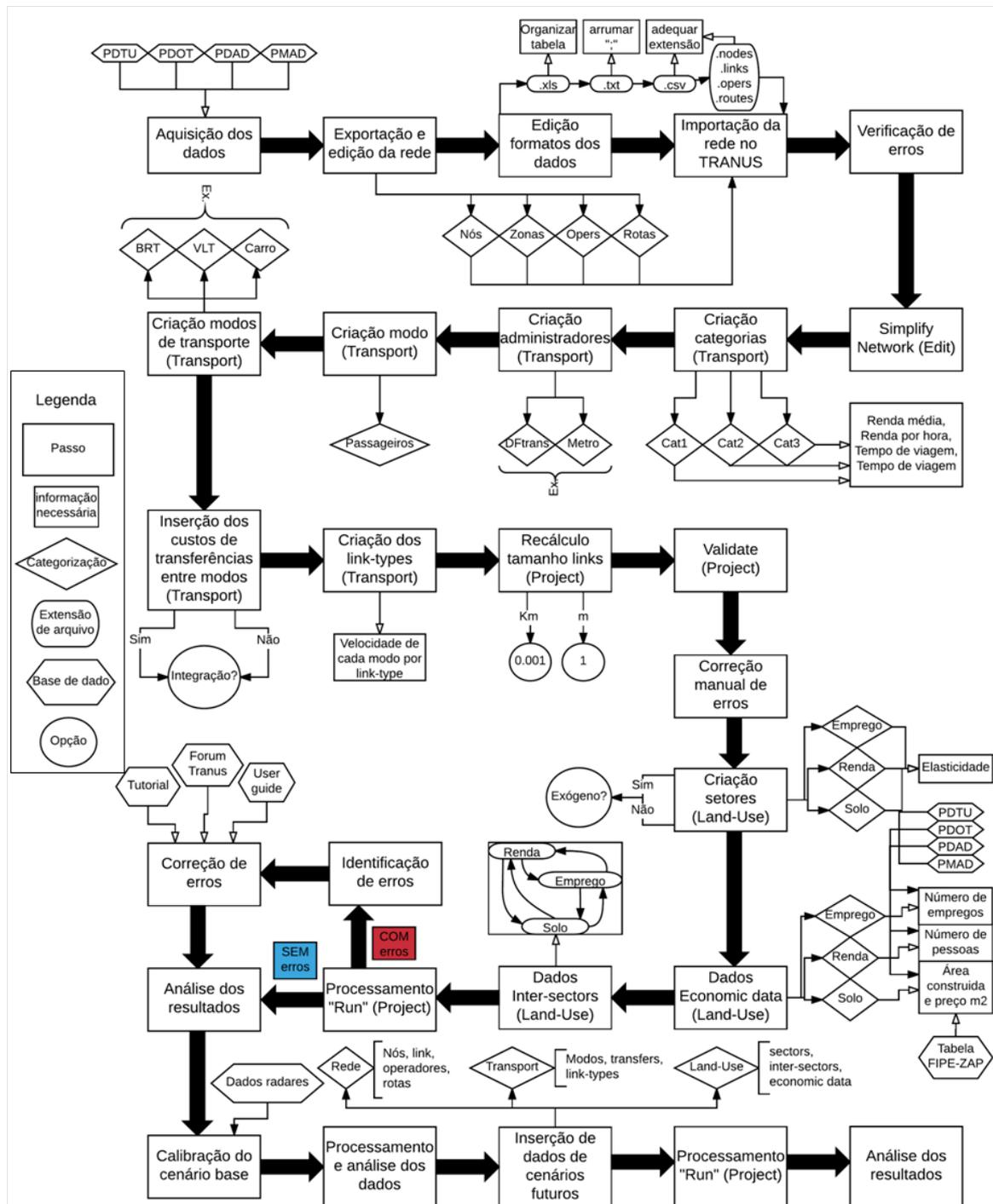


Figura 4. 2. Fluxograma do método de importação dos dados e desenvolvimento da rede no programa TRANUS (Elaboração própria)

4.4. MÉTODO DE ANÁLISE DOS RESULTADOS DO MODELO

Após aplicação do *software* TRANUS para a simulação do cenário base (referencial) da Área Metropolitana do Distrito Federal diversos resultados são gerados. Os resultados encontrados com a aplicação do TRANUS são expostos e podem ser analisados por meio de indicadores de transporte e uso do solo.

A primeira fase de análise refere-se a análise dos indicadores lançados pelo modelo. Os indicadores permitem fazer uma leitura da dinâmica social e espacial dos resultados do modelo.

A segunda fase de análise refere-se a comparação dos resultados de carregamento viário lançados pelo TRANUS com os resultados do modelo proposto no PDTU-DF (2010), ou seja, a demanda por transportes de cada modelo. Para analisar os resultados da aplicação do modelo LUTI, são usados os resultados da aplicação do modelo quatro etapas (*software* EMME), elaborado para o PDTU-DF (2010).

A terceira fase de análise refere-se a comparação dos resultados de carregamento viário do lançados pelo TRANUS com os dados de carregamento viário em dia típico e hora pico, fornecidos pelo DER e Detran (Figura 4.3).

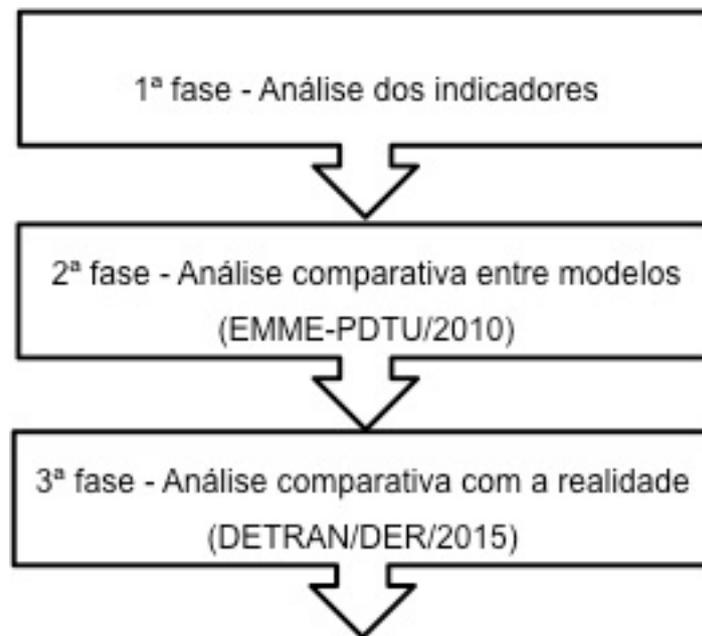


Figura 4. 3. Fases da análise dos resultados

4.4.1. Primeira fase: Análise dos resultados do TRANUS por meio dos indicadores

Os resultados e as tendências de evolução são analisados em função de indicadores fornecidos pelo modelo TRANUS para toda a rede. Estes indicadores são: taxa de saturação viária, viagens por categoria e modo, número de viagens totais realizadas e suprimidas, comprimento médio de viagem, tempo de viagem, custo médio de viagem por categoria.

Os indicadores seguem os critérios estabelecido por Litman (2009), no qual cita a compreensão, confiabilidade, disponibilidade, abrangência, comparabilidade, exclusividade e complementaridade. Significando que os dados devem ser facilmente entendidos, serem confiáveis, apresentando padronização, estarem disponíveis facilmente, poder ser coletado ou utilizável independente das configurações de rede, permitir comparações entre redes, não serem redundantes entre eles e se complementarem no estudo da rede.

Os indicadores proporcionam uma visão macroscópica da mobilidade urbana e uso do solo da cidade. Porém é importante reafirmar que os modelos são instrumentos incompletos de leitura

da cidade, sendo necessário complementá-lo com conhecimentos históricos, culturais, econômicos e sociais locais, ampliando o panorama de interpretação urbana.

4.4.2. Segunda fase: Análise comparativa com o PDTU-DF 2010

Para análises comparativas entre modelos, pode-se usar diversas fontes, como outros trabalhos acadêmicos, estudos experimentais e planos diretores. Para este estudo optou-se modelo realizado para o PDTU-DF 2010 que apresenta diversos resultados passíveis de comparação com os deste estudo. Para critério de análise limitou-se a comparação entre os dados de carregamento viário dos dois modelos, que configura a previsão de demanda do cenário base lançados pelos dois modelos. Este é portanto uma comparação entre dois resultados virtuais, lançados através da modelagem, entretanto o modelo elaborado para o PDTU passou pela etapa de calibração do cenário base, estando portanto, mais próximos dos valores reais da época.

4.4.3. Terceira fase: Análise comparativa com dados de contagem volumétrica

A análise desta fase será entre os dados virtuais, carregamento viário lançados pelo TRANUS, com dados reais, contagem volumétrica de veículos. Usando os radares distribuídos pela cidade, com dados compilados pelo DER e Detran, o volume de cada via onde se encontram os radares podem ser confrontados com os dados encontrados na rede desenvolvida pelo TRANUS. Através dessa comparação, pode-se concluir se a rede está próxima da realidade ou se é necessária a calibração da rede.

4.5. TÓPICOS CONCLUSIVOS

Esta sessão apresentou os principais itens que compõem o método de aplicação do Modelo Integrado de Transporte e Uso do Solo. O propósito deste capítulo foi detalhar todas as etapas do método descrevendo todos os procedimentos e aplicação e expor o método de análise dos resultados encontrados na aplicação. Foram observados aspectos relacionados à categorização dos dados de entrada, as etapas de aplicação, as especificidades dos submodelos desenvolvidos e os métodos de análise da modelagem.

Foi possível observar que existem diversas relações entre os dados, parâmetros e definições dentro desse formato de modelagem. Para fins de exemplificação e compreensão do *software* que se baseia no modelo LUTI, foi detalhado o método de importação dos dados e de modelagem do *software* TRANUS.

O seguinte capítulo discorrerá mais especificamente sobre a aplicação do modelo integrado para a rede de transporte do DF . Nesse estudo serão descritos o contexto urbano do DF e suas especificidades quanto ao transporte de pessoas pela cidade.

5. APLICAÇÃO DO MODELO TRANUS DE SIMULAÇÃO INTEGRADA PARA A ÁREA URBANA DO DISTRITO FEDERAL

5.1. APRESENTAÇÃO

Neste capítulo será apresentado o contexto urbano da área de estudo (Área Metropolitana do Distrito Federal) e detalhamento da infraestrutura de transporte existente e as características socioeconômicas e espaciais necessárias para aplicação do modelo. Além disso será exposto a sistematização dos dados coletados e a construção da rede de transporte e definição das zonas de tráfego. O objetivo deste capítulo é detalhar o processo de aplicação na área de estudo e a definição dos cenário referencial e cenários futuros.

As partes que compõem este capítulo são: contexto urbano, concepção e sistematização dos dados, etapas da construção da rede e componentes de interação (*inter-sectors*).

5.2. CONTEXTO URBANO DO DISTRITO FEDERAL

A Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno – RIDE é composta pelo Distrito Federal e outros 22 municípios do Estado de Goiás e Minas Gerais. A RIDE foi criada para articulação de ações políticas em um mesmo complexo social geoeconômico. Entretanto, a aglomeração urbana que de fato configura-se área metropolitana, em proporção e atividade, corresponde a menos municípios. O PDTU/DF (2010) delimitou para a construção da rede integrada de transporte urbano, além do próprio DF, outros oito municípios: Águas Lindas de Goiás, Santo Antônio do Descoberto, Novo Gama, Valparaíso de Goiás, Cidade Ocidental, Planaltina, Luziânia e Formosa. A Figura 5.1 destaca dentre os municípios compõem a RIDE os que compõem a área de estudo:

As manchas de ocupação urbana são mais significativas nos fluxos diários da população que as divisões político-territoriais dos municípios e regiões administrativas. A Figura 5.2 representa a área urbanizada, que corresponde às manchas escuras. A observação mais visível do processo de urbanização do Distrito Federal e Entorno constante na Figura é a composição de um tecido urbano muito fragmentado e disperso, tornando os deslocamentos diários da população muito extensos.

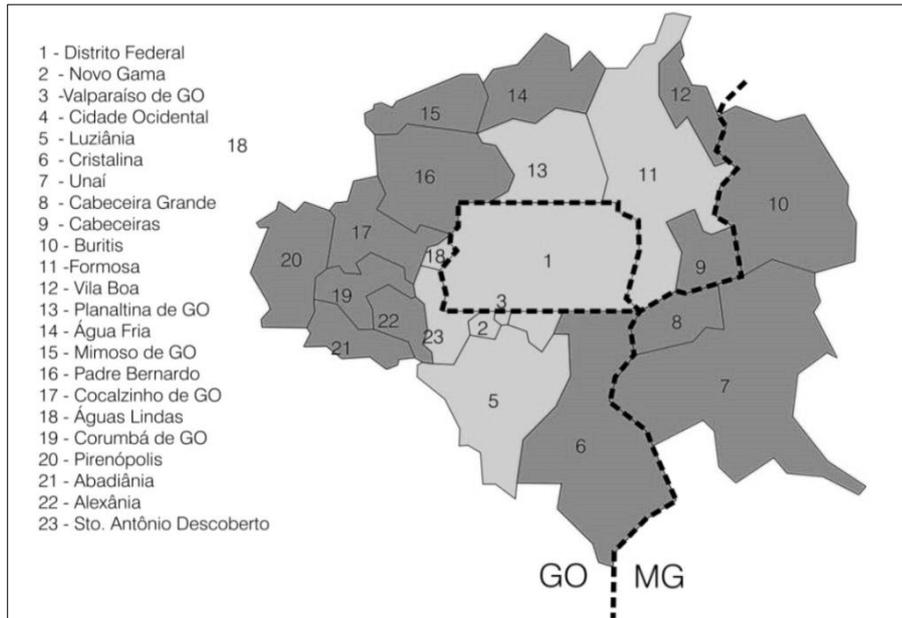


Figura 5. 1. Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno – RIDE (PDTU/DF, 2010)

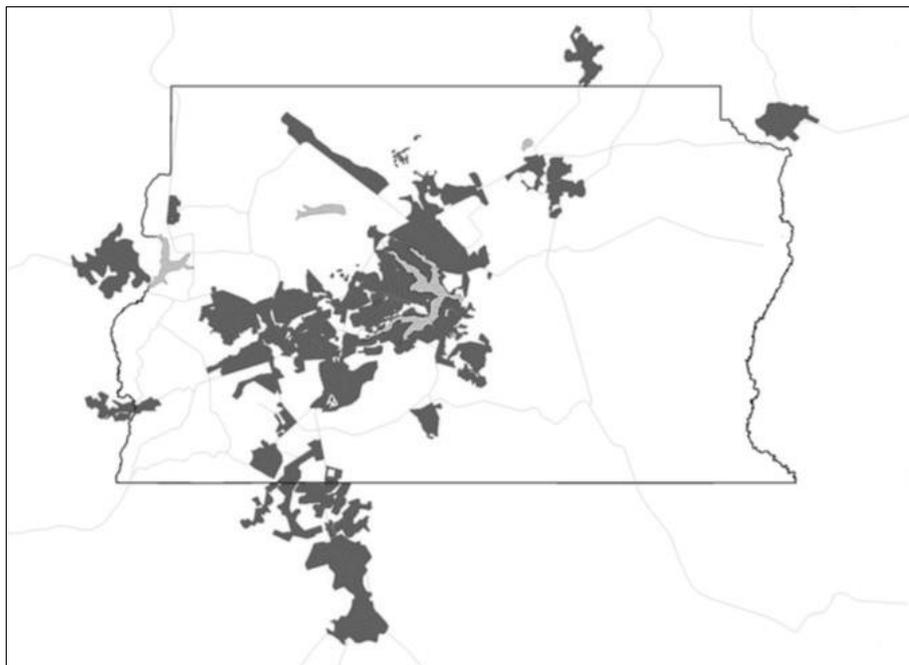


Figura 5. 2. Mancha urbana da região metropolitana do Distrito Federal (PDOT/DF, 2009)

O PDOT/DF (2009) e o PDTU/DF (2010) classificam a ocupação do solo urbano como extensiva e segmentada. Apesar de certas localidades do DF apresentarem densidades altas,

inclusive a área do Plano Piloto, a densidade bruta do território urbano do DF é baixa, principalmente quando computados os espaços livres e sistema viário.

Enquanto as cidades tradicionais apresentam altas densidades próximas ao principal centro de emprego e serviços, otimizando a utilização de terras de grande valor e grande acessibilidade, o DF contraria o padrão clássico da maioria das cidades apresentando um perfil de distribuição espacial da população distinto, com densidades mais altas na periferia do que no centro.

De acordo com o PDOT/DF (2009), isto decorre da forma como os elementos edificados se distribuem no espaço urbano e da quantidade de espaços livres, que determinam o grau de compactidade das cidades, assim como o nível de otimização de infraestrutura. Estruturas mais compactas tendem a gerar maiores concentrações de pessoas, fator fundamental na viabilidade de um sistema de transporte coletivo eficiente.

O PDTU/DF (2010) ressalta que a ocupação territorial dispersa e fragmentada associada à expansão da rede viária e à fixação de áreas residenciais distantes dos locais de trabalho, com rígido controle dos usos do solo urbano, estimulou o uso do transporte individual e trouxe repercussões negativas na mobilidade urbana.

A área central do Distrito Federal, que compreende o Plano Piloto, o Cruzeiro, o Sudoeste-Octogonal e a Candangolândia, abarcava 12,48% da população do DF, em 2006. Ceilândia e Taguatinga são as cidades que possuem mais habitantes no DF. Juntamente com Samambaia e Águas Claras configuram a região com maior número de moradores, congregando 40,8% da população do DF, em 2006. O padrão mais intensivo de ocupação do solo urbano, com os lotes de menor dimensão e com maior potencial construtivo (lotes entre 125m² e 250m²), permite que nesta região se concentre uma população três vezes maior do que a da área central de Brasília, em uma mancha urbana de dimensões equivalentes PDOT/DF (2009).

De acordo com o PDOT/DF (2009), o Plano Piloto concentra quase metade dos locais de trabalho tanto principal como secundário (44,80% e 47,42% respectivamente), sendo que na área central, onde estão localizados os Ministérios, Câmara Federal, Senado Federal e outros Órgãos Federais estão alocados cerca de 50.000 postos de trabalho. A Figura 5.3 representa os

mapas das “linhas de desejo” das viagens por transporte coletivo e por automóvel. Estes mapas mostram o caráter centralizador das atividades na área do Plano Piloto.

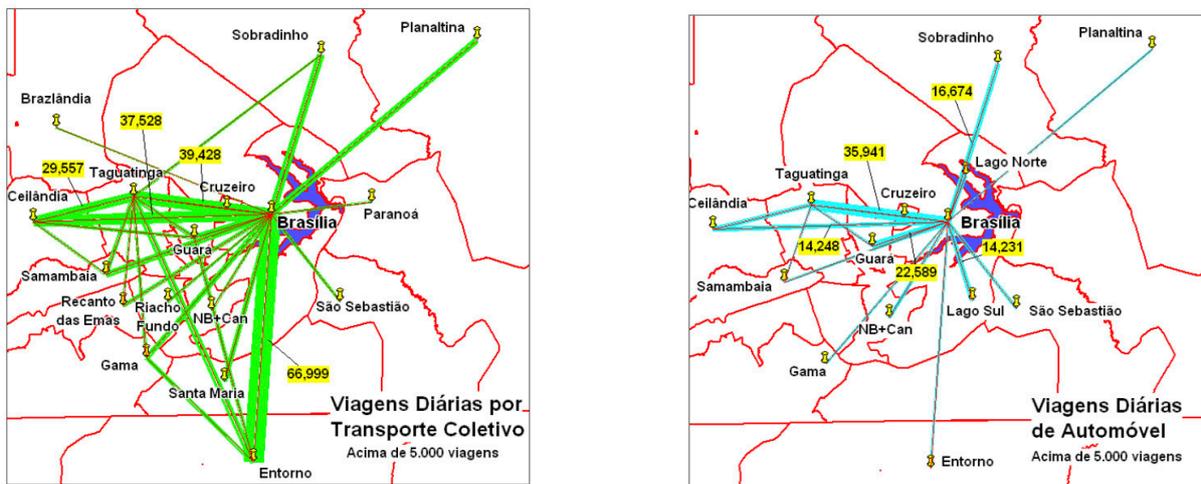


Figura 5. 3. Linhas de desejo de deslocamento da região metropolitana do Distrito Federal (PDTU/DF, 2010)

O PDOT/DF (2009) estimou que mais de 30% da população ocupada do entorno trabalha em Brasília. Os municípios que compreendem o entorno do DF – Valparaíso, Novo Gama, Aguas Lindas, Santo Antônio do Descoberto, Cidade Ocidental, Padre Bernardo e Planaltina de Goiás – apresentam elevada dependência da rede de serviços e empregos ofertados pelo DF, gerando uma demanda significativa por deslocamentos diários.

De acordo com um índice desenvolvido por Bertaud (2000), a área metropolitana do Distrito Federal apresenta uma estrutura fortemente monocêntrica que implica em grandes distâncias entre moradia e local de trabalho, percorridas diariamente pela população. Esta característica acarreta no aumento do custo operacional da cidade, alto custo energético e financeiro para o transporte e desperdício de tempo nos deslocamentos.

O PDOT/DF (2009) também relaciona o padrão de distribuição da população nas áreas urbanas e o padrão de deslocamentos cotidianos da população, identificando como característica do Distrito Federal, o alto consumo de terras urbanas.

O sistema viário regional é formado por rodovias que realizam a ligação entre as áreas urbanas do DF e dos municípios do Entorno, mas também entre outros Estados e o Distrito Federal. O PDTU/DF (2010) descreve que há situações de conflito entre o tráfego de passagem e o tráfego local, principalmente em trechos que margeiam áreas habitacionais, prejudicando a fluidez.

As rodovias do sistema regional, podem ser classificadas em expressas (ligação direta do Plano Piloto com as cidades do Entorno e saída para outros estados), arteriais (ligações secundárias entre as áreas urbanas do DF) e de contorno (anel viário do DF). A EPCT (Estrada Parque Contorno) forma um anel viário menor que contorna a área central mais urbanizada. A EPIA (Estrada Parque Indústria e Abastecimento) é a principal via de conexão com o Plano Piloto e recebe grande volume de tráfego, tanto de tráfego de passagem quanto de tráfego local.

O sistema viário urbano é formado por vias internas nos núcleos urbanos, que são estruturantes dessas áreas e onde concentram os maiores fluxos de viagem. Essas vias são classificadas como arteriais, coletoras e locais e interligam locais de grande demanda (PDTU/DF, 2010). Entre as vias arteriais de grande fluxo, destacam-se os eixos W-Sul/Norte, a W3-Sul/Norte, a L2-Sul/Norte no Plano Piloto, a Avenida Central de Taguatinga e a Avenida Hélio Prates em Ceilândia.

O Plano Piloto é o grande atrativo de viagens do DF, seguido pelas áreas urbanas de Taguatinga, Ceilândia, Guará, Gama e Sobradinho. Os principais vetores de crescimento estão nas regiões oeste, sul e nordeste do DF (PDTU/DF, 2010).

Atualmente, o Sistema de Transporte Público Coletivo do Distrito Federal (STPC/DF) está estruturado em dois serviços: o Básico, que compreende linhas dos modos rodoviário e metroviário e o Complementar, que compreendem linhas do modo rodoviário com características diferenciadas, que atendem a população rural. Este serviço representa cerca de 7% das linhas em operação no DF. Em relação ao volume do restante da rede, o volume de tráfego do Serviço complementar não é tão expressivo e, por isso, não foi contemplado neste estudo, para simplificação e restrição da análise.

A demanda diária se distribui de forma irregular ao longo do dia, com elevadas concentrações no período das 06h00min às 08h30min e das 17h00min às 19h00min, que são considerados os horários de pico do transporte coletivo. Fora destes horários a demanda cai significativamente, obrigando a paralização de cerca de 40% da frota operante na área central de Brasília, onde se concentram mais empregos.

