



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE MESTRADO EM GEOTECNIA E TRANSPORTES

**DETERMINAÇÃO DE MATRIZ ORIGEM/DESTINO
UTILIZANDO DADOS DO SISTEMA DE BILHETAGEM
ELETRÔNICA**

ANDRÉ LEITE GUERRA

Belo Horizonte, 12 de Julho de 2011

André Leite Guerra

**DETERMINAÇÃO DE MATRIZ ORIGEM/DESTINO
UTILIZANDO DADOS DO SISTEMA DE BILHETAGEM
ELETRÔNICA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geotecnia e Transportes.

Área de concentração: Transportes

Orientadora: Prof^a/Dr^a Heloisa Maria Barbosa
Universidade Federal de Minas Gerais

Coorientadora: Prof^a/Dr^a Leise Kelli de Oliveira
Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG

2011

R484c

Guerra, André Leite.

Determinação de matriz origem/destino utilizando dados do sistema de bilhetagem eletrônica [manuscrito] / André Leite Guerra.– 2011.
116 f., enc. : il.

Orientadora: Heloisa Maria Barbosa.

Co-orientadora: Leise Kelli de Oliveira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Bibliografia: f.111-116

1. Engenharia de transportes – Teses. 2. Transportes – Planejamento – Teses. 3. Tecnologia – Teses. I. Barbosa, Heloisa Maria. II. Oliveira, Leise Kelli de. III. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 656(043)



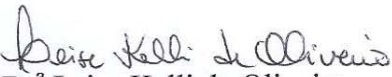
FOLHA DE APROVAÇÃO


"Determinação de matriz origem destino utilizando dados do sistema de bilhetagem eletrônica "

André Leite Guerra

Dissertação defendida e aprovada pela Banca Examinadora constituída pelos Senhores:



Prof^ª Dr^ª Heloísa Maria Barbosa


Prof^ª Dr^ª Leise Kelli de Oliveira



Prof^º Dr^º Ronaldo Guimarães Gouvêa


Prof^ª Dr^ª Vânia Barcellos Gouvêa Campos

Aprovada pelo Colegiado do Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes


Prof. Gustavo Ferreira Simões
Coordenador

Versão Final aprovada por


Prof^ª. Heloísa Maria Barbosa
Orientadora


Prof^ª Leise Kelli de Oliveira
Coorientadora

Belo Horizonte, 12 de julho de 2011.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

Um agradecimento especial é devido à Professora Heloisa Maria Barbosa, por ter aceitado orientar este trabalho, pelas críticas e sugestões relevantes feitas durante a orientação, pela disponibilidade sempre revelada e pela confiança demonstrada.

À professora Leise Kelli de Oliveira pela orientação neste trabalho e nos diversos outros feitos durante o curso, pelo incentivo, pela disponibilidade e pela confiança demonstrada.

Aos demais professores do mestrado que também contribuíram com minha formação.

Aos professores Ronaldo Guimarães Gouvêa e Vânia Barcellos Gouvêa Campos por terem aceitado o convite de participar da banca de defesa desta dissertação.

Às empresas TECTRAN – Técnicos em Transporte Ltda. e TECBUS – Consultoria e Projetos Ltda. pela disponibilidade de informações e de recursos computacionais. Aos seus diretores, Eduardo Cândido Coelho e Sabina Augusta Kauark Leite, respectivamente, pelas críticas, orientações e discussões.

Ao professor Orlando Strambi que contribuiu com a indicação de ótimos artigos.

Às funcionárias do mestrado: Fátima e Kátia que me auxiliaram na resolução das questões burocráticas.

Aos colegas do mestrado, Vagner, Carolina, Daniel, Renata e Osias, pela amizade e pelo grupo de estudos que criamos, especialmente ao Vagner, pela parceria nos artigos que escrevemos.