O PDTU/DF (2010) afirma que o Serviço Básico rodoviário atendia naquele ano aproximadamente 312 milhões de passageiros, em média 980 mil passageiros por dia, em 22 mil viagens de ônibus. O modo metroviário, transportava em média 151 mil de passageiros por dia útil.

A Figura 5.4, elaborado pelo PDTU/DF (2010), apresenta a cobertura geográfica da rede de transporte coletivo do Serviço Básico composta pelos modos rodoviário e metroviário do STPC/DF. As vias da malha viária não atendidas pelo transporte coletivo corresponde áreas de assentamentos que não possuem infraestrutura viária para o tráfego de ônibus ou são áreas atendidas pelo Serviço Complementar.

O Distrito Federal possui atualmente 30 terminais de ônibus. Alguns foram construídos recentemente e ainda não estão em pleno funcionamento. Apesar de o sistema de transporte no DF ainda não ser completamente integrado, os terminais são importantes nos locais de maior concentração de passageiros e nos pontos de início e fim das viagens, permitindo maior controle da operação, segurança e conforto aos operadores e usuários.

O Metrô conta com 24 estações operacionais e estão previstos a expansão de 2,5 Km de via em Ceilândia, 4 Km de via em Samambaia e 1 Km de via na Asa Norte, com a construção de cinco novas estações. No Terminal Asa Sul, de uso intermodal, operam 10 linhas de ônibus além das linhas do metrô. O Eixo Sul, eixo troncal integrado que liga os terminais do Gama e Santa Maria ao Plano Piloto irá se estender até o Terminal da Asa Sul, mas por enquanto está com ligação apenas até o Terminal Rodoviário do Plano Piloto.

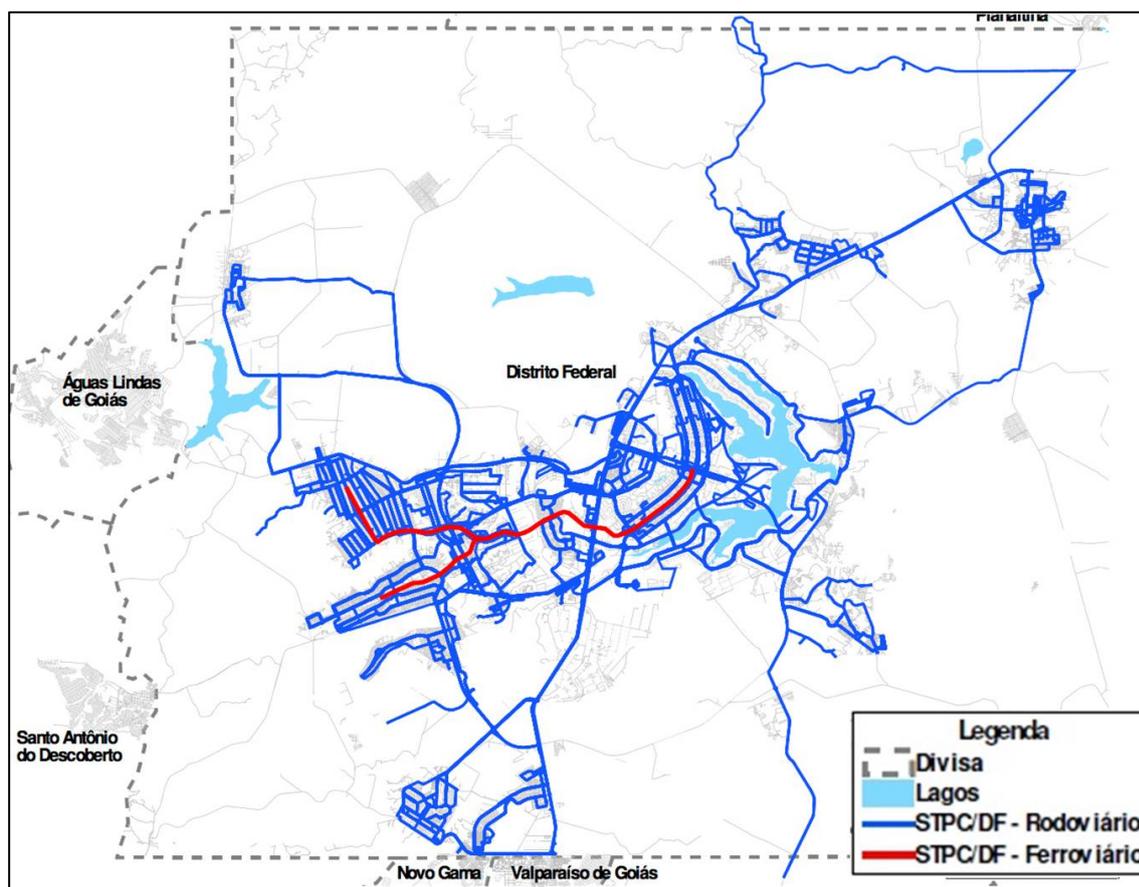


Figura 5. 4. Rede de vias que recebem as linhas de ônibus e metrô do serviço básico de transporte coletivo do Distrito Federal (PDTU/DF, 2010)

O Terminal Rodoviário do Plano Piloto é o principal ponto do sistema atual, de acordo com o PDTU/DF (2010), circulam mais de 600 mil pessoas por dia, operam linhas de praticamente todas as regiões administrativas e dos municípios do Entorno e o ponto final das linhas de metrô. Essa função centralizadora da Terminal Rodoviário do Plano Piloto faz dela o ponto mais vulnerável do sistema, a ponto de qualquer paralização afetar todo o sistema de transporte coletivo, repercutindo também no volume de tráfego individual. Outro transtorno é tentar acomodar toda a quantidade de linhas que tem no terminal seu ponto final e que crescem constantemente. De acordo com o PDTU/DF (2010) a Rodoviária já tem saturada sua capacidade de atender usuários e a veículos.

O serviço semiurbano, que refere-se as linhas do Entorno, não possui nenhum tipo de integração ou ligação com a rede do DF, apesar de utilizar praticamente o mesmo sistema

viário e os mesmos equipamentos urbanos locais (paradas e terminais rodoviários), ocasionando sobreposição de linhas e de atendimentos. A Figura 5.5 apresenta a rede de linhas do transporte coletivo do serviço semiurbano. O destino principal dessas linhas é a Rodoviária do Plano Piloto, mas existem também ligações com Planaltina, Taguatinga, Gama, entre outras.

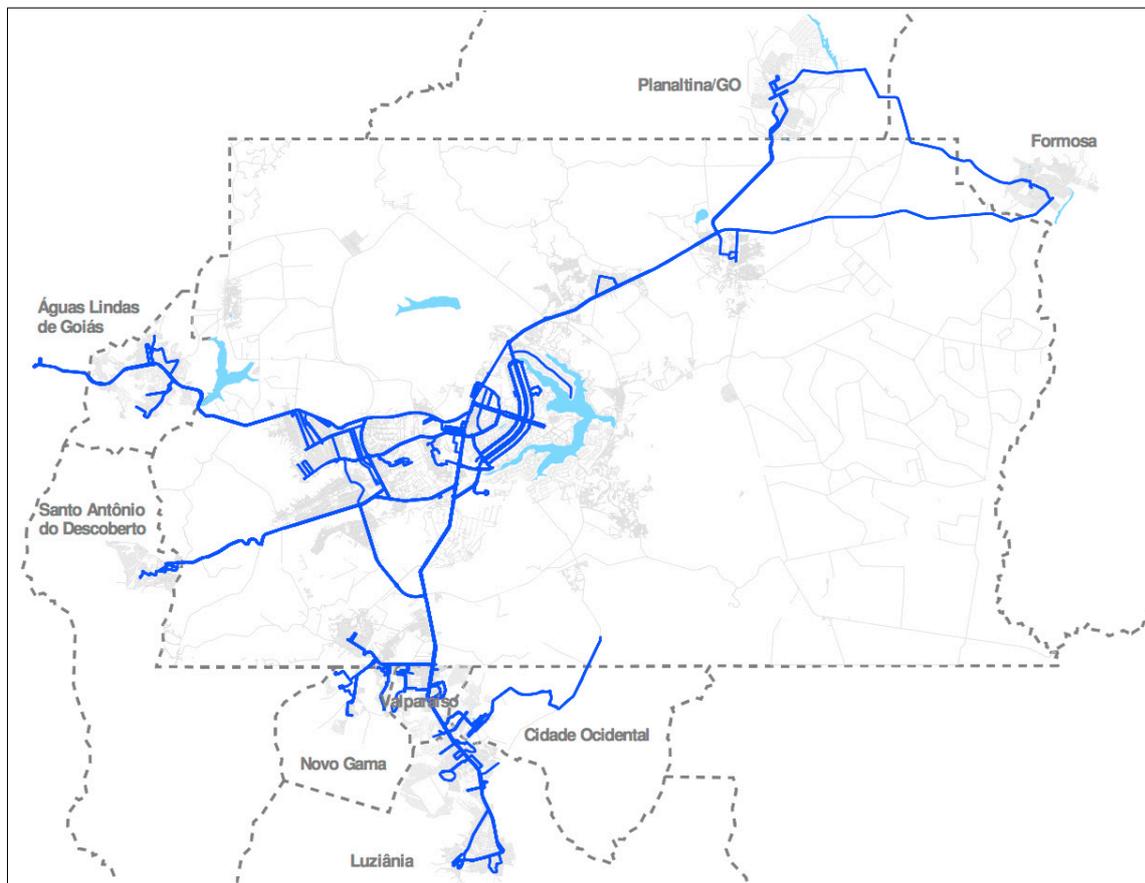


Figura 5. 5. Rede de vias que recebem as linhas de ônibus do serviço de transporte coletivo semiurbano do Distrito Federal (PDTU/DF, 2010)

O STPC/DF caracteriza-se pelo elevado número de linhas diretas entre as diversas localidades e poucas linhas em sistema integrado. No sistema direto as linhas de ônibus realizam as viagens ditas “porta a porta” e, por isso, exige-se uma quantidade grande de linhas para atender a demanda de transporte (Figura 5.6). Partem de cada Região Administrativa um conjunto de linhas que muitas vezes seguem pelas mesmas vias para se deslocar em direção ao centro, onde os desejos de viagens são maiores, alcançando praticamente toda a área

urbana do DF. Entretanto, há locais cuja frequência de atendimento é insuficiente e muitas vezes em trechos consideráveis do trajeto o onibus fica praticamente vazio.

As vantagens do Sistema Direto são ausência de transferências, pois o mesmo veículo leva o passageiro da origem ao destino. Outra vantagem é que potencialmente há mais opções de linhas diferentes que levam o usuário em direção ao destino. Caso o Serviço Direto ofereça uma linha mais curta e direta, o usuário pode escolher a linha em que chegará mais rápido ao destino. Em termos de infraestrutura há menos custo no sistema direto, pois não conta com terminais de transferência e estações intermediárias.

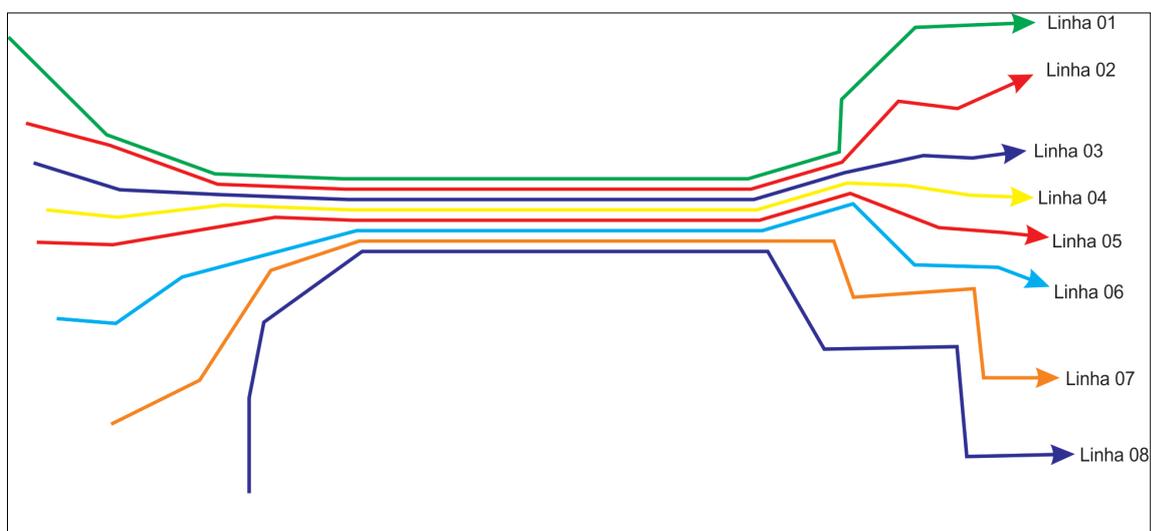


Figura 5. 6. Fluxo esquemático de linhas de transporte público no Sistema Direto

Entretanto, o Sistema Direto possui várias desvantagens. A eficiência operacional é comprometida, já que veículos de mesmo tamanho são utilizados tanto em áreas com baixas demandas quanto em de altas demandas e muitas vezes a frequência do serviço não atende a necessidade de todas as áreas. O veículo sempre será adequado para parte da viagem, mas não para sua totalidade, muitas vezes lotando já no início da viagem e dificultando o uso de usuários que acessam ao longo do trajeto. Além disso, muitas vezes adota-se veículos longos circulando em vias internas atrapalhando o trânsito local.

A diminuição das velocidades médias e o aumento do tempo total das viagens são os principais efeitos do sistema direto. O elevado número de ônibus nas vias colabora na formação de congestionamentos, impactando nas velocidades do tráfego misto.

O Sistema Integrado Troncal conta com faixas exclusivas, veículos maiores e menores frequências para atender a concentração maior de passageiros. Nas linhas troncais, os passageiros tem as opções de desembargar em estações intermediárias ao longo do eixo ou no próximo terminal, onde outras linhas alimentadoras distribuem os passageiros pelos pontos de menor demanda da cidade (Figura 5.7).

As linhas troncais são integradas a linhas que utilizam veículos menores em itinerários espalhados pelos bairros circulando em vias de tráfego misto e adequando a frequência de viagens com as demandas locais. Essas linhas, denominadas alimentadoras, direcionam os usuários aos terminais regionais que distribuem a massa de passageiros por linhas troncais nos grandes eixos de circulação.

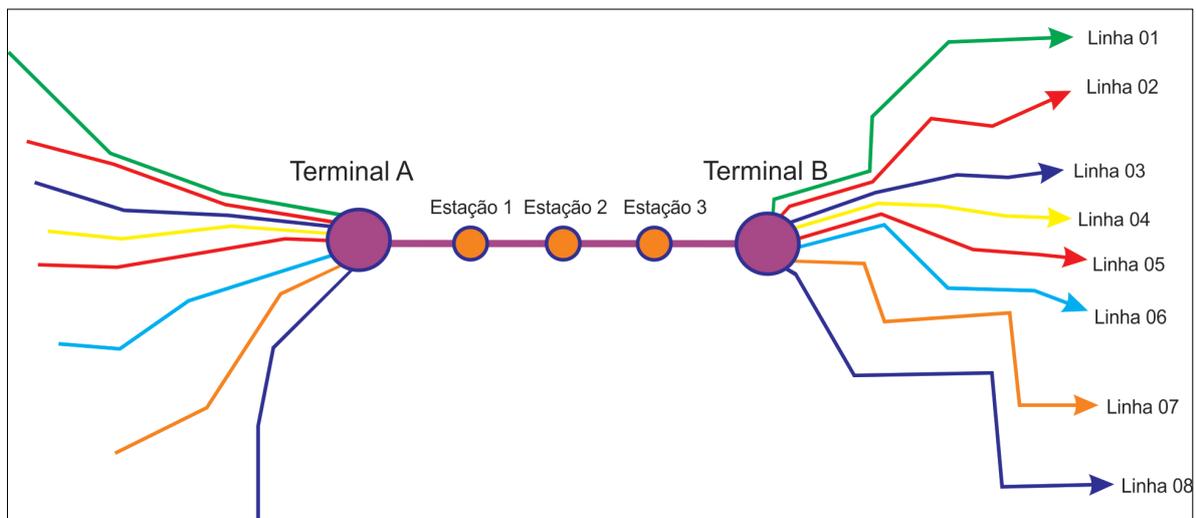


Figura 5. 7. Fluxo esquemático de linhas de transporte público no Sistema Integrado troncal

No PDTU/DF (2010) estavam previstos quatro eixos de integração: Eixo Sul, Eixo Norte, Eixo Oeste e Eixo Sudoeste tornando todo o sistema integrado (Figura 5.8). Entretanto apenas o Eixo Sul está implantado, apesar de parcialmente. Desde 2014 o DF conta com um eixo

- Disponibilidade de informação a um nível desagregado: neste modelo, informações de pesquisa de tráfego são recolhidas ao nível das zonas correspondentes a setores censitários, para que possam ser facilmente agregados ao TRANUS.
- Distribuição de viagens: o TRANUS modela viagem apenas entre zonas e não viagens internas à zona, de modo que as zonas devem ser pequenas suficientes para não excluir viagens motorizadas.
- Quantidade da população e de atividades (zonas menores nas áreas mais densas e identificar zonas cujo perfil socioeconômico está bem caracterizado – residencial, comercial ou industrial).
- Infraestruturas de transporte principais: devem ser usadas para definir os limites das zonas. Cada zona produz e atrai viagens que são distribuídas nos eixos de transporte.

5.4. CONSTRUÇÃO DA REDE DE TRANSPORTE E ZONAS DO TERRITÓRIO

A aplicação do TRANUS partiu da locação da rede existente e modelagem do cenário de referência. Para isto realizou-se a importação da rede elaborada para o PDTU no ano 2000 no *software* EMME para o TRANUS.

Segundo o referido processo extraído do PDTU/DF (2009), 379 zonas de tráfego foram criadas para a modelagem do DF e distribuídas entre as 30 Regiões Administrativas e 38 alocadas entre as oito cidades do Entorno, aí incluídas áreas urbanas – residenciais e não residenciais, ocupadas e não ocupadas – e áreas rurais.

A área de modelagem deve ser maior do que a área onde intervenções possam ser implantadas. O foco no modelo da Área Metropolitana Distrito Federal é em viagens diárias de passageiros, o que induz a modelagem de toda a região. Com efeito as interações econômicas entre as diferentes zonas são muito fortes, principalmente com a área central. Cada zona é uma agregação de várias áreas homogêneas. Estas áreas homogêneas são definidas como setores censitários ou áreas de ponderação.

5.4.1. Importação, manipulação e adição de dados para a construção da rede

A rede de transporte do Distrito Federal desenvolvida neste trabalho foi previamente construída no programa EMME para o PDTU/DF (2010). Para o desenvolvimento da modelagem do transporte e uso do solo aqui proposto foi importado os dados da rede construída para o PDTU para o TRANUS e foi acrescentado os dados de uso do solo. As matrizes Origem/Destino do PDTU/DF (2010) não são usadas pelo TRANUS, visto que ele cria seus próprios resultados a partir da relação com os dados de atividades.

Devido as divergências existentes entre o formato dos dados do PTV VISUM e TRANUS, os dados gerados dentro do PTV VISUM foram exportados para uma planilha EXCEL onde foram editadas, em seguida os dados foram importados individualmente como nós e zonas, que são pontos georeferenciados, necessários para as conexões de vias (*links*), sendo as zonas os pontos (centroides) que representam as 31 RAs do Distrito Federal mais 8 cidades do entorno, Águas Lindas, Cidade Ocidental, Formosa, Luziânia, Novo Gama, Planaltina, Santo Antônio do Descoberto e Valparaíso (Figura 5.11). Cada RA pode estar representada em maior número com a proposta de distribuir os valores na região (Tabela 5.1); *links* e conectores, que são as vias onde transitam desde pessoas até diferentes modos de transportes; operadores e rotas, detalhamento de frequência, vias e nós por onde passam cada linha de ônibus, metrô, BRT e VLT.

Tabela 5. 1. Número de zonas de cada Região Administrativas (PDTU/DF, 2010)

Região Administrativa	Número de Zonas	Região Administrativa	Número de Zonas
Brasília	88	Riacho Fundo II	4
Lago Sul	7	Gama	17
Lago Norte	5	Santa Maria	10
Varjão	1	São Sebastião	8
Sudoeste	5	JardimBotânico	2
Cruzeiro	2	Paranoá	8
Setor de Ind. e Abast.	9	Itapua	4
Guará	13	Planaltina	24
Park Way	6	Sobradinho I	16
NúcleoBandeirante	3	Sobradinho II / Fercal	10
Candangolândia	2	Brazlândia	8
Águas Claras	10	ÁguasLindas	5
Vicente Pires	3	Santo AntôniodoDesc.	1
Estrutural	2	Novo Gama	5
Taguatinga / Vicente Pires	27	Valparaíso	6
Samambaia	16	CidadeOccidental	2
Ceilândia	52	Luziânia	13
Recanto das Emas	12	Planaltina GO	5
Riacho Fundo I	5	Formosa	1

Na rede, obteve-se um total de 417 zonas, 2583 nós, 9779 *links* (Figura 5.9-5.10). Por uma limitação no TRANUS durante o desenvolvimento da rede apresentou-se um erro associado com excesso de rotas passando por um *link*, a solução encontrada foi fusão de rotas com uma função existente no TRANUS. O número total de rotas originalmente era de 1662 considerando uma mesma rota apresentava diferente nome para ida e volta. Após esta redução esse número caiu para 1052 rotas (Figura 5.12-5.13).

Portanto as zonas de tráfego assim como as características da rede (nós, *links*) são as mesmas da rede original. A diferença está nos dados inseridos para na zona de tráfego. Enquanto no modelo de quatro etapas a zona apresenta apenas os dados de atração e geração (matriz O/D), no modelo LUTI insere-se em cada zona o número de empregos, população, categorias socioeconômicas, área construída, valor imobiliário e os usos destas áreas (comércio, habitação, etc). Com base na interação entre estes dados é que são geradas as viagens entre as zonas sem a locação de uma matriz O/D, típicas dos modelos de quatro etapas.

Outro processamento, posterior à importação foi com o uso da função “Simplify Network”, necessária devido aos problemas de importação do PTV VISUM.



Figura 5. 9. Visão geral da rede importada (nós, *links* e zonas) e editada dentro do programa TRANUS

Após as importações e simplificação da rede, foram criados os administradores dentro do menu “*Transport*” opção “*Administrators*” lá foram criados a categoria “DFTrans”, gestores do transporte coletivo por ônibus, e “Metrô”, gestores do transporte metroviário (Figura 5.16). Ainda em “*Transport*”, agora sob a opção “*Modes*”, foi criado somente a categoria “passageiros”. Nesta opção o número máximo de possibilidade de rotas são 12, porém foram usados 4, visando simplificação do processamento. Com um único modo se indica ao modelo fazer a escolha do modo e da rota de maneira simultânea.

Os *Link-Types* foram criados segundo os tipos de vias da rede original, considerando número de faixas e velocidade, a partir disso foi calculada a capacidade da via (Figura 5.14-5.15). A

distribuição dos *Link-Types* ao longo da rede pode ser vista na Figura abaixo. Os *links* foram recalculados usando uma função do programa TRANUS, em que ele usa a localização geográfica dos nós para calcular o comprimento dos *links*.

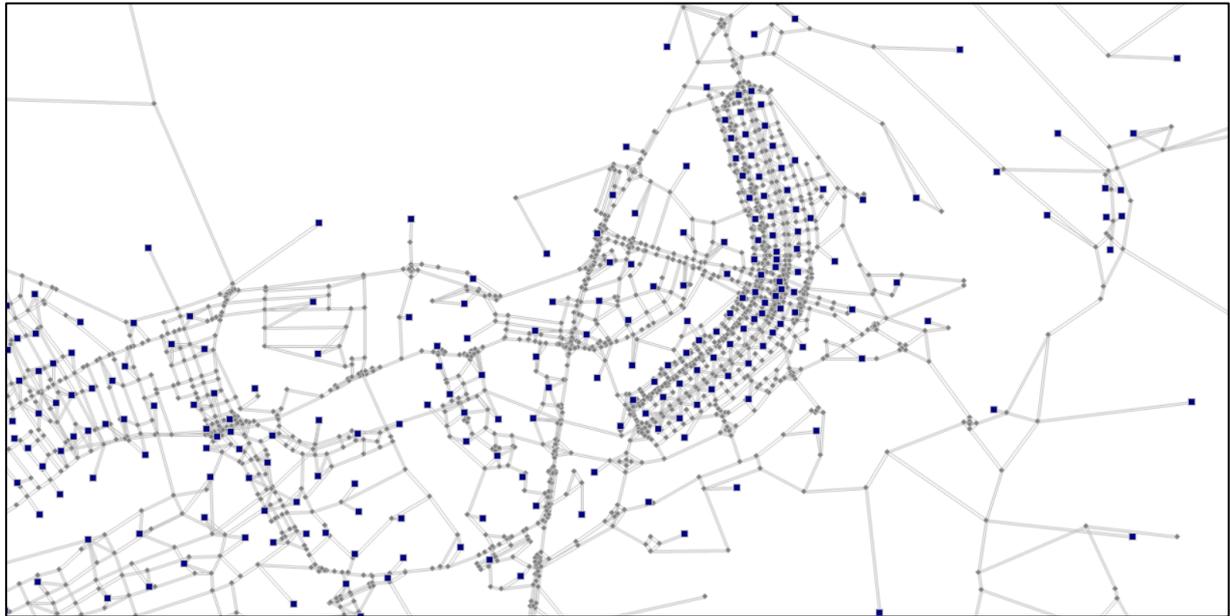


Figura 5. 10. Visão aproximada da rede importada (nós, *links* e zonas) e editada dentro do programa TRANUS

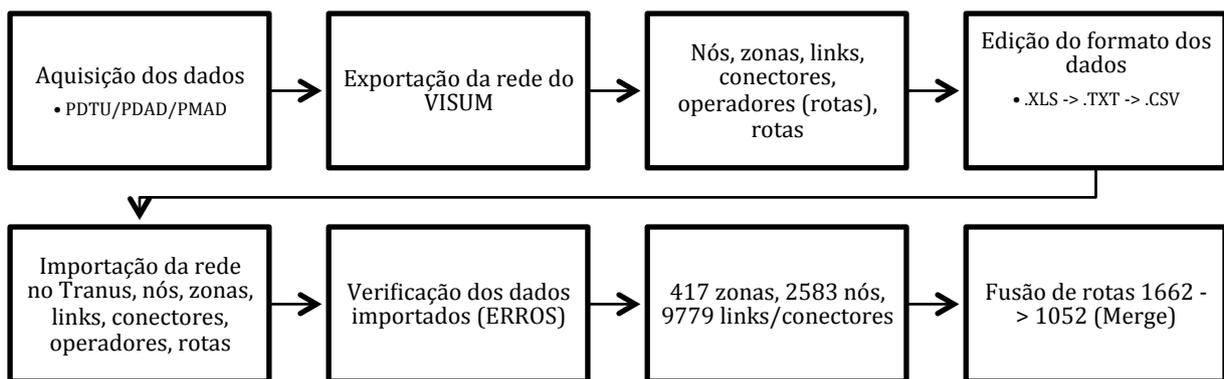


Figura 5. 11. Fluxograma do processo de aquisição e importação dos dados originalmente da rede de Brasília dentro do programa EMME para o programa TRANUS

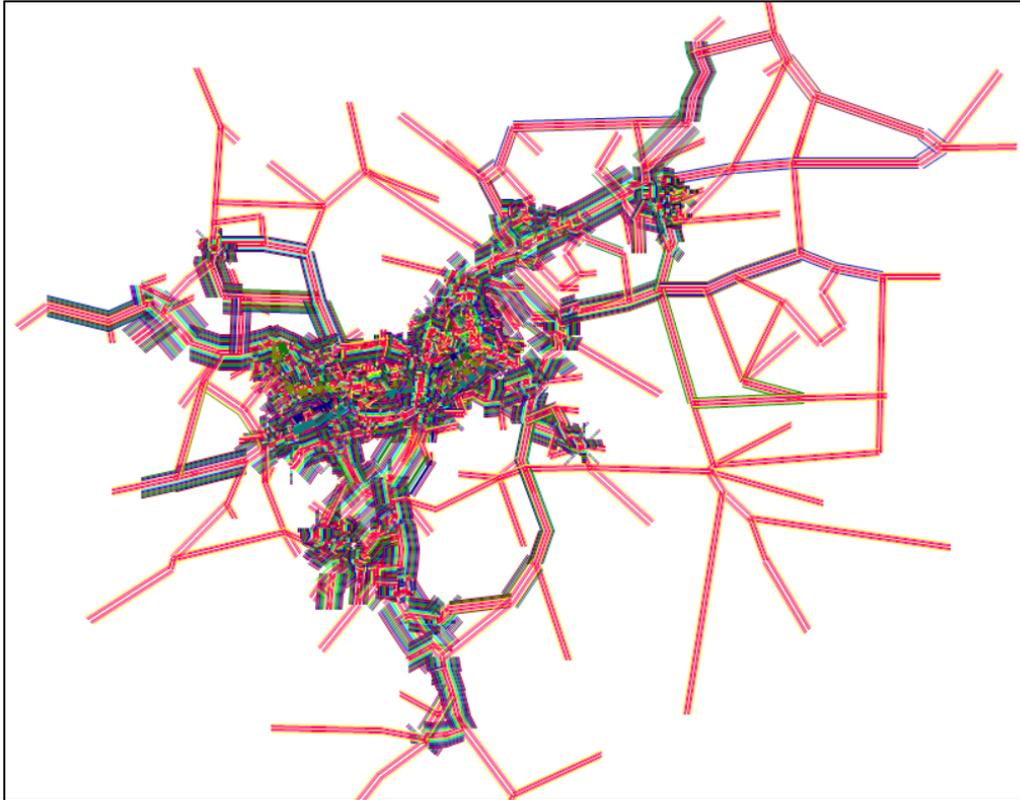


Figura 5. 12. Representação das rotas das linhas de ônibus que circulam na rede viária do DF no cenário base, a diversidade de cores indicam o número de linhas que passam por um determinado *link*



Figura 5. 13. Visão ampliada das rotas das linhas de ônibus que circulam na rede do DF no cenário base, a diversidade de cores indicam o número de linhas que passam por um determinado *link*

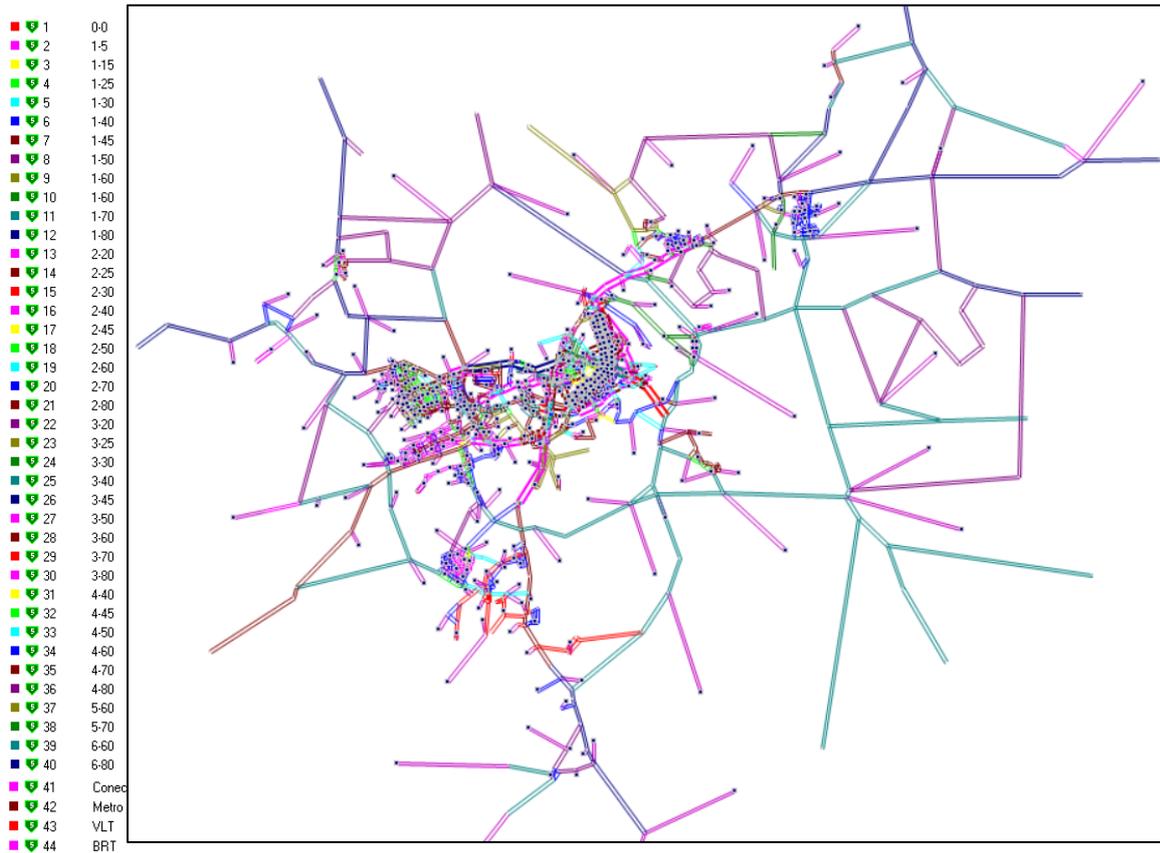


Figura 5. 14. Rede viária modelada no *software* TRANUS. As cores diferentes dos *links* correspondem aos 44 diferentes *link-types* especificados dentro do *software* TRANUS

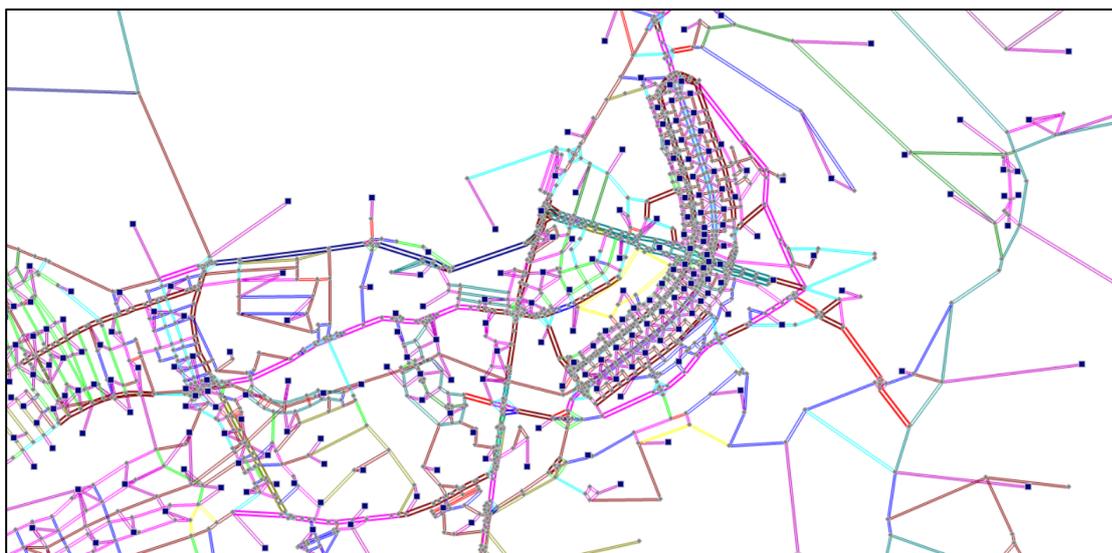


Figura 5. 15. Visão ampliada da rede dentro do programa TRANUS, cada cor dos *links* correspondem aos diferentes *link-types*

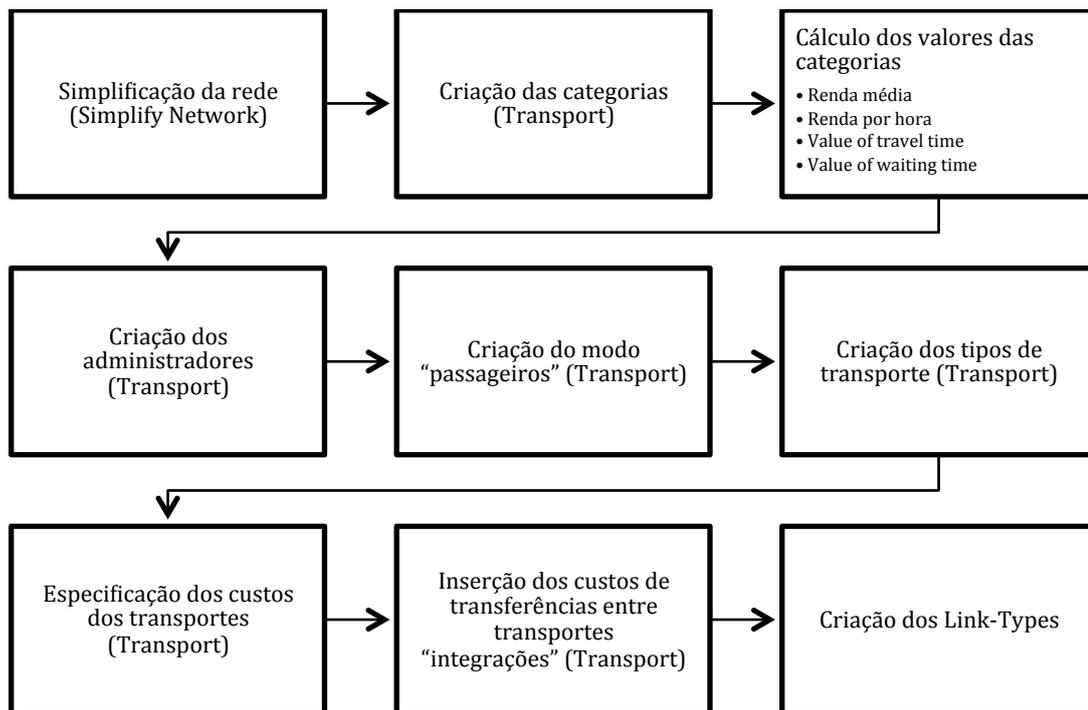


Figura 5. 16. Fluxograma do processo de continuidade de edição da rede de Brasília dentro do programa TRANUS, com inserção de dados não importáveis

5.4.2 Cenário referencial e cenários futuros

Após a importação dos dados brutos, foram criados os cenários (Figura 5.17). Foram considerados três diferentes períodos de tempo, 2009 (cenário base), 2019, 2029 e 2039 (cenários futuros). Os mapas representados a seguir mostram estes cenários propostos, que indicam cada um uma diferente situação da infraestrutura e serviços de transporte (Figura 5.18). Foi usada uma taxa de um crescimento anual da população em 3,41% e crescimento de empregos em 2,9% (PDTU/DF, 2010).

O cenário base reflete a realidade da cidade naquele ano (2009), com os mesmos tipos de transporte públicos utilizados, restringindo-se ao metrô da região sul e linhas de ônibus. Em 2019 foram propostos dois cenários, o “estável”, que tem a mesmo sistema de transporte do cenário base adicionado do BRT Sul, que foi implantado em 2014, e o “otimista” em que foi

adicionado também o BRT Norte. No ano 2029 foram propostos três cenários, o “estável” que é igual ao cenário estável de 2019, o “otimista” com adição do BRT Norte e Sudoeste e “muito otimista” com a inserção dos BRTs Sul, Norte, Sudoeste e VLT na W3. Em 2039 também foram criados três cenários, o “estável” como os anteriores, o “otimista” com os BRTs Sul, Norte, Sudoeste e VLT na W3, e o “muito otimista” com a inserção dos BRTs Sul, Sudoeste, Norte, Oeste, VLT na W3 e extensão do metrô até o final da Asa Norte.

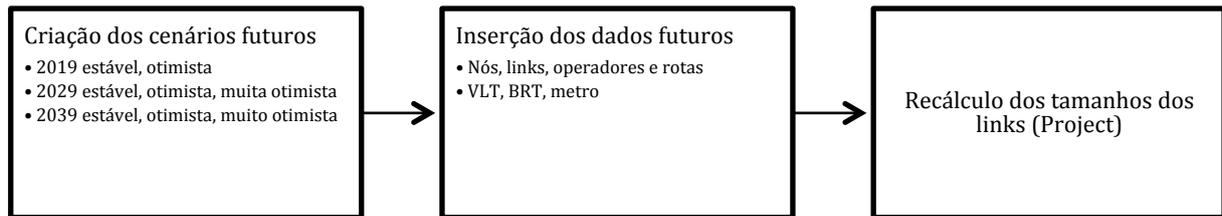


Figura 5. 17. Fluxograma da criação dos cenários futuros e edição dos mesmos

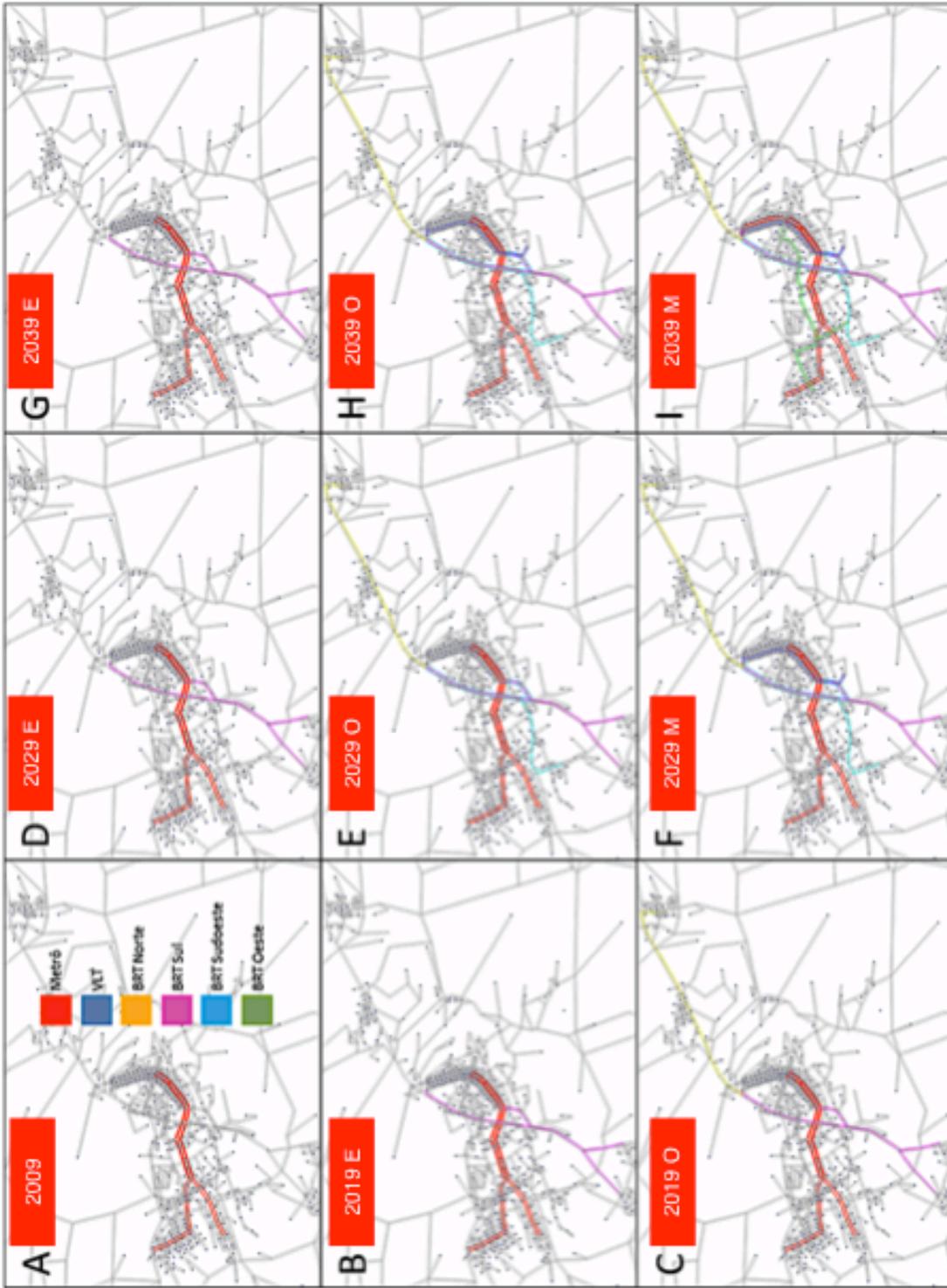


Figura 5.18. A-Cenário base. B- Cenário 2019 estável. C- Cenário 2019 otimista. D- Cenário 2029 estável. E- Cenário 2029 otimista. F- Cenário 2029 muito otimista. G- Cenário 2039 estável. H- Cenário 2039 otimista. I- Cenário 2039 muito otimista.

5.4.3 Categorização dos dados

Para dados de uso do solo, como categorias de uso, empregos, renda, e outros foram buscados os dados da PDAD/DF (2013) e da PMAD/DF (2013). Estas pesquisas domiciliares são as mais atualizadas e completas, com dados coletados no Distrito Federal e nos municípios do Entorno que compõem a rede aqui modelada, por isso optou-se pela escolha destes dados para a execução deste trabalho.

Nas categorias foram usados os diferentes grupos de renda, usando como base a PDAD/DF (2013). O primeiro grupo é o de baixa renda com valores de até 1 salário mínimo, média baixa com renda entre 1 e 5 salários mínimos, média alta, entre 5 e 20 salários mínimos e alta renda com mais de 20 salários mínimos (Tabela 5.2).

Tabela 5. 2. Categorias de renda da área metropolitana do Distrito Federal (PDAD-2013)

Baixa renda	até 1 salário mínimo	5%
Média baixa renda	1 a 5 salários mínimos	59%
Média alta renda	5 a 20 salários mínimos	29%
Alta renda	acima de 20 salários mínimos	6%

Entre os modos de transporte utilizados no modelo, pode-se citar ônibus, metrô, VLT, BRT, carro e “carro mais” ou “carroM” se referindo ao carro com mais de um usuário, com média de 2 pessoas. Esta divisão entre os usuários do modo automóvel foi realizada com a intenção de detalhar o comportamento de dois perfis de usuários de automóvel. O usuário comum de automóvel, proprietário do veículo que usa para as atividades diárias, e o usuário que compartilha o automóvel com pessoas da vizinhança, devido a baixa acessibilidade da região que moram e até ausência de linhas de transporte coletivo. Esta divisão entre os usuários de carro pode ser feito no TRANUS, porque a seleção de modo é feito em conjunto com a alocação.

A tarifa de cada modo de transporte considerou os custos existentes para o período, e adequou com uma previsão de custo para os cenários futuros (PDTU/DF, 2010). No caso dos carros, foi colocado uma média de consumo de 10 km por litro de combustível e com um valor desse

último em R\$ 3,00 por litro, no cenário base, corrigindo pela média da inflação do referido ano para os cenários futuros.

No caso dos pedestres, foi estabelecido que eles possam transitar em qualquer via com exceção das vias exclusivas, como ocorre com o metrô, VLT e BRT. Para os demais modos, como descrito, VLT e metrô somente podem percorrer vias destinadas a esses modos, enquanto que o BRT tem seu trânsito permitido em sua via exclusiva e também em todas as vias compartilhadas autorizadas, como no caso do Eixo Monumental.

Para as transferências, foi considerada a inexistência de integração tarifária entre os modos de transportes, seguindo a Tabela, sendo cobradas todas as transferências, com exceção dos carros e pedestres, que são modos que não pagam taxas de embarque.

5.4.4 Criação dos setores

Os setores foram criados agrupando as principais características encontradas em AMB, como a forte presença de áreas destinadas à administração pública, tanto federal como distrital. O setor “solo” foi subdividido em residencial e comercial/industrial, tentando separar os valores existentes para essas áreas. Brasília por ser uma cidade setorizada, com tipologias de edifício e uso bem homogêneos, em especial na região central, possui zonas inteiras com usos exclusivamente comerciais/institucionais e residenciais. Outra característica foi a criação baseado nos lares de acordo com a classe de renda das famílias, exatamente igual ao citado anteriormente para as categorias, renda baixa, renda média baixa, renda média alta e renda alta. Os setores de emprego estão detalhados abaixo, foram criados um total de 11 setores visando representar a região estudada.

Para detalhar como foi feito este processo, foram agrupados os setores de emprego da PDAD 2013, que originalmente eram compostos por 25 setores, em cinco setores (Tabela 5.3). As categorias “agropecuária”, “construção civil” e “indústria” foram chamados de “Serviços Básicos”; as categorias “comércio”, “transporte e armazenagem”, “comunicação e informação”, “serviços domésticos”, “serviços pessoais”, “serviços creditícios e financeiros”, “serviços imobiliários”, “serviços de informática”, “serviços de arte e cultura”, “serviços esportivos ou recreativos” e “serviços gerais” foram agrupados como “Serviços e Comércio”;

“administração pública federal” e “administração pública distrital” foram agrupados como “Governo”, educação e saúde já estavam como setores separados no PDAD 2013.

Tabela 5. 3. Definições de setores no TRANUS com seus respectivos tipos e elasticidades

Tipo	Setor	Elasticidade	Exógeno
Atividades Econômicas	ServiçoBásico	0	Exógeno
	ServiçoComércio	0,7	
	Governo	0	Exógeno
	Educação	0,8	
	Saúde	0,7	
Famílias	Alta Renda	0,6	
	Média Alta Renda	0,7	
	MédiaBaixaRenda	0,7	
Solo	BaixaRenda	0,8	
	Solo Residencial	0	
	Solo Comercial/Industrial	0	

5.4.5 Dados Econômicos

As unidades usadas pelos setores foram retiradas da PDAD/DF (2013), que contém dados populacionais, de renda, entre outros. Como os dados fornecidos pela PDAD/DF (2013) são por RA e não era possível identificar o valor real de cada zona, foi dividido os valores de cada RA correspondente as zonas que a compõe. Foi dividido a área total da zona em valores para áreas com destino residencial e para comercial/industrial. Brasília, por ter setores com usos exclusivos para algumas atividades, apresenta algumas zonas com apenas um tipo de atividade, residencial ou comercial/industrial.

A informação do número de empregos por zona foi adquirida a partir do total de empregos citado no PDAD/DF (2013) por RA e então divididos pelo número de zonas por RA e os dados de emprego de cada RA foi dividido pelo total de zonas. O mesmo foi feito com as zonas correspondentes as cidades do entorno com relação aos dados de emprego da PMAD/DF (2013). Zonas que não apresentam solo destinado ao comércio ou indústria tiveram sua “cota” de empregos retirada e remanejada para as zonas remanescentes da mesma RA ou município.

Os valores do m² do solo de cada zona de cada RA foi adquirido via Índice FIPE-ZAP (2016). Esse índice informa a média de valor de venda por m² para cada RA do Distrito Federal, podendo ser dividido em comercial e residencial (Tabela 5.4). Para as cidades do Entorno que participam da análise também foi possível encontrar esses dados. No caso de algumas regiões que não apresentavam valores atualizados na FIPE-ZAP (2016), foi usado o valor da região mais próxima.

O Índice FIPE-ZAP (2016), que se baseia em dados de oferta de imóveis, tem uma amostra mais expressiva de imóveis da categoria residencial e comercial. Isso levou este trabalho a se concentrar nestas categorias de imóveis. Imóveis institucionais de propriedade do Estado e imóveis industriais não possuem uma movimentação transacional muito dinâmica, sendo vendidos ou leiloados mais raramente e com parâmetros próprios e diferenciados de precificação.

Outra característica importante para a modelagem é que os valores de venda foram reduzidos para valor de aluguel visando adequar a unidade da análise. Isso foi necessário porque o TRANUS trabalha com a unidade de tempo estipulada pelo modelador e é importante que as unidades estejam compatíveis.

Tabela 5. 4 .Valor monetário (Real) do aluguel por metro quadrado por região administrativa do Distrito Federal e de oito cidades do entorno

Cidade	Comercial/Ind.	Residencial	Cidade	Comercial/Ind.	Residencial
Asa Norte	88,00	89,00	Riacho Fundo II	48,00	25,00
Asa Sul	88,00	91,00	Samambaia N	25,00	24,00
Noroeste	71,00	99,00	Samambaia S	57,00	23,00
Sudoeste	84,00	94,00	Santa Maria	43,00	22,00
Setor Comercial Sul	38,00	38,00	São Sebastião	30,00	32,00
Setor Comercial Norte	93,00	93,00	Sobradinho I	26,00	25,00
Lago Sul	84,00	51,00	Sobradinho II	27,00	19,00
Lago Norte	77,00	47,00	Taguatinga N	56,00	28,00
Park Way	84,00	42,00	Taguatinga S	47,00	32,00
Paranoá	31,00	17,00	Arniequeiras	20,00	20,00
Núcleo Bandeirante	42,00	40,00	Taguatinga C	43,00	42,00
Jardim Botânico	31,00	35,00	Varjão	32,00	35,00

Itapoã	31,00	19,00	Vicente Pires	27,00	25,00
Recanto das Emas	33,00	22,00	V. Planalto	10,00	19,00
Aguas Claras	75,00	54,00	Estrutural	21,00	95,00
Brazlândia	34,00	13,00	Setor de Indústria e Abastecimento	39,00	27,00
Candogolândia	23,00	32,00	Ceilândia S	25,00	18,00
Ceilândia N	52,00	24,00	Aguas Lindas GO	12,00	16,00
Cruzeiro N	47,00	60,00	Sto Antônio do Descoberto GO	22,00	22,00
Cruzeiro V	23,00	57,00	Novo Gama GO	21,00	16,00
Gama C	41,00	30,00	Valparaíso GO	20,00	24,00
Guará I	61,00	51,00	Cidade Ocidental GO	10,00	26,00
Guará II	29,00	59,00	Luziânia GO	13,00	24,00
Planaltina	18,00	30,00	Planaltina GO	38,00	26,00
Riacho Fundo I	37,00	27,00	Formosa GO	35,00	35,00

Com os valores adquiridos do Índice FIPE-ZAP (2016) foi possível construir um mapa dos valores imobiliários médios das regiões do DF. A Figura 5.19 apresenta estes valores.

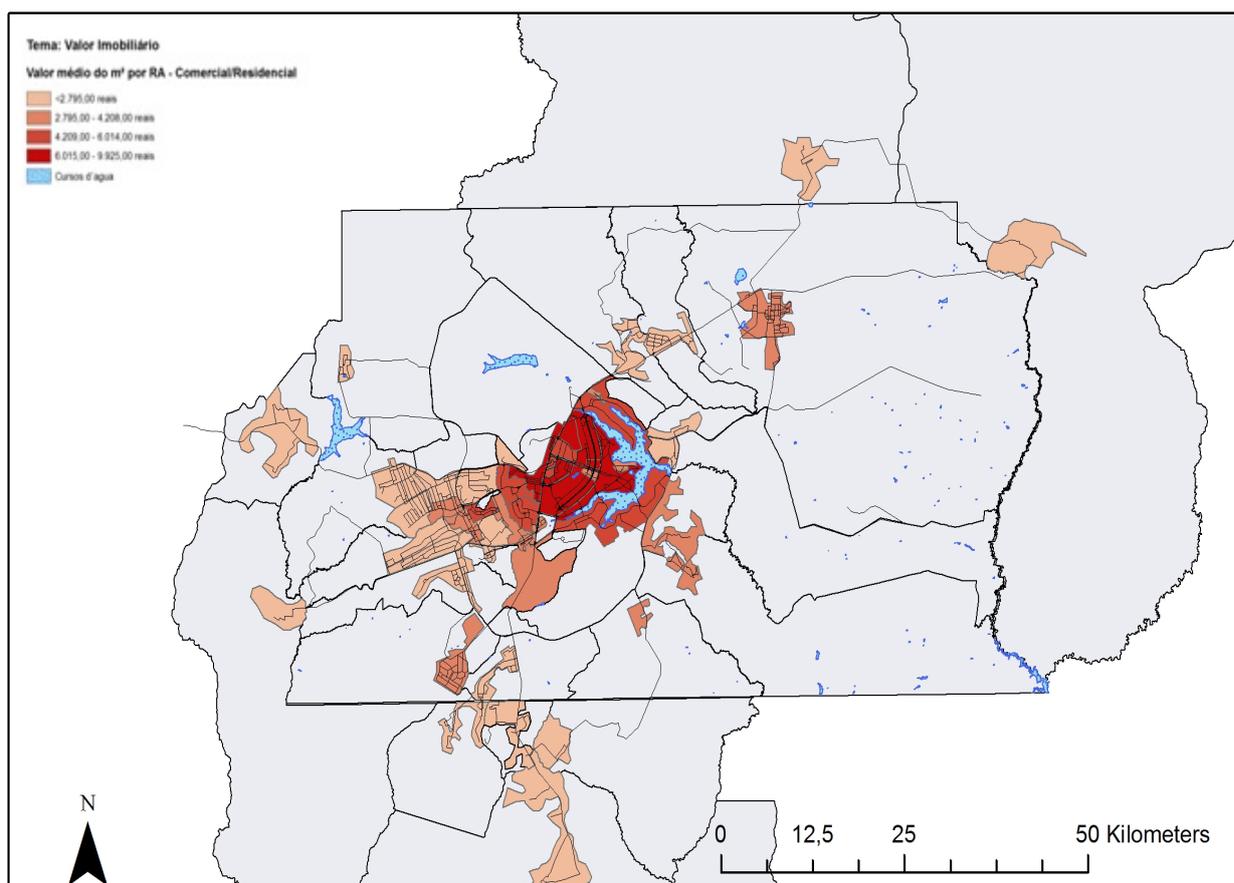


Figura 5. 19. Mapa do preço médio de venda do metro quadrado dos imóveis comerciais e residenciais de cada AMB em escala de cor (Elaboração própria)

5.4.6 *Inter-sectors*

O *inter-sector* se refere às relações entre os diferentes setores dentro do TRANUS. Como uso do solo pelo setor de comércio ou de moradia para as diferentes classes de renda, ou até mesmo pessoas para os empregos disponíveis.

No caso do *inter-sectors* de cada serviço com o solo do tipo comércio/indústria, foi calculado a densidade de cada emprego, serviço básico, serviço e comércio, governo, educação e saúde para cada zona de RA. O mesmo foi realizado para as moradias, foi considerado o número de pessoas por classe de renda pela área disponível para residência em cada zona de RA e município. Para esses valores de emprego e população por área de solo usado foi posto o

valor máximo e mínimo de densidade, sem uso de médias. O valor da elasticidade não pode ser superior que a demanda máxima ou menor que a demanda mínima (equação 1).

$$\text{Eq 1.} \quad c_j = \min_{ij} + (\max_{ij} - \min_{ij})x \exp(-\delta_{ij}U_i^n)$$

Para cada serviço foi calculado também o valor de demanda de cada serviço para as classes de renda, então foi dividido a população de uma zona de RA pelo número de empregos daquela mesma zona, devido a impossibilidade de distinção de cada classe para cada setor de emprego, foi feito uma média no final da análise. O contrário também foi feito, para cada classe de renda foi dividido o total de empregos por setor por cada classe de renda, novamente pela impossibilidade de distinção dos números em cada classe foi necessário o uso de médias ao final da análise. Os resultados com os valores utilizados dentro da matriz foram compilados na Tabela 5.5.

Tabela 5. 5. Matriz de *Inter-sector* no TRANUS, considerando que os valores de uso do solo na tabela usam média e não valores mínimos e máximos como na rede

Setores	Serviço Básico	Serviço e comércio	Governo	Educação	Saúde	Alta Renda	Média Alta Renda	Média Baixa Renda	Baixa Renda
Serviço Básico									
Serviço e comércio						0,2482	0,2482	0,2482	0,2482
Governo									
Educação						0,0154	0,0154	0,0154	0,0154
Saúde						0,0143	0,0143	0,0143	0,0143
Alta Renda	0,1553	0,1553	0,1553	0,1553	0,1553				
Média Alta Renda	0,6143	0,6143	0,6143	0,6143	0,6143				
Média Baixa Renda	1,1837	1,1837	1,1837	1,1837	1,1837				
Baixa Renda	0,1230	0,1230	0,1230	0,1230	0,1230				

A Figura 5.20 representa de forma resumida, por meio de fluxograma, a inserção do dados de uso do solo no modelo.

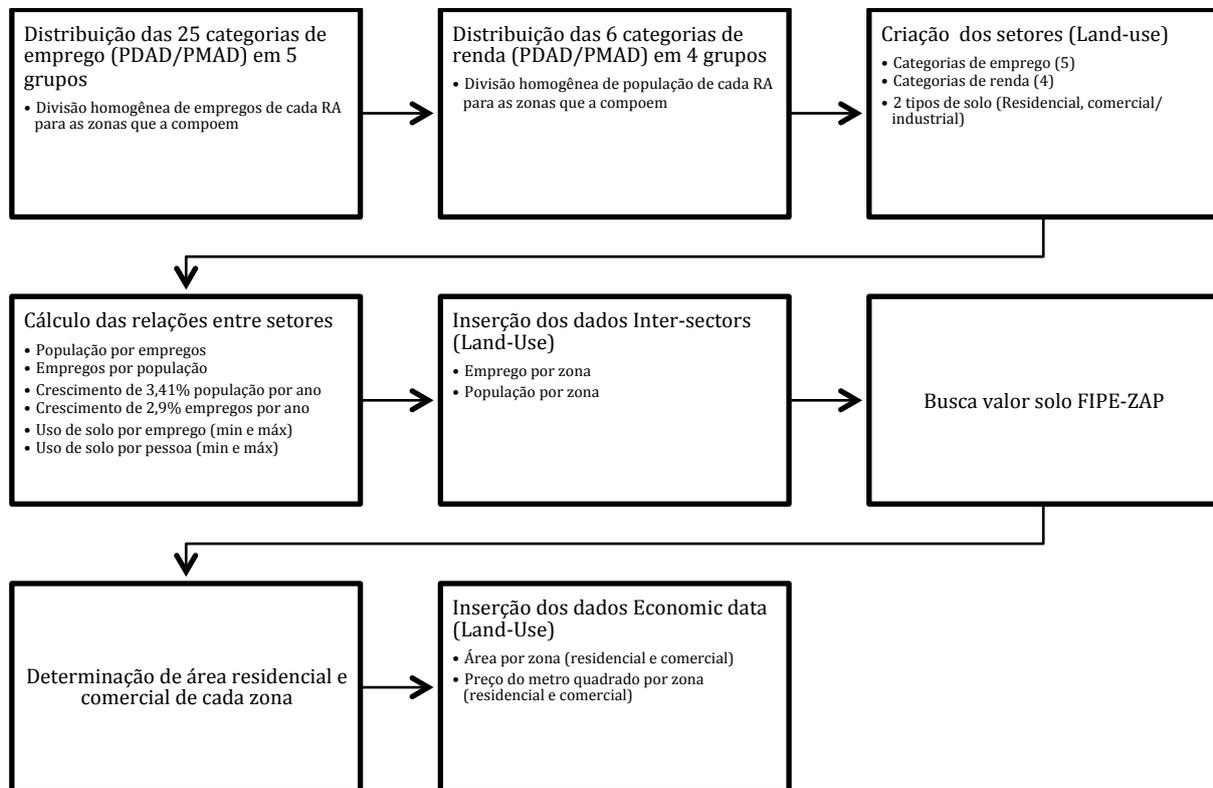


Figura 5. 20. Fluxograma da inserção dos dados de uso do solo e da edição dos dados do PDAD/PMAD

5.5. TÓPICOS CONCLUSIVOS

Esta sessão apresentou as principais especificidades do contexto urbano da rede modelada – área metropolitana do Distrito Federal. Para a aplicação do modelo é necessário o detalhamento da infraestrutura de transporte existente, os serviços de transporte ofertados e as características socioeconômicas e espaciais necessárias para a aplicação do modelo.

O propósito deste capítulo foi apresentar todas as etapas de aplicação do *software* detalhando-as. A descrição das etapas e detalhes da aplicação possibilita futuras auditorias e revisões, propiciando o aperfeiçoamento contínuo da rede modelada e o aprimoramento dos resultados.,

além de colaborar com a construção de novas redes em outros contextos urbanos, formalizando um exemplo.

Além disso foi exposto a sistematização dos dados coletados, a construção da rede de transporte e a definição das zonas de tráfego. O objetivo deste capítulo é detalhar o processo de aplicação na área de estudo e a definição dos cenários referencial e cenários futuros.

O seguinte capítulo discorrerá mais especificamente sobre os resultados da aplicação do modelo e as análises realizadas.

6. RESULTADOS E ANÁLISE DA APLICAÇÃO MODELO

6.1. APRESENTAÇÃO

Este capítulo apresenta os resultados da aplicação do TRANUS na área de estudo e a análise comparativa dos resultados obtidos com o modelo com o cenário referencial do PDTU (2010) e com o volume de veículos coletados em um dia típico de 2015.

As partes que compõem capítulo são: indicadores, análise comparativa do carregamento viário com o cenário referencial do PDTU (2010) e análise comparativa com o carregamento viário coletado em 2015.

6.2. INDICADORES

Para melhor leitura e análise dos números resultantes da aplicação do modelo, o *software* TRANUS apresenta uma lista de indicadores relacionando os resultados de transporte e uso do solo com os aspectos socioeconômicos. Além dos indicadores típicos do TRANUS outros indicadores podem ser construídos a partir dos resultados do modelo e não foram abordados neste trabalho. Um exemplo disso são os indicadores de impactos ambientais, que podem ser obtidos relacionando o volume de tráfego da rede fornecido pelo *software* TRANUS com as taxas médias de emissões de gases poluidores dos veículos, fornecido pelas entidades reguladoras.

Nesta pesquisa restringiu-se aos indicadores que permitiam realizar uma leitura da demanda do sistema de transporte urbano (público e privado) e sua relação com os aspectos socioeconômicos e de uso do solo da AMB. Para a seleção dos indicadores apoiou-se nos critérios de Litman (2009): compreensão, confiabilidade, disponibilidade, abrangência, comparabilidade, exclusividade, complementaridade, já tratados no capítulo 4.

Os indicadores aqui tratados são: taxa de saturação viária, viagens por categoria e modo, número de viagens totais realizadas e suprimidas, comprimento médio de viagem, tempo de viagem e custo médio de viagem por categoria.

6.2.1 Indicador 1: Taxa de Saturação Viária

A taxa de saturação viária corresponde a relação entre o volume de tráfego de todas as vias do sistema representadas na rede dividido pelas respectivas capacidades viárias. Este indicador revela o nível de serviço do sistema viário, expondo pontos críticos de congestionamento na rede.

As vias que apresentam a taxa de saturação acima de 1,0 possuem o volume de tráfego é maior que a sua capacidade, ou seja, estão 100% ocupadas e os veículos circulam com velocidade reduzida, formando congestionamentos.

As vias que apresentam a taxa de saturação entre 0,75 e 1,0 estão com um nível elevado de utilização (entre 75% e 100%) e apesar do volume de tráfego ainda ser menor que a capacidade deve-se considerar uma possível saturação devido as possíveis variações na concentração de fluxo e simplificações necessárias na modelagem.

As vias que apresentam uma taxa de saturação menor que 75% possuem uma capacidade projetada adequada ao volume de tráfego além de uma reserva de capacidade, que pode ser um estoque importante para demandas futuras.

As Figuras 6.1 e 6.2 apresentam em destaque os trechos onde a taxa de saturação viária resultantes da simulação do TRANUS se mostraram superiores a 75%. As vias da área central de Brasília e as vias que compõem a área urbana das regiões administrativas apresentaram menor grau de saturação viária do que as vias expressas que ligam das diversas áreas urbanas à área central, com alto nível de saturação. A análise deste resultado indica uma descentralização das vias propensas ao congestionamento. As vias EPIA Norte, EPIA Sul, EPCT (Pistão Norte e Sul), EPNB, Estrutural e as BR 040, BR 060 e BR 030 se destacam pelas altas taxas de saturação. As RAs que apresentam maior quantidade de vias com alta taxa de saturação são as que compõem a região de maior densidade populacional (Ceilândia, Taguatinga, Águas Claras e Vicente Pires).

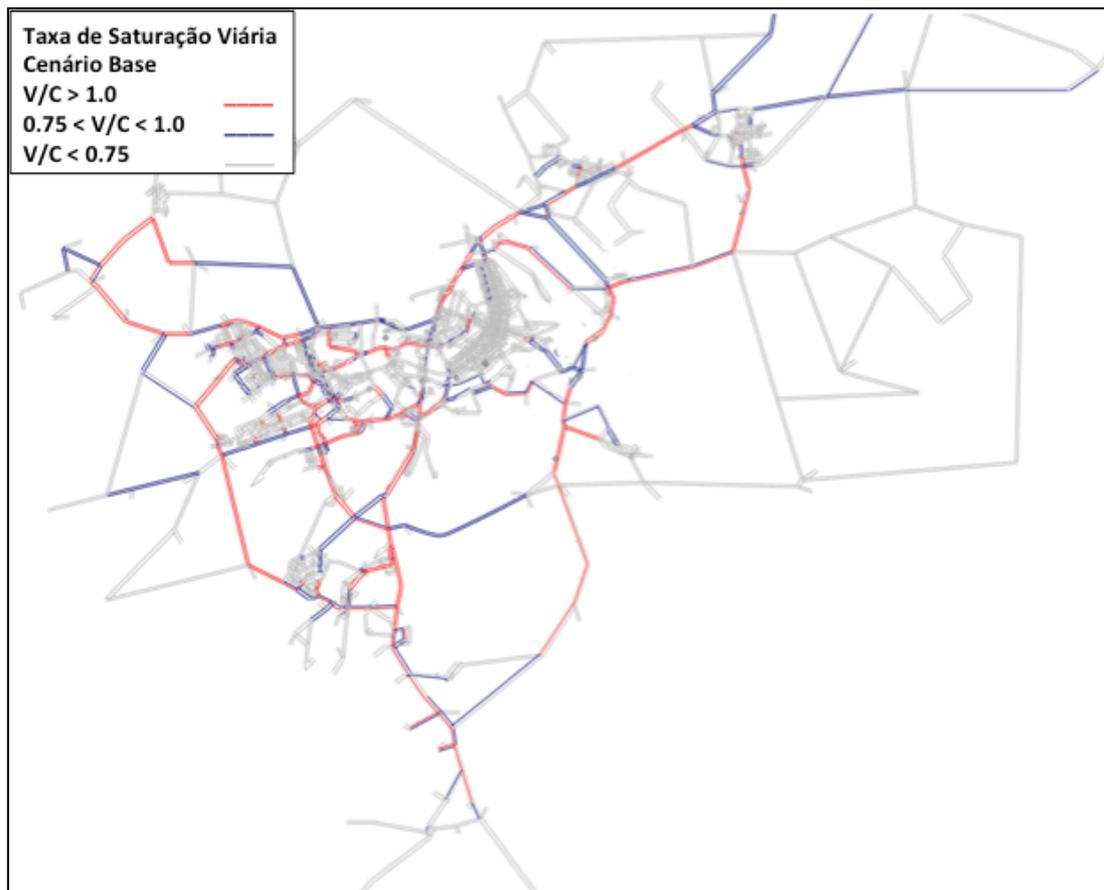


Figura 6. 1. Taxa de saturação viária pela modelagem no TRANUS

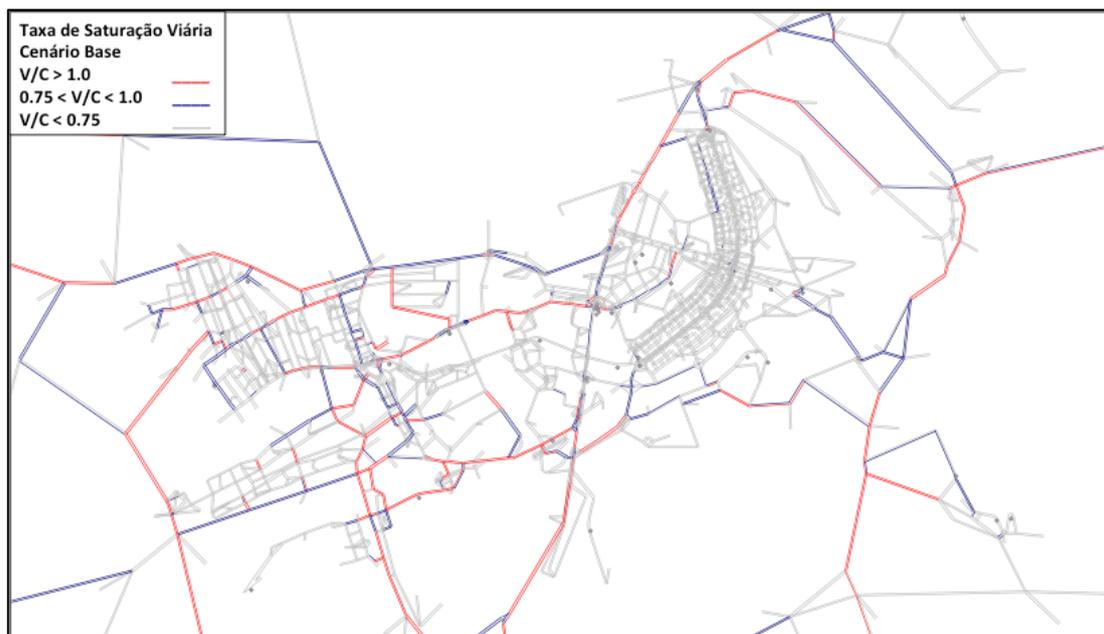


Figura 6. 2. Visão ampliada da taxa de saturação viária pela modelagem no TRANUS

O modelo indicou a saturação de alguns trechos viários que não apresentam um volume de tráfego maior que a capacidade real das vias, de acordo com os dados coletados informados pelo Detran e DER, que serão expostos mais a frente.

Estas distorções indicam a necessidade da calibração e refinamento do modelo para o lançamento de resultados mais precisos e cenários futuros mais realistas. Devido ao curto espaço de tempo e a dificuldade para a obtenção de dados mais detalhados, a calibração será realizada em estudos futuros para o aprofundamento das questões aqui iniciadas.

6.2.2 Indicador 2: Viagens por classe de renda e por modo

Em relação aos modos de transporte verifica-se que as opções por viagens a pé e por ônibus estão muito associadas à classe de renda, ou seja, o custo de viagem é a maior limitação de escolha do modo. A opção pelo ônibus está mais associada a viagens de maior comprimento, quando a opção por caminhar se torna inviável (Figura 6.3).

Viagens por metrô apresentaram números constantes independente da classe de renda. Tal resultado deve-se, provavelmente, a baixa oferta de linhas metrô pelo Distrito Federal, que não atendem as áreas urbanas da região norte, sul e leste do DF, limitando-se a Asa Sul do Plano Piloto e RAs da região oeste (Águas Claras, Taguatinga, Ceilândia e Samambaia). A oferta limitada de linhas do metrô desestimula seu uso por grande parte da população para seus deslocamentos diários.

Um fator que favorece o uso do metrô é o baixo tempo de espera, muito inferior aos tempos de espera dos ônibus. Esse modo também tem como vantagem não estar suscetível à congestionamentos, em especial, devido a circular em um eixo exclusivo (trilhos). Em cenários futuros, com a integração do metrô aos demais sistemas troncais propostos (BRT e VLT) espera-se que estas taxas referentes ao uso do metrô se elevem, favorecendo o serviço.

As viagens por automóvel também são nitidamente relacionadas à renda e apresentam valores altos até para a média baixa renda. Viagens de carro foram predominantes na classe alta (80,7%), reduzindo de acordo com a renda disponível, com 67,4% na classe média alta, 25,3% média baixa e 10% na classe baixa. O elevado custo desse modo o torna não atrativo

pelo seu custo-benefício. As taxas médias de custo de viagem de automóveis inseridas no TRANUS foram de R\$ 3,00 para cada 10 km (R\$ 0,30/km).

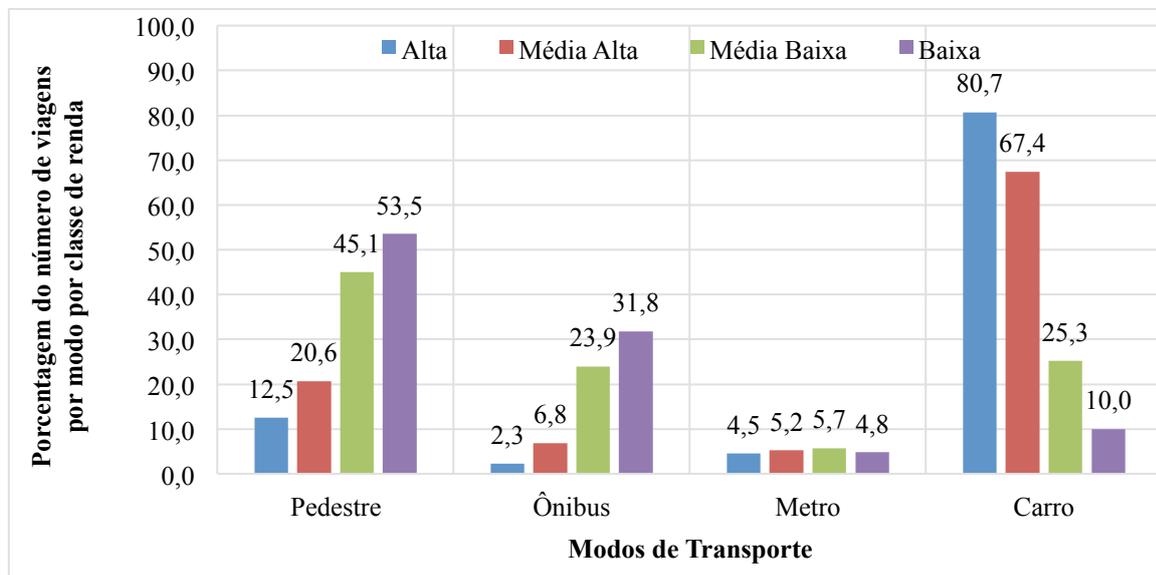


Figura 6. 3. Gráfico do número total de viagens de acordo com classe de renda e modo de transporte, resultante da modelagem do cenário base no TRANUS. (Elaboração própria)

Os resultados deste indicador certamente foram influenciados pela simplificação das linhas de transporte público coletivo, devido as restrições do *software*. Porém este dado também indica que a dispersão urbana e a baixa frequência das linhas de transporte público somadas aos intervalos elevados de espera levam potenciais usuários a evitar o transporte público quando podem o substituir pelo automóvel.

6.2.3 Indicador 3: Número de viagens totais, realizadas e suprimidas

Os resultados gerados pelos TRANUS para o número de viagens por modo e por classe de renda, indicam que a classe de renda média baixa se destaca em número de viagens, com 221.137,6 viagens (Figura 6.4). Parte desse resultado ocorre devido ao maior tamanho da população referente a esta classe de renda no atual contexto socioeconômico da AMB, onde 59% da população está classificada como de média baixa renda (PDAD, 2013).

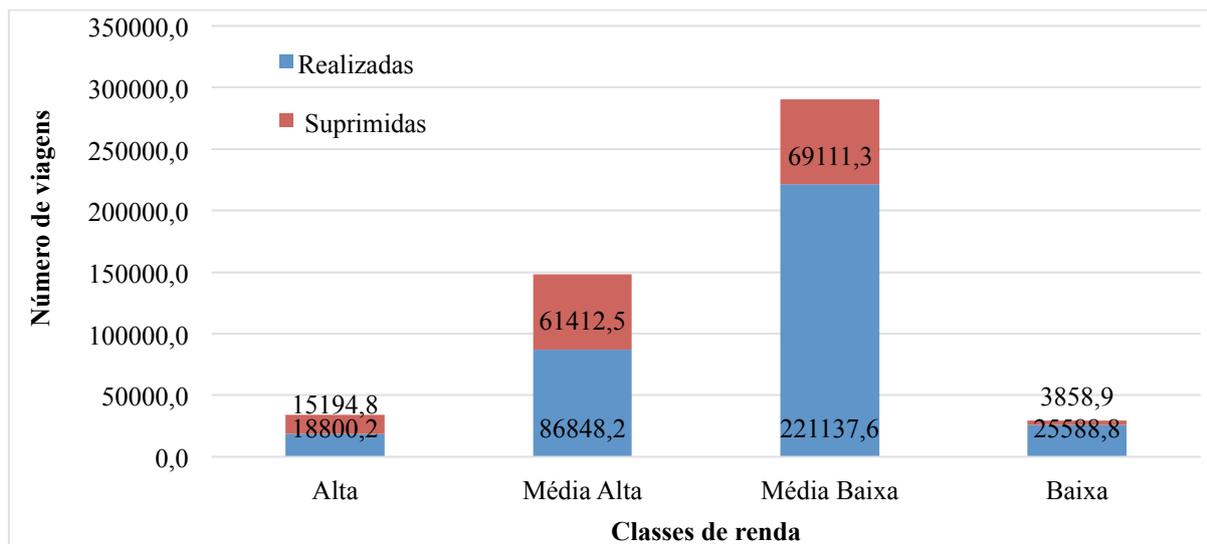


Figura 6. 4. Gráfico com número total de viagens resultante da somatória de viagens realizadas com viagens suprimidas de acordo com classe de renda, independente do modo (Elaboração própria)

As viagens suprimidas correspondem a faixa da demanda não atendida pelo sistema, independente do modo, devido a capacidade viária. Parte das viagens são remanejadas para outras vias menos congestionadas realizando outras rotas, porém o TRANUS define que parte dos usuários que não conseguem serem atendidos pelo sistema desistem de realizar a viagem. A análise deste indicador aponta que a população de alta renda e média alta renda, em termos proporcionais, são as mais afetadas pelos altos índices de congestionamento. Apesar disso o número de viagens suprimidas é maior na média baixa renda.

Uma das estratégias para adequação da rede importada são as alterações na capacidade dos *links* e no tamanho da frota para o controle da demanda o que pode causar um desequilíbrio do tamanho dos congestionamentos. Por isso os valores extremamente altos de viagens suprimidas também indicam que ainda existe a necessidade de calibração dos dados resultantes.

6.2.4 Indicador 4: Comprimento médio de viagem

É verificado que, quanto mais baixa a renda, maior o comprimento médio de viagem. Em parte, isso pode ser explicado pela distância da moradia do local de trabalho. As classes de

renda mais baixa estão aglomeradas em zonas urbanas mais afastadas do centro do Distrito Federal. Esta característica também pode ser definida como maior ou menor acessibilidade do território urbano, que leva os usuários a percorrer grandes distâncias para realizar as atividades cotidianas (Figura 6.5).

Os valores médios de comprimento de viagem encontrados nos resultados estão muito superiores aos esperados. Isso ocorre com o remanejamento de viagens realizado dentro do *software* para atender o máximo de usuários pela rede e evitar a supressão. Com isso o número de pessoas que optam por rotas alternativas aumenta e, conseqüentemente, o comprimento de viagem. Esses valores precisam ser ajustados na etapa de calibração para estar mais de acordo com a realidade e assim serem mais precisos.

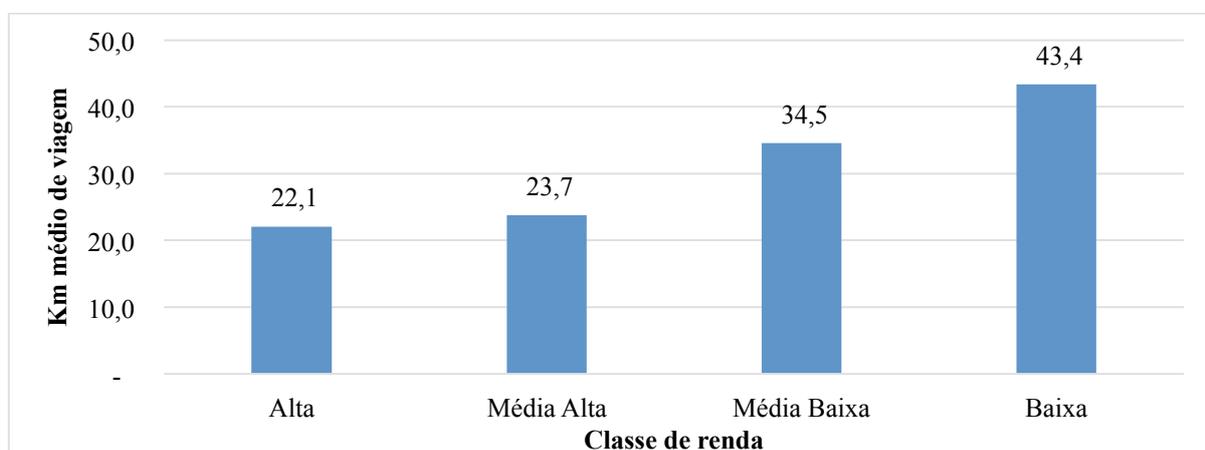


Figura 6. 5 Gráfico com comprimento médio de viagem em quilômetros rodados de acordo com classe de renda (Elaboração própria)

6.2.5 Indicador 5: Tempo de viagem

O tempo médio de viagem aumenta de acordo com a redução da renda. Este indicador está fortemente associado ao indicador comprimento médio de viagem. Maiores distâncias percorridas associada aos congestionamentos e a velocidade do transporte público elevam os tempos de viagem (Figura 6.6).

Da mesma forma que o remanejamento das viagens gera o aumento do comprimento médio de viagem afeta também o tempo de viagem. Os valores médios de tempo de viagem encontrados nos resultados estão também muito superiores aos valores esperados. Esses valores também precisam ser ajustados na etapa de calibração para se adequar aos valores reais.

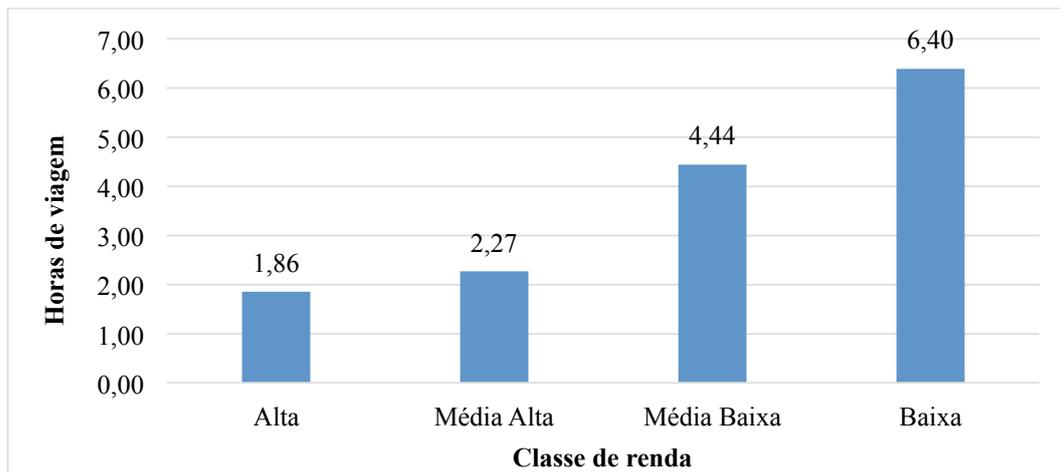


Figura 6. 6. Gráfico com horas de viagem de acordo com classe de renda (Elaboração própria)

6.2.6 Indicador 6: Custo médio de viagem por categoria

O custo gasto em viagens oscila de acordo com a classe de renda dos grupos estudados. A classe alta, como esperado, tem gasto superior com cada viagem, porém não muito maior, com R\$ 6,40, classe média alta com R\$ 6,30, classe média baixa com R\$ 5,90 e por último a classe baixa com R\$ 4,80. Essa diferença correlaciona com o potencial de consumo de cada classe, portanto sendo esperado tal resultado. A pequena diferença de consumo indica que, mesmo com a classe alta utilizando em maior quantidade o carro, o consumo fica próximo ao do transporte coletivo, indicando preços elevados no transporte público. Associando o custo médio de viagem com o poder de compra das classes de renda menos favorecidas observa-se uma desproporcionalidade de custo muito alto destas classes para acesso as mesmas atividades cotidianas, colocando-os em posição de desvantagem social (Figura 6.7).

Deve-se também se atentar para a questão do remanejamento de viagens realizado dentro do *software*. Da mesma forma que isto afeta o comprimento e tempo médios de viagem também

afeta os valores do custo médio de viagem por categoria. Esses valores precisam ser ajustados na etapa de calibração para estar mais de acordo com a realidade e assim serem mais precisos.

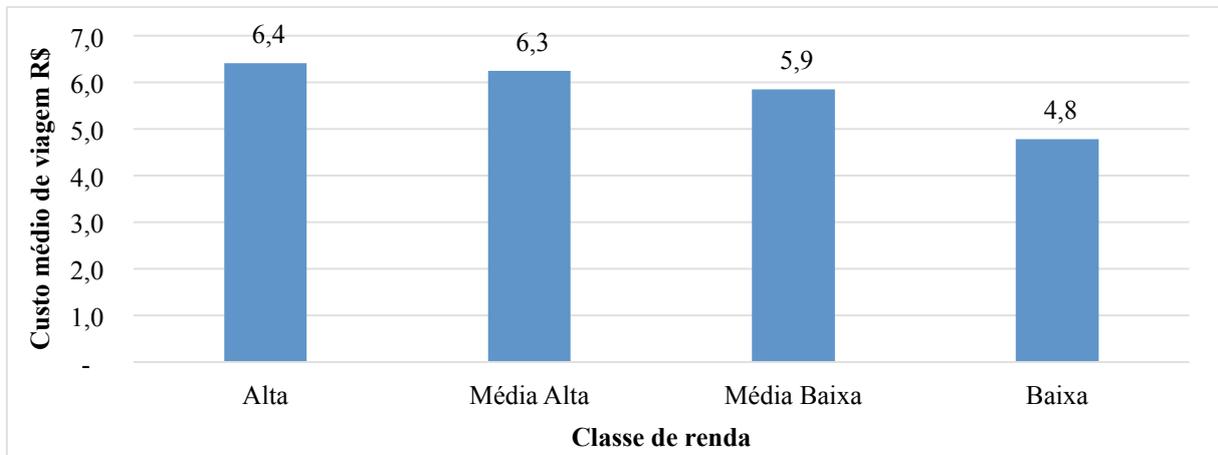


Figura 6. 7. Gráfico com custo médio (em reais) de viagem por classe de renda (Elaboração própria)

6.2.7 Análise geral dos indicadores

Todos os indicadores apontam para os mesmos desafios na construção de um sistema de transporte urbano mais eficiente e dinâmico.

Em relação as classes de renda nota-se que os congestionamentos e baixas frequências do transporte público afetam fortemente os mais pobres, apesar da taxa de supressão de viagens ser proporcionalmente superior entre as faixas mais ricas. As faixas de renda mais baixas também perdem mais tempo e percorrem distâncias maiores para realizar as atividades cotidianas e, proporcionalmente ao poder de compra, possuem custos muito elevados para realizar as mesmas atividades que as demais classes de renda. Portanto todos esses indicadores ressaltam a limitação das pessoas de menor renda, ou seja, as dificuldades que encontram para a ascensão social e acesso a serviços e atividades cotidianas, além do cansaço físico e psíquico ao realizar as viagens diárias, relatadas por vários usuários do sistema.

Outra evidência da análise dos indicadores é a necessidade de calibração dos resultados. Os valores de comprimento, tempo e custo médio de viagem estão muito elevados, não correspondendo aos valores reais. Estes resultados precisam ser ajustados para a continuidade do processamento dos cenários futuros, alcançando assim maior precisão.

6.3. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS RESULTADOS DA MODELAGEM E OS DADOS DO PDTU (2010)

Na elaboração do Plano Diretor de Transporte Urbano e Mobilidade do Distrito Federal – PDTU/DF (2010) foi produzido um modelo da rede de transporte do DF pela equipe técnica de produção do plano. Esta rede de transporte foi modelada com o *software* EMME, um dos *softwares* de modelagem em quatro etapas mais consolidados do mercado e mais usados no planejamento de transporte. Com os dados de entrada fornecidos e o modelo construído e calibrado foi possível caracterizar a situação real do carregamento viário do transporte individual e coletivo e avaliar cenários futuros.

A partir deste diagnóstico foi possível simular diferentes cenários futuros adequando as matrizes às diversas intervenções propostas além das progressões demográficas e socioeconômicas. A rede de transporte, que compreende a infraestrutura do sistema viário da área de estudo do PDTU/DF, foi alimentada com as matrizes de viagens resultantes da Pesquisa Domiciliar OD 2009.

Os resultados do modelo foram representados no PDTU/DF (2010) por meio do mapa de carregamento viário. Esta representação mostra separadamente a situação do ano base (2009) do transporte público coletivo e do transporte individual para a AMB. Os carregamentos permitem identificar os eixos (infraestrutura viária) de maior fluxo, tanto para o transporte público coletivo como para o transporte individual.

A atividade de carregamento constitui a etapa final do processo de simulação, quando ocorre a alocação às redes analíticas das viagens do transporte coletivo e individual para o horário de pico da manhã.

O mapa de carregamento viário do transporte coletivo do PDTU/DF (2010) apresenta as grandes vias expressas do DF, também denominadas Estradas Parques, como os *links* mais críticos da rede. Estas vias concentram o maior volume da demanda. Este efeito pode ser explicado pela distribuição dos assentamentos urbanos no DF, bastante segregada, e com grande concentração de atividades na área central do Plano Piloto.

Os maiores carregamentos observados no mapa de carregamento viário de transporte coletivo do PDTU/DF (2010), estão na EPIA (trecho sul e norte), EPTG, EPCL (Estrutural), EPNB, EPCT (Pistão Sul e Norte) e EPJK (Ponte JK). Os resultados apresentados também mostram o elevado carregamento viário nas vias expressas e arteriais da área central do Plano Piloto: Eixo Monumental, Eixo Rodoviário, Eixo L, Eixo W, vias W3, L2 e L4 (Parque das Nações).

Os resultados da aplicação do TRANUS também são representados por meio do mapa de carregamento viário. Foram igualmente separadas a representação da situação do ano base (2009) em dois mapas, um do transporte público coletivo e outro do transporte individual. Os mapas dos carregamentos viários produzidos com o TRANUS também identificam os eixos viários de maior fluxo, tanto para o transporte público coletivo como para o transporte individual.

Os mapas de carregamento viário produzidos com o TRANUS também apresentam as grandes vias expressas do DF como os *links* mais críticos da rede. Estas vias concentraram da mesma forma os maiores volumes da demanda (Figura 6.8).

Os maiores carregamentos observados nos mapas de transporte coletivo, também estão na EPIA (trecho sul e norte), EPTG, EPCL (Estrutural), EPNB, EPCT (Pistão Sul e Norte) e EPJK (Ponte JK) e nota-se grande carregamento viário também nas vias arteriais da área central do Plano Piloto: Eixo Monumental, Eixo Rodoviário, Eixo L, Eixo W, vias W3, L2 e L4 (Parque das Nações).

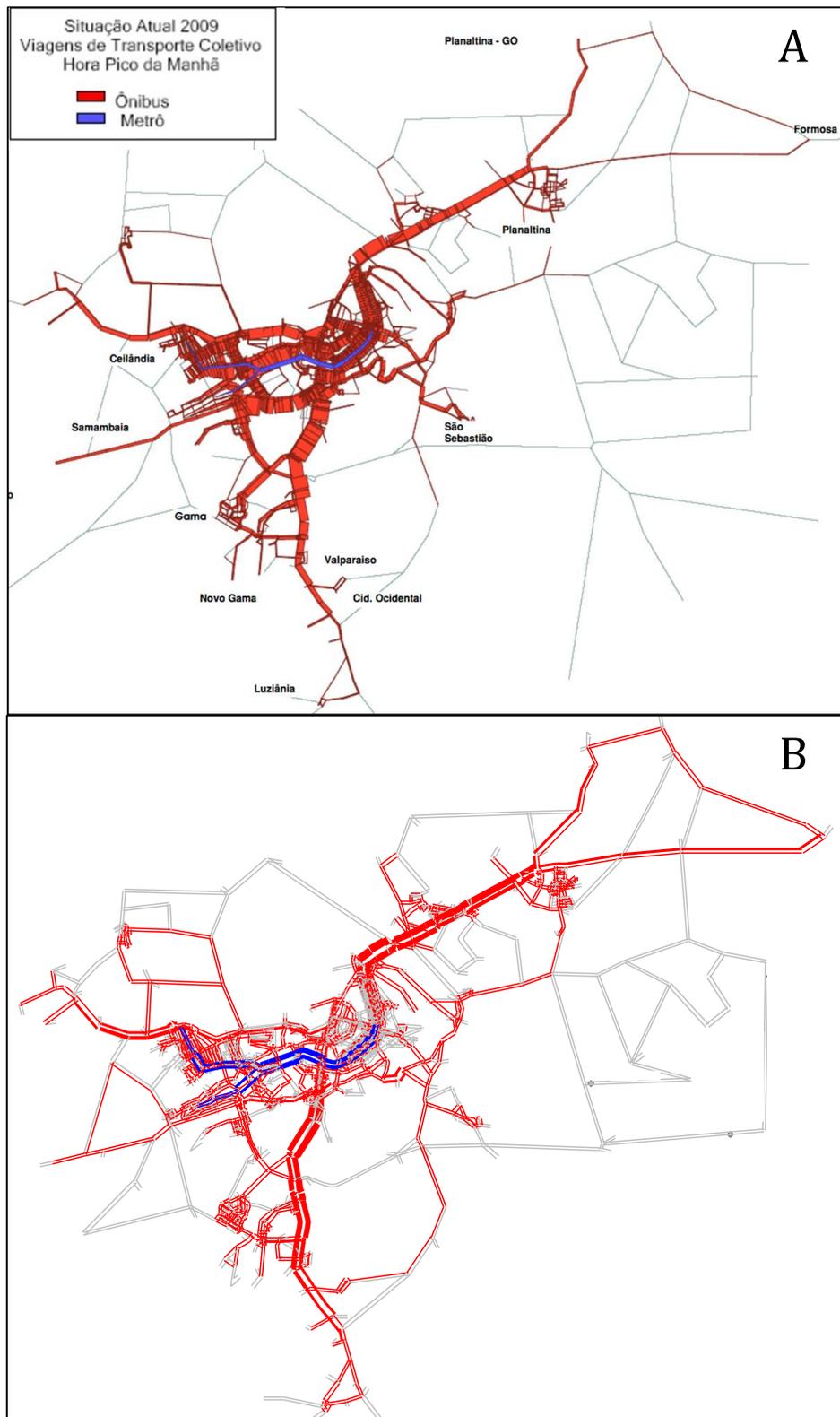


Figura 6. 8. A - Carregamento da rede de transporte público coletivo apresentado no PDTU/DF (2010) executados com o *software* EMME. Situação do ano base (2009) - passageiros na hora pico da manhã. B - Carregamento da rede de transporte público coletivo

executado com o *software* TRANUS. Situação do ano base - passageiros na hora pico da manhã

Ao ampliar a escala de visualização dos mapas do transporte coletivo dos dois modelos, aproximando-se da área mais densamente urbanizada, verifica-se que os números que representam os volumes de veículos nas vias urbanas não possuem grande proximidade numérica, ou seja, a aplicação do modelo TRANUS apresentou resultados de carregamento viário bem distintos aos apresentados pela aplicação do modelo EMME no PDTU/DF (2010). Esta variação confirma que, apesar da aparente similaridade de volume nas duas simulações, é necessário a calibração dos resultados obtidos na modelagem do cenário base no TRANUS para dar prosseguimento na determinação da demanda dos cenários futuros (Figura 6.9).

Na comparação entre os dois mapas do carregamento viário do transporte individual com o mapa do carregamento viário do EMME, nota-se no mapa resultante da aplicação do TRANUS uma marcação vermelha que representa um volume de viagens expressivo nas vias representadas do sistema. Esta representação se diferencia do mapa correspondente do PDTU/DF (2010), que apresenta coloração vermelha apenas nas vias de grande movimento. Isto pode ter ocorrido devido a critérios da equipe de modelagem que produziram o estudo para o PDTU/DF (2010) ou devido ao próprio *software* que pode “filtrar” apenas os carregamentos maiores que um determinado volume expressivo. O EMME tende a subestimar caminhos alternativos por causa da “equilibrium assignment” enquanto o TRANUS faz uma alocação mais distribuída (Figura 6.10).

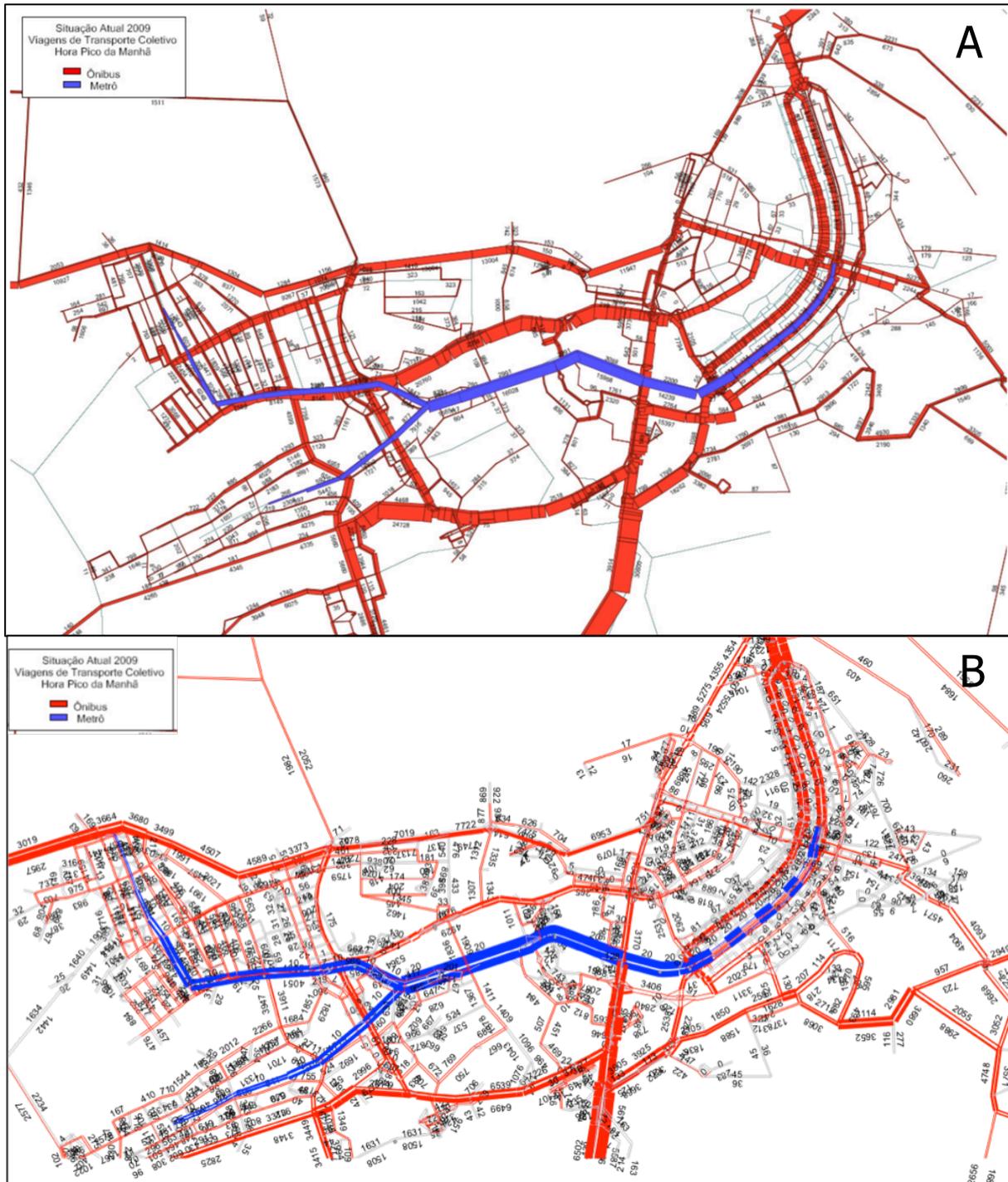


Figura 6. 9. A - Visão ampliada do carregamento da rede de transporte público coletivo apresentado no PDTU/DF (2010) executados com o *software* EMME. Situação do ano base (2009) - passageiros na hora pico da manhã. B - Visão ampliada do carregamento da rede de transporte público coletivo executado com o *software* TRANUS

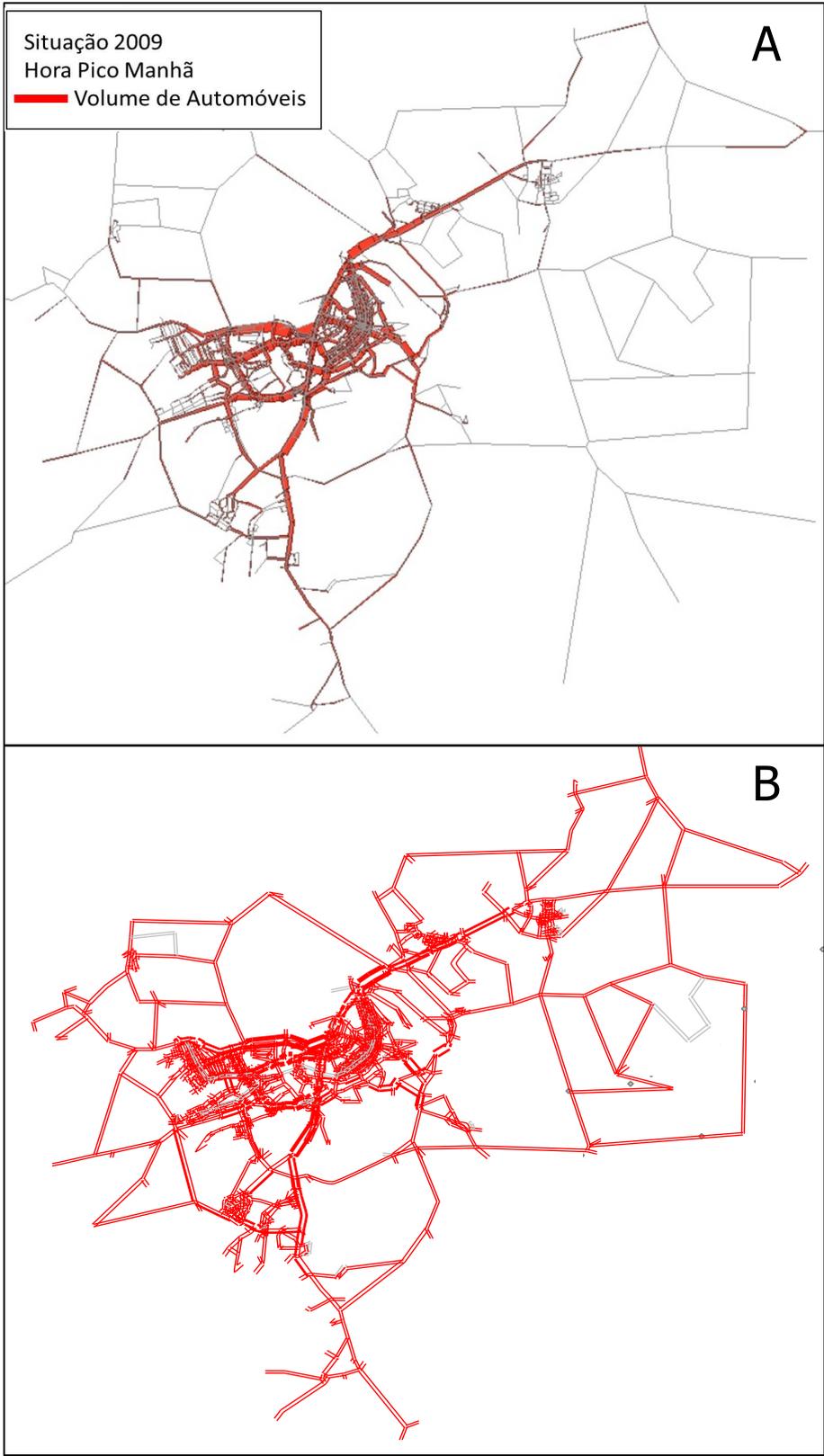


Figura 6. 10. A - Carregamento da rede de transporte individual executado com o *software* EMME. Passageiros na hora pico da manhã – situação ano base 2009 (PDTU/DF, 2010). B -

Carregamento da rede de transporte individual executado com o *software* TRANUS

Os carregamentos colocam em posição de destaque para o transporte individual as vias expressas EPIA, EPCL, EPTG, EPIG, EPNB, EPAR, EPNB, EPCT e suas continuidades, rodovias interestaduais. As vias inseridas na área central do Plano Piloto de maior carregamento são o Eixo Rodoviário, Eixo L, Eixo W, Eixo Monumental, via W3, via L2. As vias Av. Hélio Prates, Av. Comercial, Samdu, Av. Central, Av. Elmo Serejo, em Taguatinga e Ceilândia, além dos acessos as demais cidades também apresentaram carregamentos relevantes.

A análise destes carregamentos do ano base são muito importantes para o planejamento dos transportes. Estas análises permitem inferir sobre as vias que se destacam como corredores estruturantes. O entendimento sobre as vias com maiores carregamentos permite caracterizar a estrutura principal do sistema de transporte e justificar o tratamento prioritário para o transporte coletivo e a implantação de intervenções viárias para descongestionamento do trânsito.

Pode-se concluir desta análise comparativa que a aplicação do modelo integrado de uso do solo e transporte alcançou, sem a inserção de matrizes de origem e destino, resultados similares de carregamento em relação aos encontrados no modelo para o PDTU/DF (2010). Apesar da similaridade, os números correspondentes aos valores volumétricos estão bem distintos, reforçando a necessidade de calibração do cenário base para processamento dos cenários futuros com maior precisão.

6.4. ANÁLISE COMPARATIVA DA MODELAGEM COM OS DADOS DE CONTAGEM VOLUMÉTRICA DE VEÍCULOS EM DIA TÍPICO

O principal conjunto de dados disponíveis para comparação e validação do modelo proposto neste trabalho são os dados de contagem volumétrica de veículos. Estes dados quantitativos são coletados por meio dos radares de fiscalização eletrônica dispersos pela cidade (Figura 6.12).

Os radares são instalados em pontos estratégicos das vias para a fiscalização eletrônica, mas também realizam a contagem volumétrica dos veículos que circulam pelas vias categorizando, inclusive, por tipo veicular (veículos pequenos, médios, grandes e motocicletas).

Estes dados são armazenados e processados pelos DER-DF e DETRAN-DF para auxiliar na gestão e planejamento e foram disponibilizados por meio dos relatórios de contagem volumétrica por porte veicular. Os órgãos de fiscalização lançam regularmente relatórios do volume de veículos por hora para o monitoramento do trânsito. O relatório disponibilizado pelos órgãos continha os números relativos ao mês de outubro de 2015. Para esta pesquisa foram segregados os dados de volume viário dos radares dispersos pelas principais vias no horário pico da manhã, das 06h00m às 09h00m do dia 01 de outubro, uma quinta-feira.

No Distrito Federal as vias expressas de caráter rodoviário são geridas pelo DER-DF (EPNB, EPTG, EPIA, etc) e as vias de caráter mais urbano são geridas pelo DETRAN-DF (W3, W5, L2, etc). Não seria prudente considerar apenas os dados das vias geridas pelo DER-DF, visto que algumas vias de carregamento expressivo como as vias Eixo Monumental, Eixo L, Eixo W e L2 e W3 são muito importantes na distribuição de viagens. Optou-se portanto por usar os dados dos relatórios dos dois órgãos para o mesmo dia e horário. A Figura 6.11 apresenta a localização dos radares usados para a comparação do cenário referencial proposto com o modelo.

Os radares que foram selecionados para contagem volumétrica nesta pesquisa estão localizados em trechos próximos a intersecções movimentadas das principais vias da rede viária nos dois sentidos das vias. Os radares selecionados para a comparação estão no Eixo Monumental, Eixo Rodoviário Sul e Norte, EPIA, EPTG, EPGU, EPNB, EPCT (“Pistão Sul e Norte” e outros trechos), EPDB, EPNA, EPCL (Estrutural), W3 Sul e Norte. O local destes radares são indicados nos relatórios do DETRAN e DER pelo quilômetro da via, sentido e pontos de referência. Para posicionar o local exato dos radares no mapa fez-se uso do recurso “*Street View*” do Google Earth© e com isso os pontos foram posicionados georeferenciados no mapa (Figura 6.11).

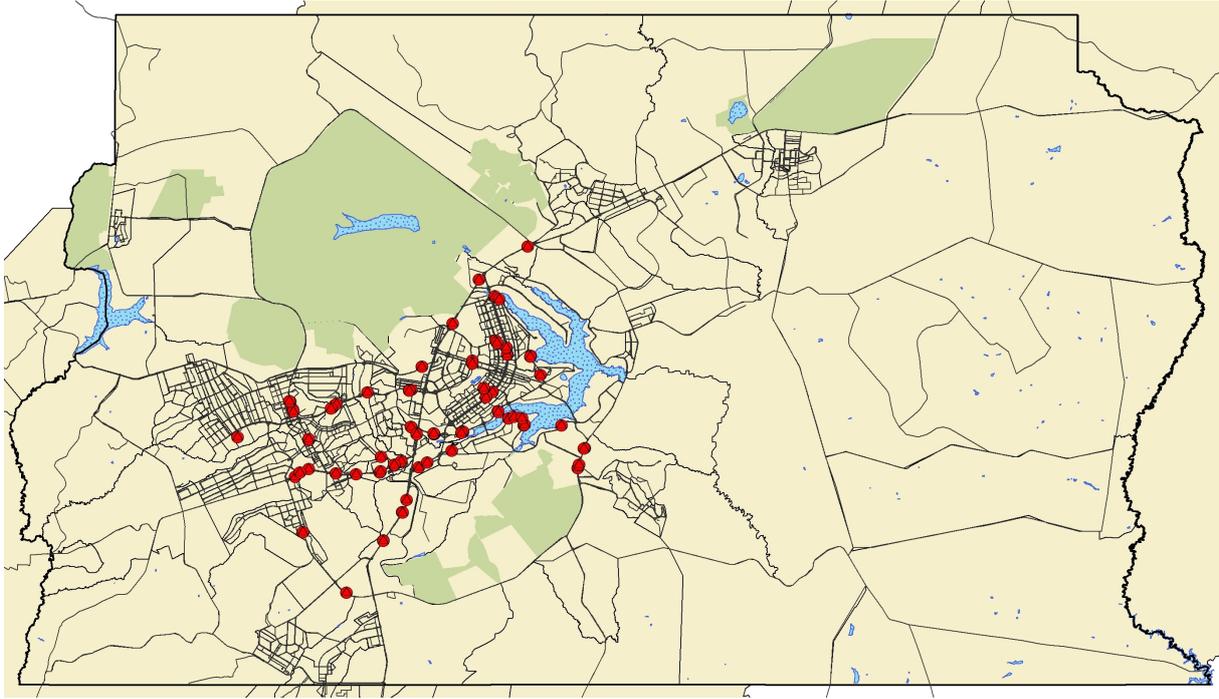


Figura 6. 11. Posições georeferenciadas dos radares com informações para calibração do cenário base (Elaboração própria)

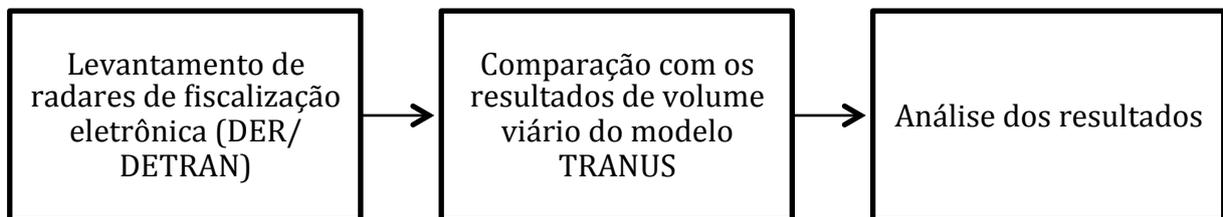


Figura 6. 12. Fluxograma do processo de calibração e análise dos resultados da rede de Brasília no programa TRANUS

Ao comparar os volumes de carregamento lançados com a modelagem no *software* TRANUS como os volumes constatados pelos radares verifica-se muitas incompatibilidades entre os valores, apesar de haverem resultados similares em alguns pontos (Figura 6.13).

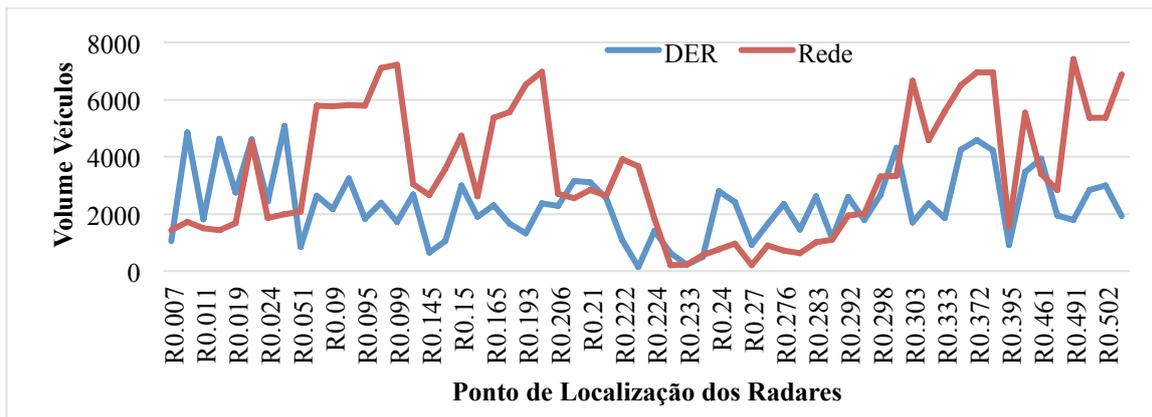


Figura 6. 13. Gráfico dos dados de contagem volumétrica do DER com os dados de volume resultantes da análise do TRANUS. (Elaboração própria)

Os valores resultantes da modelagem da rede apresentaram-se maiores que os constatados no radares em vários pontos e isto indica que há aspectos ou elementos da rede modelada que precisam ser refinados, atualizados ou revistos.

A variação volumétrica entre os valores do modelo e os valores coletados pode ser resultado de eventos atípicos não observado e até fenômenos naturais. Pode ser também que os dados de entrada de uso do solo lançados no modelo estejam superestimados em algumas zonas de tráfego. Alguns tipos de erros na rede podem ter passados despercebidos, como *link-types* diferentes ou desatualizados da real capacidade disponível nas vias. Dados socioeconômicos, como a distribuição dos grupos de renda e dos empregos pelas zonas de modelagem, também podem estar em inconformidade com o que ocorre na realidade.

Para a análise estatística e confirmação se a rede resultante está destoante de forma expressiva da contagem volumétrica de veículos foi realizado o *teste t*. Os dados utilizados para a análise estatística foram transformados pela formula abaixo: a diferença porcentual entre o valor do radar e o valor identificado na simulação do TRANUS. Sendo *y* o valor do volume registrado no radar, *z* o valor do volume projetado pelo TRANUS, *N* o maior valor entre os dois (*y* e *z*).

$$\text{Eq 2. } X = \left(\left| \frac{y-z}{N} \right| \right) * 100$$

Em seguida foi realizado o *test t* considerando cada um dos 60 radares como uma repetição. Para 5% de significância foi rejeitada a hipótese de 20% de divergência entre os valores da contagem volumétrica e a simulação segundo o teste t, indicando a necessidade de calibração (Tabela 6.1).

Tabela 6. 1. Teste-t: duas amostras presumindo variâncias diferentes

Teste-t: duas amostras presumindo variâncias diferentes	
	<i>Variável 1</i>
Média	45,63627432
Variância	610,5801375
Observações	60
Hipótese da diferença de média	20
gl	59
Stat t	8,036356592
P(T<=t) uni-caudal	2,37481E-11
t crítico uni-caudal	1,671093032

Todos estes dados, assim como os parâmetros de modelagem precisam ser revisados na etapa de calibração do cenário base. A etapa de calibragem é a etapa onde ocorre o refinamento dos dados, parâmetros e coeficientes usados nas equações matemáticas e algoritmos do modelo.

Para a melhor calibração dos resultados do cenário base é importante a apuração de dados mais detalhados de cada zona. Para esta modelagem inicial foram usados dados da PDAD 2013 e PMAD 2013 elaborados pela CODEPLAN. Os dados coletados destas duas bases são segregados por região administrativa ou por município, não detalhando a dinâmica interna das quadras e bairros que formam as zonas das cidades e isso é negativo para a elaboração do modelo porque homogeneiza zonas dentro de uma mesma região que possuem características distintas.

Outro dado que pode favorecer a calibragem da rede é o levantamento mais preciso da densidade de empregos e habitação. Os dados disponibilizados pela Secretaria de Gestão do Território e Habitação (SEGETH) só informavam as características dos lotes e os coeficientes construtivos, ou seja, o que a legislação permite para a ocupação de cada lote. Não há nestes dados a real área construída de cada zona destinada a comércio, serviço, indústria, habitação e instituições. As bases de dados do IPTU, processados e armazenados pela Secretaria de Fazenda do Governo do Distrito Federal, estão passando por compatibilizações e não foram

disponibilizadas a tempo para realização da calibração deste trabalho. Estes dados, quando disponíveis, serão fundamentais para a calibração do modelo e refinamento do cenário base ou referencial.

Com o refinamento da rede no cenário base será possível projetar cenários mais confiáveis e precisos, ou seja, quanto mais próximo da situação real estiver o cenário base mais consistentes serão os resultados dos cenários futuros, tanto tendenciais quanto desejados. Colaborando assim com o planejamento a curto e a longo prazo, para a tomada de decisões mais assertivas e que promova mudanças mais positivas, equilibradas, consistentes e menos desperdícios ou investimentos equivocados.

7. CONCLUSÕES

7.1. LIMITAÇÕES DE PESQUISA

Durante o processo de importação¹ e adequação da rede elaborada para o Distrito Federal no PDTU/2010 com os *softwares* EMME (INRO) e VISUM (PTV) para o *software* TRANUS, foram identificados várias falhas. Algumas delas associadas com as divergências dos formatos dos dados e outras com a forma em que os dados são lidos ou com a limitação de algumas funções do TRANUS. Algumas adequações dos dados foram necessárias para inserção no TRANUS, porém o objetivo originalmente era a alteração mínima para comparação direta com os resultados do modelo quatro etapas do EMME.

Uma das observações feitas durante o desenvolvimento desse trabalho foi a complexidade de realização da importação dos dados da rede do PDTU/2010. O procedimento, repetido diversas vezes durante o desenho da rede, se mostrou trabalhoso por não existirem moldes com sugestão ou indicação do formato necessário para entendimento do TRANUS, obrigando a transformação dos dados entre vários formatos. Para exemplificar o problema descrito, as coordenadas geográficas dos nós e centroides de zonas causaram perturbações no momento do cálculo de tamanho dos *links*, levando a necessidade de correção tardia dessa informação. Outra complicação ocorreu durante a importação das rotas, que não identificavam a sequência dos *links* que compunha o itinerário, inviabilizando o percurso. Diversas rotas que constavam sem erros na rede inicial, ao serem importadas para o TRANUS tornaram-se truncadas, ou seja, a continuidade da rota, nó a nó não foi constante. Todas estas dificuldades para entender os erros, suas consequências e realizar as correções em uma rede grande como a do Distrito Federal, foram desafios superados com muito trabalho.

Problemas decorrentes de erros durante o processamento da rede também se tornaram um inconveniente, alguns dos erros durante a validação pelo comando “Validate” e até mesmo rodagem dos resultados foram difíceis de entender. Como recomendação dos desenvolvedores, o uso do fórum (<https://groups.google.com/forum/#!forum/tranus>) se tornou um forte aliado, porém não substitui uma lista de erros e possíveis correções. Alguns dos

¹ O termo importação refere-se a transferência de dados de um modelo já aplicado em outro *software* para o novo *software* aqui utilizado, o *software* TRANUS.

erros que ainda não haviam sido solucionados durante a finalização deste trabalho, levantam a necessidade de um “*by-pass*” para que esses erros sejam ignorados e a rede processada.

O problema do sistema de transporte público do Distrito Federal possuir muitas linhas diretas e não integradas levou ao excesso de linhas, frequentemente muito similares ou duplicadas, com frequências insignificantes que podiam levar à “ruídos” no processamento do modelo TRANUS. As vias com o problema de rotas mais crítico como EPNB, EPIA, W3 Sul, Eixo Monumental por exemplo, tinham originalmente mais de 200 rotas por *link*. Para solução do problema foi feito a fusão de rotas baseado na similaridade de itinerário delas e fusão de linhas correspondentes a ida e volta, as quais originalmente são separadas.

A inserção dos dados de uso do solo também apresentaram algumas dificuldades, em parte pelas poucas fontes de dados disponíveis para essa análise. Como descrito anteriormente no capítulo 5, o PDAD-DF (2013) fornece os dados divididos por RA, dificultando por exemplo a divisão dessa informação pelo número de zonas que representam uma mesma RA na rede. O ideal seria que os dados das RAs também fossem divididos em áreas homogêneas, visto que em uma mesma RA apresentam-se zonas com características bem distintas. O primeiro desses problemas foi a descrição de empregos e população por zona de RA. Como citado, os empregos são distribuídos por RA e não de forma mais específica. Como cada RA é representada em um número variável de zonas, a distribuição desses empregos se torna uma atividade empírica, dificultando a aplicação de uma distribuição mais próxima do real. Esse problema foi mais claro em RAs com zonas rurais e urbanas, onde as densidades variam vertiginosamente entre cada zona. Quanto a população, ocorreu a mesma situação dos empregos, sendo distribuídos uniformemente entre as zonas de uma RA e não refletindo a realidade com perfeição.

Nas proporções em “*Inter-Sectors*” também ocorreram problemas devido a área de abrangência dos dados são apresentados no PDAD/DF (2013), homogeneizando as zonas internas das regiões administrativas e municípios. Nas equações de proporção de categoria de emprego por categoria de renda, não foi possível realizar tal cálculo, pois, os empregos são por RA e não por classe de renda segundo o PDAD/DF (2013). Para realização desses cálculos, uma média foi feita com os valores totais, não podendo discriminar com maior precisão essas proporções.

Após a criação, desenvolvimento e conclusão do cenário base foram inseridos os cenários futuros. Para a criação dos distintos cenários, a dificuldade de montar a rede dentro do TRANUS, mostrou que a criação dos pontos, *links* e rotas no EXCEL para então importação era um procedimento mais acessível. Porém os cenários futuros foram desenhados antes da conclusão do cenário base, portanto os erros se perpetuaram, impossibilitando a evolução do trabalho na análise de cenários. O curto tempo disponível e a necessidade da calibração do cenário base também inviabilizou a continuidade da pesquisa, prorrogando esta etapa para trabalhos futuro.

O cronograma de pesquisa precisou ser atualizado devido ao aprofundamento no conhecimento e habilidade com ferramentas de estudo (*software* TRANUS) e aplicação da modelagem. Houveram algumas dificuldades na coleta de dados e na aplicação dos dados para a construção da rede, como erros de compatibilização que foram gradualmente superados a fim de alcançar os melhores resultados.

Outra restrição para o desenvolvimento da pesquisa, foi ausência de uma equipe. Como descrito anteriormente, estudos com modelagem de transportes de redes extensas, utilizam grandes equipes que distribuem as atividades, desde a formação da rede até análise dos dados. E associado com essa limitação, existe o fator tempo, percebeu-se no desenvolvimento do trabalho que os dois anos de duração de um mestrado eram insuficientes para todas as pretensões iniciais. Porém todas estas possibilidades de avanço que surgiram a partir da conclusão deste trabalho incentivam à continuidade desta investigação e a necessidade de aprender cada vez mais.

7.2. ANÁLISES CONCLUSIVAS

Diante dos resultados e análises realizadas foi possível concluir que os objetivos de pesquisa foram alcançados. A aplicação do *software* TRANUS possibilitou a composição de um modelo representativo e a análise da demanda de forma mais qualificada, distinguindo melhor a dinâmica socioeconômica e espacial da demanda por transporte urbano.

A compatibilização da rede da Área Metropolitana do Distrito Federal originalmente feita no *software* EMME, foi possível, e a rede pode ser replicada no TRANUS com algumas alterações, alcançando o objetivo geral de pesquisa.

Os indicadores de análise dos resultados do TRANUS foram essenciais para o esclarecimento do funcionamento da rede de transporte e sua relação com as demandas das classes de renda. Favorecendo os planejadores na identificação das prioridades de investimento e dos principais afetados das mudanças propostas.

A comparação dos resultados com o modelo elaborado para o PDTU/DF (2010) e com a contagem volumétrica de veículos de 2015 apresentou divergências, o que reafirma a necessidade da calibração para a continuidade do estudo e proposição de cenário futuros. Entretanto, apesar das divergências de valores, observou-se similaridade na identificação dos eixos estruturantes e mais críticos, confirmando que o modelo está próximo da situação real. Sendo necessário apenas ser ajustado para maior precisão.

7.3. RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Como recomendações futuras para continuidade dessa pesquisa, destaca-se primeiramente a calibração do cenário base. Como demonstrado, na comparação da rede com a contagem volumétrica de veículos, nota-se a necessidade de regular para tornar o cenário base mais representativo da realidade. Em relação ao processo de calibração e aumento de precisão dos dados, recomenda-se detalhar a área construída, que para o desenvolvimento dessa rede, teve que se submeter a uma especificação mais arbitrária.

Como segunda etapa, os cenários futuros devem ser reinseridos, usando o novo cenário base, calibrado, como referência. Os cenários já foram desenvolvidos e estão em formato adequado para sua importação, auxiliando e simplificando essa etapa. Sugere-se também a inserção das novas previsões de intervenções e projetos do governo, como o VLT pelo eixo monumental, nova ponte de acesso à saída norte e outros projetos aqui não abordados. Os cenários futuros não devem olhar apenas as políticas de transporte, é importante incluir as políticas e projetos de desenvolvimento urbano, que envolve a expansão de assentamentos e o adensamento de centros consolidados e a descentralização das atividades.

Considerar o uso do modelo TRANUS na revisão do PDTU-DF, onde ocorrerá a atualização dos dados do Distrito Federal e este refinamento da previsão de demanda, assim como novas propostas de cenários desenvolvidos, tem muito a favorecer decisões assertivas e equilibradas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, W. (1964) The historic and the structural theories of urban form: their implications for urban renewal. *Land Economics* v. 227-231.

ARRUDA, F. S. (2005) *Aplicação de um modelo baseado em atividades para análise da relação do uso do solo e transporte no contexto brasileiro*. Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BATES, J. (2008) History of demand modelling. In: Hensher DA& Button KJ, eds. *Handbook of transport modelling*. Reino Unido: Emerald Group Publishing Limited.

BAXTER, R. S., WILLIAMS I. (1973) *The third stage in disaggregating the residential sub-model*. ed. University of Cambridge, Department of Architecture.

BEN-AKIVAI, M., BOWMAN J. L., GOPINATH D. (1996) Travel demand model system for the information era. *Transportation* v. 23, p. 241-266.

BERTAUD, A. (2000) The costs of utopia: Brasilia, Johannesburg and Moscow. *European Network for Housing Research, Gävle, Sweden* p. 26-30.

BRUTON, M. J. (1970) *Introduction to transportation planning*. Inglaterra: ed. Hutchinson and Company, p. 290.

BRUYNOOGHE, M., GIBERT A., SAKAROVITCH M. (1969) Published. Une methode d'affectation du trafic. *Proceedings of the Proceedings of the 4th International Symposium on the Theory of Road Traffic, 1969*: Bundesminister fur Verkehr, p. 198-204.

CHAPIN, F. S. (1974) *Human activity patterns in the city: things people do in time and in space*. ed. Wiley-Interscience.

DE LA BARRA, T. (1989) *Integrated land use and transport modelling. Decision chains and hierarchies*. Inglaterra: ed. Cambridge University Press, p. 191

DOMENCICH, T. A., MCFADDEN D. (1975) *Urban Travel Demand-A Behavioral Analysis*. Inglaterra: ed. North-Holland Publishing Company Limited.

DOS SANTOS, F., P, L. (2013) *Proposta metodológica para estimativa de fluxos de carga a partir de dados secundários: uma aplicação em Belo Horizonte*. Mestrado, UFMG, Belo Horizonte.

FEUDO, F. L. (2014) *Un Scénario Tod Pour La Région Nord-Pas-De-Calais. Enseignements D'une Modélisation Intégrée Transport-Usage Du Sol*, Université Lille 1-Sciences et Technologies.

FLORIAN, M., GAUDRY M., LARDINOIS C. (1988) A two-dimensional framework for the understanding of transportation planning models. *Transportation Research Part B: Methodological* v. 22, p. 411-419.

GARIN, R. A. (1966) Research Note: A Matrix Formulation of the Lowry Model for Intrametropolitan Activity Allocation. *Journal of the American Institute of planners* v. 32, p. 361-364.

HENSHER, D. A., BUTTON K. J. (2008) *Handbook of transport modelling*. Inglaterra: ed. Emerald Publishing Limited, p. 790.

JOHNSON ROBERT, A., DE LA BARRA T. (1998) *Comprehensive Regional Modeling for Long-Range Planning: Linking Integrated Urban Models to Geographic Information Systems*. Inglaterra: ed. Cambridge University Press.

KNEIB, E. C. (2009) *Subcentros urbanos: contribuição conceitual e metodológica à sua definição e identificação para planejamento de transportes*. Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília.

LEFÈVRE, B. (2009) Long-term energy consumptions of urban transportation: A prospective simulation of “transport–land uses” policies in Bangalore. *Energy Policy* v. 37, p. 940-953.

LEONTIEF, W. W. (1936) Quantitative input and output relations in the economic systems of the United States. *The review of economic statistics*, p. 105-125.

LEURENT, F. (2012) Les modèles d'usage du sol et transport: où la géographie et l'économie se rejoignent. *Modélisation urbaine: de la représentation au projet*.

LITMAN, T. (2009) Sustainable transportation indicator data quality and availability. *Victoria Transport Policy Institute* v. 7.

LOWRY, I. S. (1964) A Model of Metropolis RM-4035-RC. *Rand Corporation, Santa Monica, CA*.

MANHEIM, M. L. (1979) *Fundamentals of Transportation Systems Analysis*. Cambridge, MA: ed. MIT Press.

MARTINEZ, F. J. (2000) Towards a land use and transport interaction framework. *Handbook of transport modelling* v. 1, p. 393-407.

MCFADDEN, D. (1973) Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. In: Zarembka P, ed. *Frontiers in Econometrics*. New York: Academic Press.

MCNALLY, M. G. (2007) The four step model. *Handbook of transport modelling* v. 1, p. 35-41.

MEDRANO, R. M. A. (2012) *Modelagem de padrões de viagens e expansão urbana*. Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília.

NGUYEN-LUONG, D. (2012) *Transport Interaction Models: Putting Theory into Practice*. França: ed. Editions Techniques et économiques, p. 7.

NOVAES, A. G. N. (1982) *Modelos em planejamento urbano, regional e de transportes*. ed. E. Blucher.

ORTÚZAR, J., WILLUMSEN L. G. (1994) *Modelling transport*. New Jersey: ed. John Wiley & Sons.

PAIVA, C. (2010) Modelos Tradicionais Transporte e Tráfego. *ANTP* On-line [http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/modelos_tradicionais_2.pdf]. Acessado em: 06/04/2016.

PDOT (2013). *Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal*. GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL Brasília.

ROGERS, A. (1967) Matrix analysis of interregional population growth and distribution. *Papers in regional science* v. 18, p. 177-196.

SPIESS, H., FLORIAN M. (1989) Optimal Strategies: A New Assignment Model for Transit Networks. *Transportation Research B* v. 23B, p. 19.

STM-SP (2012). *Cenários do Desenvolvimento Urbano* GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO São Paulo, <http://www.stm.sp.gov.br/index.php/publicacoes/cenarios-de-desenvolvimento-urbano>. Acessado em: 15/02/2016.

STM-SP (2013). *Atualização da Rede Metropolitana de Alta e Média Capacidade de Transporte da RMSP*. GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO São Paulo,

<http://www.stm.sp.gov.br/index.php/atualizacao-da-rede-metropolitana-de-baixa-e-media-capacidade>. Acessado em: 20/03/2016.

TAKANO, M. S. M. (2011) *Análise da influência da forma urbana no comportamento de viagens encadeadas com base em padrões de atividades*. Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília.

VICHIENSAN, V., SATO K., MIYAMOTO K., KITAZUME K. (2003) Introduction of land use model to improve travel demand forecasting in a metropolitan area: A case of Transus application to Sapporo. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* v. 5, p. 2863-2871.

VON THÜNEN, J. H. (1826) *Der isolierte Staat in Beziehung auf Nationalökonomie und Landwirtschaft*. Alemanha: ed. Fisher.

WATTERSON, W. T. (1993) Linked simulation of land use and transportation systems: developments and experience in the Puget Sound region. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* v. 27, p. 193-206.

WEGENER, M. (1994) Operational urban models state of the art. *Journal of the American Planning Association* v. 60, p. 17-29.

WEGENER, M., FÜRST F. (2004) Land-use transport interaction: state of the art. *Available at SSRN 1434678*.

WERNECK, L. F. (2015) *Contribuição de um modelo LUTI para o planejamento integrado em transportes e uso do solo na região metropolitana de Belo Horizonte*. Mestrado, UFMG, Belo Horizonte.

WILSON, A. G. (1967) A statistical theory of spatial distribution models. *Transportation research* v. 1, p. 253-269.

ANEXOS

Tabela A.1. Resultados dos indicadores de transporte da rede Brasília no TRANUS.

Table	Object	SubObject	Value	Table	Object	SubObject	Value	
Trips by cat/mode	1 Arenda	1 Passageiros	18737,83	MonCost cat/op	by	4 Brenda	6 Pedestre	0,00
Trips by cat/mode	2 MArenda	1 Passageiros	86016,09	MonCost cat/op	by	4 Brenda	7 VLT	0,00
Trips by cat/mode	3 MBrenda	1 Passageiros	219291,67	MonCost cat/op	by	4 Brenda	8 BRT	0,00
Trips by cat/mode	4 Brenda	1 Passageiros	25425,13	MonCost cat/op	by	5 Serv	1 Onibus1	14895,18
Trips by cat/mode	5 Serv	1 Passageiros	35585,15	MonCost cat/op	by	5 Serv	3 Metro	4850,25
Supressed by cat	1 Arenda	All	15327,86	MonCost cat/op	by	5 Serv	4 Carro	132941,94
Supressed by cat	2 MArenda	All	62204,87	MonCost cat/op	by	5 Serv	5 CarroMais	74284,97
Supressed by cat	3 MBrenda	All	70617,77	MonCost cat/op	by	5 Serv	6 Pedestre	0,00
Supressed by cat	4 Brenda	All	3997,00	MonCost cat/op	by	5 Serv	7 VLT	0,00
Supressed by cat	5 Serv	All	28135,97	MonCost cat/op	by	5 Serv	8 BRT	0,00
Distance by cat	1 Arenda	All	411505,47	TravTime cat/op	by	1 Arenda	1 Onibus1	1479,77
Distance by cat	2 MArenda	All	2059754,63	TravTime cat/op	by	1 Arenda	3 Metro	442,24
Distance by cat	3 MBrenda	All	7778392,50	TravTime cat/op	by	1 Arenda	4 Carro	14546,08
Distance by cat	4 Brenda	All	1137759,63	TravTime cat/op	by	1 Arenda	5 CarroMais	12934,12
Distance by cat	5 Serv	All	893375,94	TravTime cat/op	by	1 Arenda	6 Pedestre	831,84
Cost by cat	1 Arenda	All	119768,06	TravTime cat/op	by	1 Arenda	7 VLT	0,00
Cost by cat	2 MArenda	All	542082,69	TravTime cat/op	by	1 Arenda	8 BRT	0,00
Cost by cat	3 MBrenda	All	1307113,00	TravTime cat/op	by	2 MArenda	1 Onibus1	27766,82
Cost by cat	4 Brenda	All	124127,07	TravTime cat/op	by	2 MArenda	3 Metro	2500,17
Cost by cat	5 Serv	All	226898,88	TravTime cat/op	by	2 MArenda	4 Carro	58614,41
TravTime by cat	1 Arenda	All	30955,37	TravTime cat/op	by	2 MArenda	5 CarroMais	77215,87
TravTime by cat	2 MArenda	All	180753,69	TravTime cat/op	by	2 MArenda	6 Pedestre	7255,04
TravTime by cat	3 MBrenda	All	941843,81	TravTime cat/op	by	2 MArenda	7 VLT	0,00
TravTime by cat	4 Brenda	All	150290,66	TravTime cat/op	by	2 MArenda	8 BRT	0,00
TravTime by cat	5 Serv	All	79569,98	TravTime cat/op	by	3 MBrenda	1 Onibus1	484441,44
WaitTime by cat	1 Arenda	All	283,91	TravTime cat/op	by	3 MBrenda	3 Metro	13124,20
WaitTime by cat	2 MArenda	All	3428,06	TravTime cat/op	by	3 MBrenda	4 Carro	101505,40
WaitTime by cat	3 MBrenda	All	45873,34	TravTime cat/op	by	3 MBrenda	5 CarroMais	194840,05
WaitTime by cat	4 Brenda	All	9145,43	TravTime cat/op	by	3 MBrenda	6 Pedestre	68911,34
WaitTime by cat	5 Serv	All	2132,44	TravTime cat/op	by	3 MBrenda	7 VLT	0,00
Disutil by cat	1 Arenda	All	828115,13	TravTime cat/op	by	3 MBrenda	8 BRT	0,00

Disutil by cat	2 MArenda	All	2812419,75	TravTime cat/op	by	4 Brenda	1 Onibus1	104785,37
Disutil by cat	3 MBrenda	All	3600746,75	TravTime cat/op	by	4 Brenda	3 Metro	1433,43
Disutil by cat	4 Brenda	All	271520,97	TravTime cat/op	by	4 Brenda	4 Carro	3557,91
Disutil by cat	5 Serv	All	834327,63	TravTime cat/op	by	4 Brenda	5 CarroMais	13278,29
Boardings by oper	1 Onibus1	All	152802,09	TravTime cat/op	by	4 Brenda	6 Pedestre	13165,79
Boardings by oper	3 Metro	All	40846,67	TravTime cat/op	by	4 Brenda	7 VLT	0,00
Boardings by oper	4 Carro	All	93962,09	TravTime cat/op	by	4 Brenda	8 BRT	0,00
Boardings by oper	5 CarroMais	All	153047,94	TravTime cat/op	by	5 Serv	1 Onibus1	16991,94
Boardings by oper	6 Pedestre	All	293285,78	TravTime cat/op	by	5 Serv	3 Metro	1222,41
Boardings by oper	7 VLT	All	0,00	TravTime cat/op	by	5 Serv	4 Carro	24906,67
Boardings by oper	8 BRT	All	0,00	TravTime cat/op	by	5 Serv	5 CarroMais	28757,22
Units-dist by oper	1 Onibus1	All	5027678,50	TravTime cat/op	by	5 Serv	6 Pedestre	3881,83
Units-dist by oper	3 Metro	All	655286,06	TravTime cat/op	by	5 Serv	7 VLT	0,00
Units-dist by oper	4 Carro	All	2374670,00	TravTime cat/op	by	5 Serv	8 BRT	0,00
Units-dist by oper	5 CarroMais	All	4559647,50	WaitTime cat/op	by	1 Arenda	1 Onibus1	186,52
Units-dist by oper	6 Pedestre	All	378281,56	WaitTime cat/op	by	1 Arenda	3 Metro	97,38
Units-dist by oper	7 VLT	All	0,00	WaitTime cat/op	by	1 Arenda	4 Carro	0,00
Units-dist by oper	8 BRT	All	0,00	WaitTime cat/op	by	1 Arenda	5 CarroMais	0,00
Energy by oper	1 Onibus1	All	0,00	WaitTime cat/op	by	1 Arenda	6 Pedestre	0,00
Energy by oper	3 Metro	All	0,00	WaitTime cat/op	by	1 Arenda	7 VLT	0,00
Energy by oper	4 Carro	All	380746,16	WaitTime cat/op	by	1 Arenda	8 BRT	0,00
Energy by oper	5 CarroMais	All	303606,38	WaitTime cat/op	by	2 MArenda	1 Onibus1	2844,71
Energy by oper	6 Pedestre	All	0,00	WaitTime cat/op	by	2 MArenda	3 Metro	583,27
Energy by oper	7 VLT	All	0,00	WaitTime cat/op	by	2 MArenda	4 Carro	0,00
Energy by oper	8 BRT	All	0,00	WaitTime cat/op	by	2 MArenda	5 CarroMais	0,00
Cost by oper	1 Onibus1	All	0,00	WaitTime cat/op	by	2 MArenda	6 Pedestre	0,00
Cost by oper	3 Metro	All	0,00	WaitTime cat/op	by	2 MArenda	7 VLT	0,00
Cost by oper	4 Carro	All	995764,69	WaitTime cat/op	by	2 MArenda	8 BRT	0,00
Cost by oper	5 CarroMais	All	794004,13	WaitTime cat/op	by	3 MBrenda	1 Onibus1	43107,32
Cost by oper	6 Pedestre	All	0,00	WaitTime cat/op	by	3 MBrenda	3 Metro	2777,91
Cost by oper	7 VLT	All	0,00	WaitTime cat/op	by	3 MBrenda	4 Carro	0,00
Cost by oper	8 BRT	All	0,00	WaitTime cat/op	by	3 MBrenda	5 CarroMais	0,00
Income by oper	1 Onibus1	All	458629,19	WaitTime cat/op	by	3 MBrenda	6 Pedestre	0,00
Income by oper	3 Metro	All	72228,59	WaitTime cat/op	by	3 MBrenda	7 VLT	0,00
Income by oper	4 Carro	All	994278,94	WaitTime cat/op	by	3 MBrenda	8 BRT	0,00
Income by oper	5 CarroMais	All	791723,44	WaitTime cat/op	by	4 Brenda	1 Onibus1	8807,56

Income by oper	6 Pedestre	All	0,00	WaitTime cat/op	by	4 Brenda	3 Metro	352,86
Income by oper	7 VLT	All	0,00	WaitTime cat/op	by	4 Brenda	4 Carro	0,00
Income by oper	8 BRT	All	0,00	WaitTime cat/op	by	4 Brenda	5 CarroMais	0,00
Veh-dist by oper	1 Onibus1	All	195497,73	WaitTime cat/op	by	4 Brenda	6 Pedestre	0,00
Veh-dist by oper	3 Metro	All	1244,16	WaitTime cat/op	by	4 Brenda	7 VLT	0,00
Veh-dist by oper	4 Carro	All	2374670,00	WaitTime cat/op	by	4 Brenda	8 BRT	0,00
Veh-dist by oper	5 CarroMais	All	1982453,88	WaitTime cat/op	by	5 Serv	1 Onibus1	1859,13
Veh-dist by oper	6 Pedestre	All	0,00	WaitTime cat/op	by	5 Serv	3 Metro	273,34
Veh-dist by oper	7 VLT	All	0,00	WaitTime cat/op	by	5 Serv	4 Carro	0,00
Veh-dist by oper	8 BRT	All	0,00	WaitTime cat/op	by	5 Serv	5 CarroMais	0,00
Veh-hour by oper	1 Onibus1	All	1153511,38	WaitTime cat/op	by	5 Serv	6 Pedestre	0,00
Veh-hour by oper	3 Metro	All	35,55	WaitTime cat/op	by	5 Serv	7 VLT	0,00
Veh-hour by oper	4 Carro	All	218140,52	WaitTime cat/op	by	5 Serv	8 BRT	0,00
Veh-hour by oper	5 CarroMais	All	145935,75	TotalTime cat/op	by	1 Arenda	1 Onibus1	1666,29
Veh-hour by oper	6 Pedestre	All	0,00	TotalTime cat/op	by	1 Arenda	3 Metro	539,63
Veh-hour by oper	7 VLT	All	0,00	TotalTime cat/op	by	1 Arenda	4 Carro	14546,08
Veh-hour by oper	8 BRT	All	0,00	TotalTime cat/op	by	1 Arenda	5 CarroMais	12934,12
Distance admin	by 1 DFtrans	All	5316,46	TotalTime cat/op	by	1 Arenda	6 Pedestre	831,84
Distance admin	by 2 Metro	All	97,70	TotalTime cat/op	by	1 Arenda	7 VLT	0,00
Income by admin	1 DFtrans	All	0,00	TotalTime cat/op	by	1 Arenda	8 BRT	0,00
Income by admin	2 Metro	All	0,00	TotalTime cat/op	by	2 MArenda	1 Onibus1	30611,53
MaintCost admin	by 1 DFtrans	All	0,00	TotalTime cat/op	by	2 MArenda	3 Metro	3083,45
MaintCost admin	by 2 Metro	All	0,00	TotalTime cat/op	by	2 MArenda	4 Carro	58614,41
Boardings cat/op	by 1 Arenda	1 Onibus1	485,55	TotalTime cat/op	by	2 MArenda	5 CarroMais	77215,87
Boardings cat/op	by 1 Arenda	3 Metro	973,85	TotalTime cat/op	by	2 MArenda	6 Pedestre	7255,04
Boardings cat/op	by 1 Arenda	4 Carro	9275,63	TotalTime cat/op	by	2 MArenda	7 VLT	0,00
Boardings cat/op	by 1 Arenda	5 CarroMais	8120,36	TotalTime cat/op	by	2 MArenda	8 BRT	0,00
Boardings cat/op	by 1 Arenda	6 Pedestre	2714,41	TotalTime cat/op	by	3 MBrenda	1 Onibus1	527548,75
Boardings cat/op	by 1 Arenda	7 VLT	0,00	TotalTime cat/op	by	3 MBrenda	3 Metro	15902,12
Boardings cat/op	by 1 Arenda	8 BRT	0,00	TotalTime cat/op	by	3 MBrenda	4 Carro	101505,40
Boardings cat/op	by 2 MArenda	1 Onibus1	7622,50	TotalTime cat/op	by	3 MBrenda	5 CarroMais	194840,05
Boardings cat/op	by 2 MArenda	3 Metro	5832,74	TotalTime cat/op	by	3 MBrenda	6 Pedestre	68911,34
Boardings cat/op	by 2 MArenda	4 Carro	32066,17	TotalTime cat/op	by	3 MBrenda	7 VLT	0,00
Boardings cat/op	by 2 MArenda	5 CarroMais	42748,36	TotalTime cat/op	by	3 MBrenda	8 BRT	0,00
Boardings cat/op	by 2 MArenda	6 Pedestre	23116,39	TotalTime cat/op	by	4 Brenda	1 Onibus1	113592,94
Boardings cat/op	by 2 MArenda	7 VLT	0,00	TotalTime cat/op	by	4 Brenda	3 Metro	1786,28

Boardings cat/op	by	2 MArenda	8 BRT	0,00	TotalTime cat/op	by	4 Brenda	4 Carro	3557,91
Boardings cat/op	by	3 MBrenda	1 Onibus1	116051,67	TotalTime cat/op	by	4 Brenda	5 CarroMais	13278,29
Boardings cat/op	by	3 MBrenda	3 Metro	27779,13	TotalTime cat/op	by	4 Brenda	6 Pedestre	13165,79
Boardings cat/op	by	3 MBrenda	4 Carro	37871,26	TotalTime cat/op	by	4 Brenda	7 VLT	0,00
Boardings cat/op	by	3 MBrenda	5 CarroMais	80988,89	TotalTime cat/op	by	4 Brenda	8 BRT	0,00
Boardings cat/op	by	3 MBrenda	6 Pedestre	216002,35	TotalTime cat/op	by	5 Serv	1 Onibus1	18851,07
Boardings cat/op	by	3 MBrenda	7 VLT	0,00	TotalTime cat/op	by	5 Serv	3 Metro	1495,75
Boardings cat/op	by	3 MBrenda	8 BRT	0,00	TotalTime cat/op	by	5 Serv	4 Carro	24906,67
Boardings cat/op	by	4 Brenda	1 Onibus1	23833,48	TotalTime cat/op	by	5 Serv	5 CarroMais	28757,22
Boardings cat/op	by	4 Brenda	3 Metro	3528,57	TotalTime cat/op	by	5 Serv	6 Pedestre	3881,83
Boardings cat/op	by	4 Brenda	4 Carro	1443,25	TotalTime cat/op	by	5 Serv	7 VLT	0,00
Boardings cat/op	by	4 Brenda	5 CarroMais	5706,17	TotalTime cat/op	by	5 Serv	8 BRT	0,00
Boardings cat/op	by	4 Brenda	6 Pedestre	39502,54	Units-Dist cat/op	by	1 Arenda	1 Onibus1	12498,41
Boardings cat/op	by	4 Brenda	7 VLT	0,00	Units-Dist cat/op	by	1 Arenda	3 Metro	15478,52
Boardings cat/op	by	4 Brenda	8 BRT	0,00	Units-Dist cat/op	by	1 Arenda	4 Carro	203120,10
Boardings cat/op	by	5 Serv	1 Onibus1	4965,06	Units-Dist cat/op	by	1 Arenda	5 CarroMais	203049,71
Boardings cat/op	by	5 Serv	3 Metro	2733,40	Units-Dist cat/op	by	1 Arenda	6 Pedestre	3378,49
Boardings cat/op	by	5 Serv	4 Carro	13510,14	Units-Dist cat/op	by	1 Arenda	7 VLT	0,00
Boardings cat/op	by	5 Serv	5 CarroMais	16051,74	Units-Dist cat/op	by	1 Arenda	8 BRT	0,00
Boardings cat/op	by	5 Serv	6 Pedestre	12613,94	Units-Dist cat/op	by	2 MArenda	1 Onibus1	223148,98
Boardings cat/op	by	5 Serv	7 VLT	0,00	Units-Dist cat/op	by	2 MArenda	3 Metro	87506,09
Boardings cat/op	by	5 Serv	8 BRT	0,00	Units-Dist cat/op	by	2 MArenda	4 Carro	758843,12
MonCost cat/op	by	1 Arenda	1 Onibus1	1456,66	Units-Dist cat/op	by	2 MArenda	5 CarroMais	1139560,18
MonCost cat/op	by	1 Arenda	3 Metro	1840,58	Units-Dist cat/op	by	2 MArenda	6 Pedestre	29320,17
MonCost cat/op	by	1 Arenda	4 Carro	82033,66	Units-Dist cat/op	by	2 MArenda	7 VLT	0,00
MonCost cat/op	by	1 Arenda	5 CarroMais	34603,79	Units-Dist cat/op	by	2 MArenda	8 BRT	0,00
MonCost cat/op	by	1 Arenda	6 Pedestre	0,00	Units-Dist cat/op	by	3 MBrenda	1 Onibus1	3798883,50
MonCost cat/op	by	1 Arenda	7 VLT	0,00	Units-Dist cat/op	by	3 MBrenda	3 Metro	459347,12
MonCost cat/op	by	1 Arenda	8 BRT	0,00	Units-Dist cat/op	by	3 MBrenda	4 Carro	1052198,01
MonCost cat/op	by	2 MArenda	1 Onibus1	22867,51	Units-Dist cat/op	by	3 MBrenda	5 CarroMais	2603907,32
MonCost cat/op	by	2 MArenda	3 Metro	10599,06	Units-Dist cat/op	by	3 MBrenda	6 Pedestre	277094,05
MonCost cat/op	by	2 MArenda	4 Carro	312137,42	Units-Dist cat/op	by	3 MBrenda	7 VLT	0,00
MonCost cat/op	by	2 MArenda	5 CarroMais	196740,17	Units-Dist cat/op	by	3 MBrenda	8 BRT	0,00
MonCost cat/op	by	2 MArenda	6 Pedestre	0,00	Units-Dist cat/op	by	4 Brenda	1 Onibus1	844296,21
MonCost cat/op	by	2 MArenda	7 VLT	0,00	Units-Dist cat/op	by	4 Brenda	3 Metro	50169,92
MonCost cat/op	by	2 MArenda	8 BRT	0,00	Units-Dist cat/op	by	4 Brenda	4 Carro	36446,37

MonCost cat/op	by	3 MBrenda	1 Onibus1	348155,00	Units-Dist cat/op	by	4 Brenda	5 CarroMais	180590,12
MonCost cat/op	by	3 MBrenda	3 Metro	49044,20	Units-Dist cat/op	by	4 Brenda	6 Pedestre	52818,77
MonCost cat/op	by	3 MBrenda	4 Carro	453135,14	Units-Dist cat/op	by	4 Brenda	7 VLT	0,00
MonCost cat/op	by	3 MBrenda	5 CarroMais	457162,98	Units-Dist cat/op	by	4 Brenda	8 BRT	0,00
MonCost cat/op	by	3 MBrenda	6 Pedestre	0,00	Units-Dist cat/op	by	5 Serv	1 Onibus1	148904,97
MonCost cat/op	by	3 MBrenda	7 VLT	0,00	Units-Dist cat/op	by	5 Serv	3 Metro	42784,46
MonCost cat/op	by	3 MBrenda	8 BRT	0,00	Units-Dist cat/op	by	5 Serv	4 Carro	324101,69
MonCost cat/op	by	4 Brenda	1 Onibus1	71500,43	Units-Dist cat/op	by	5 Serv	5 CarroMais	432608,69
MonCost cat/op	by	4 Brenda	3 Metro	5897,77	Units-Dist cat/op	by	5 Serv	6 Pedestre	15669,96
MonCost cat/op	by	4 Brenda	4 Carro	15530,60	Units-Dist cat/op	by	5 Serv	7 VLT	0,00
MonCost cat/op	by	4 Brenda	5 CarroMais	31225,92	Units-Dist cat/op	by	5 Serv	8 BRT	0,00

Tabela A.2. Painel de controle com a estimativa de parâmetros

Setor		SoloRes	SoloComInd	Setor		SoloRes	SoloComInd
ServBas	Min		5	Arenda	Min	14	
	Max		40		Max	210	
	Elas		0,028		Elas	0,033	
ServCom	Min		7	MArenda	Min	12	
	Max		70		Max	180	
	Elas		0,015		Elas	0,033	
Gov	Min		5	MBrenda	Min	11	
	Max		40		Max	160	
	Elas		0,019000		Elas	0,033	
Edu	Min		8	Brenda	Min	10	
	Max		130		Max	140	
	Elas		0,025		Elas	0,033	
Saude	Min		11	Model		226.798.430	55.010.644
	Max		210	Data		644.259.092	269.557.582
	Elas		0,034	R2		0,090	0,053
						0,260	0,203

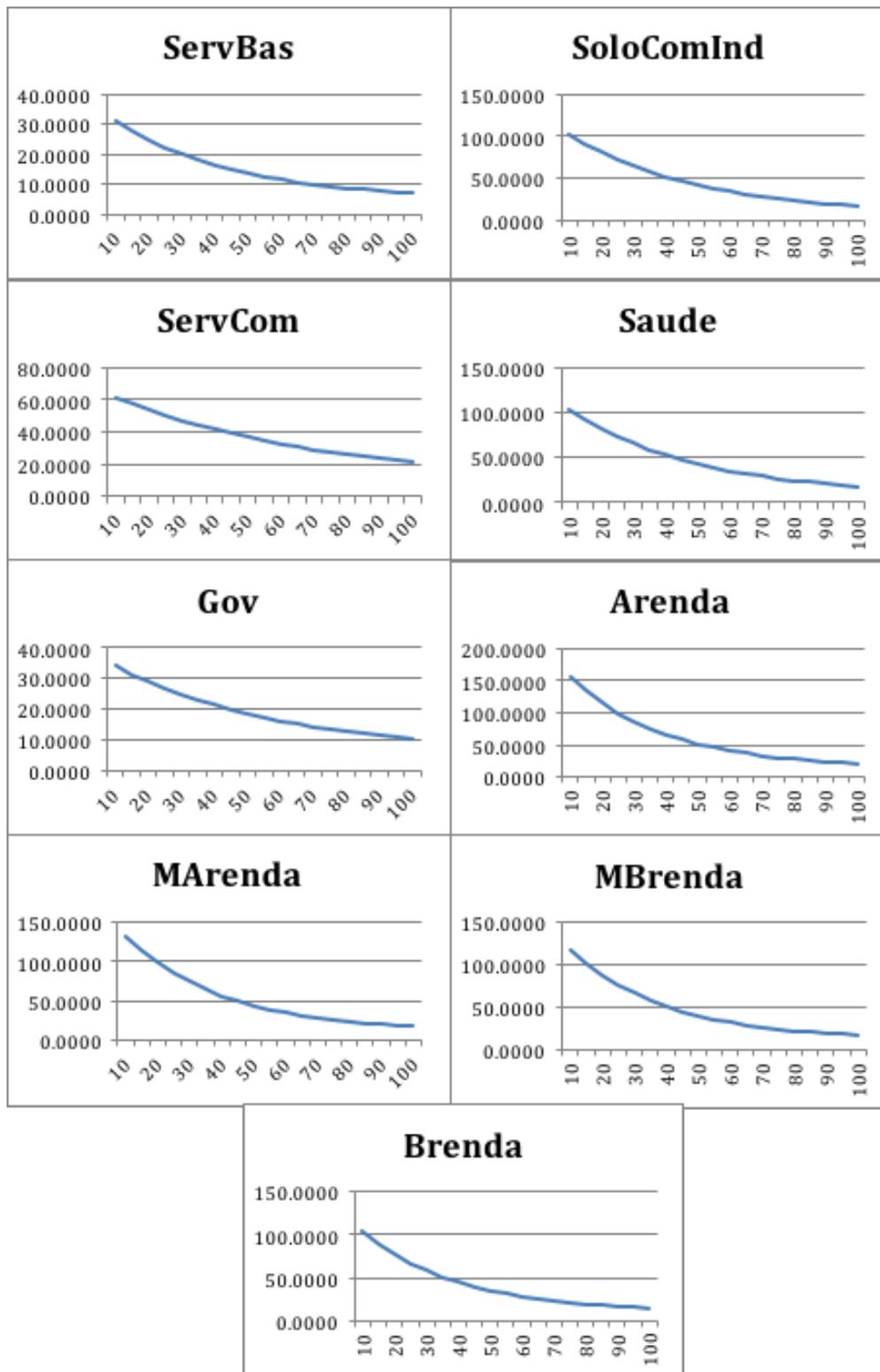


Figura A.1. Gráficos das funções de demanda de cada setor de uso do solo utilizados na rede Brasília no TRANUS.

Tabela A.3. Dados usados para montagem dos gráficos das funções de demanda de cada setor de uso do solo utilizados na rede Brasília no TRANUS.

ServBas		ServCom		Gov		Edu		Saude	
Min	5	Min	7	Min	5	Min	8	Min	11
Max	40	Max	70	Max	40	Max	130	Max	210
Elas	0,028	Elas	0,015	Elas	0,019	Elas	0,025	Elas	0,034
Price	SoloComInd	Price	SoloComInd	Price	SoloComInd	Price	SoloComInd	Price	SoloComInd
10	314,524	10	612,246	10	339,436	10	1,030,137	10	1,526,423
15	279,966	15	573,065	15	313,205	15	918,493	15	1,304,986
20	249,923	20	536,715	20	289,351	20	819,967	20	1,118,168
25	223,805	25	502,992	25	267,660	25	733,019	25	960,556
30	201,099	30	471,706	30	247,934	30	656,287	30	827,584
35	181,359	35	442,680	35	229,996	35	588,572	35	715,400
40	164,198	40	415,751	40	213,683	40	528,813	40	620,755
45	149,279	45	390,769	45	198,849	45	476,076	45	540,906
50	136,309	50	367,591	50	185,359	50	429,536	50	473,540
55	125,033	55	346,088	55	173,092	55	388,464	55	416,706
60	115,231	60	326,139	60	161,937	60	352,219	60	368,757
65	106,709	65	307,631	65	151,792	65	320,232	65	328,304
70	99,300	70	290,461	70	142,567	70	292,004	70	294,176
75	92,860	75	274,531	75	134,178	75	267,093	75	265,383
80	87,260	80	259,752	80	126,549	80	245,109	80	241,091
85	82,393	85	246,042	85	119,612	85	225,708	85	220,597
90	78,161	90	233,321	90	113,303	90	208,587	90	203,307
95	74,482	95	221,520	95	107,566	95	193,478	95	188,719
100	71,284	100	210,572	100	102,349	100	180,144	100	176,413
Arenda		MArenda		MBrenda		Brenda			
Min	14	Min	12	Min	11	Min	10		
Max	210	Max	180	Max	160	Max	140		

Elas	0,033	Elas	0,033	Elas	0,033	Elas	0,033
Price	SoloRes	Price	SoloRes	Price	SoloRes	Price	SoloRes
10	1,549,091	10	1,327,792	10	1,181,196	10	1,034,601
15	1,334,759	15	1,144,079	15	1,018,261	15	892,442
20	1,153,029	20	988,310	20	880,108	20	771,907
25	998,941	25	856,235	25	762,970	25	669,705
30	868,290	30	744,249	30	663,649	30	583,050
35	757,513	35	649,297	35	579,436	35	509,575
40	663,585	40	568,787	40	508,032	40	447,276
45	583,945	45	500,524	45	447,488	45	394,453
50	516,418	50	442,644	50	396,154	50	349,665
55	459,162	55	393,568	55	352,628	55	311,689
60	410,616	60	351,956	60	315,723	60	279,490
65	369,453	65	316,674	65	284,431	65	252,188
70	334,552	70	286,759	70	257,899	70	229,040
75	304,959	75	261,394	75	235,403	75	209,412
80	279,868	80	239,887	80	216,328	80	192,770
85	258,593	85	221,651	85	200,155	85	178,659
90	240,554	90	206,190	90	186,442	90	166,694

Tabela A. 1. Dados de “*inter-sector*” inseridos no TRANUS para análise da rede Brasília

	ServBas	ServCom	Gov	Edu	Saude	Arenda	MArenda	MBrenda	Brenda	TotEmp	TotPop	TotInduEmp
BaseData->	278.0	907.6	467.4	56.4	52.2	273.6	1.082.178	2.085.186	216.6	1.761.635	3.657.573	1.016.215
00A	Emprego					População						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
	ServBas	ServCom	Gov	Edu	Saude	Arenda	MArenda	MBrenda	Brenda	Gerados	Diferença	
ServBas												
ServCom						0,248151985	0,248151985	0,248151985	0,248151985	907.634	0	
Gov												
Edu						0,01541432	0,01541432	0,01541432	0,01541432	56.379	0	
Saude						0,014272306	0,014272306	0,014272306	0,014272306	52.202	0	
Arenda	0,155313	0,15531	0,15531	0,15531	0,15531					273.605	0	
MArenda	0,61430319	0,61430319	0,61430319	0,61430319	0,61430319					1.082.178	0	
MBrenda	1,183,665,175	1,183,665,175	1,183,665,175	1,183,665,175	1,183,665,175					2.085.186	0	
Brenda	0,122956231	0,122956231	0,122956231	0,122956231	0,122956231					216.604	0	