À FAPEMIG pelo auxílio financeiro concedido.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	V
LISTA DE TABELAS	VII
LISTA DE QUADROS	VIII
LISTA DE GRÁFICOS.....	IX
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	X
RESUMO	XI
ABSTRACT	XII
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Contextualização.....	13
1.2 Justificativa da Pesquisa	14
1.3 Objetivos.....	15
1.4 Estrutura do Trabalho	15
2 REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1 Estimação de Demanda por Transporte Público.....	17
2.1.1 Introdução	17
2.1.2 Determinação de Matriz Origem/Destino.....	18
2.2 Sistemas de Coleta Automatizada de Dados	26
2.2.1 Localização Automática de Veículos	26
2.2.2 Contadores Automáticos de Passageiros	27
2.2.3 Sistemas de Bilhetagem Automática	28
2.3 Determinação de Matriz Origem/Destino Baseada em ADC	33
2.4 Determinação de Matriz OD Através de Contagens de Fluxo.....	38
2.4.1 Matrizes de Tráfego.....	38
2.4.2 Matrizes de Transporte	39
2.4.3 Métodos de Nielsen	40

2.5	Sistemas de Informação Geográfica (SIG) Aplicados aos Transportes.....	44
3	METODOLOGIA PROPOSTA	49
3.1	Montagem da Rede de Transporte em SIG.....	50
3.2	Obtenção e Tratamento dos Dados do SBE.....	51
3.3	Modelo para Determinação da Matriz Semente	53
3.3.1	Determinação da Origem.....	54
3.3.2	Determinação do Destino	55
3.3.3	Considerações sobre a Metodologia	56
3.3.4	Tratamento dos Cartões com Apenas um Registro.....	58
3.4	Modelo para Determinação da Matriz Final	59
3.4.1	Descrição Geral do Modelo	59
3.4.2	Matriz Base (Matriz Semente).....	60
3.4.3	Modelos de Alocação de Demanda	61
3.4.4	Contagem de Fluxo.....	62
3.4.5	Execução do Modelo	64
4	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA	67
4.1	Descrição da Área de Estudo	67
4.1.1	Caracterização socioeconômica do município.....	67
4.1.2	Caracterização do Sistema de Transporte de Maceió.....	75
4.2	Montagem da Base de Dados	79
4.2.1	Rede de Transporte	79
4.2.2	Base de Dados do SBE	83
4.3	Determinação da Matriz Semente.....	92
4.4	Determinação da Matriz Final	95
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS	100
5.1	Matriz Semente	100
5.2	Matriz Final	101

6	CONCLUSÃO.....	108
	Referências Bibliográficas.....	111

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Sistema de Transporte com entradas e saídas Fonte: RIOS, 2007.....	18
FIGURA 2 - Elementos da Matriz Origem/Destino.....	19
FIGURA 3 - Visão esquemática da conexão de um aparelho celular a uma célula Fonte: Wideberg <i>et al.</i> (2007).....	25
FIGURA 4 - Sistema de Localização Automática de Veículos e a rede de comunicação em tempo real (fonte: adaptado de http://www.pcb.its.dot.gov/factsheets/avl/avlHuman_overview.asp).....	27
FIGURA 5- Contador Automático de Passageiros Fonte: www.roadtraffic-technology.com	28
FIGURA 6 - Exemplo do bilhete com tarja magnética tipo Edmonson (metrô de Paris) Fonte: thealteredartstore.com	29
FIGURA 7 - Sistema de Bilhetagem Eletrônica com tecnologia <i>smartcard</i> Fonte: www.guaratingueta.sp.gov.br	30
FIGURA 8 - Utilização do SIG Fonte: Bernhardsen (2002).....	45
FIGURA 9 - Processos do SIG Fonte: adaptado de Bernhardsen (2002).....	46
FIGURA 10 - Fluxograma geral simplificado da metodologia.....	50
FIGURA 11 - Fluxograma da metodologia para determinação da matriz semente.....	53
FIGURA 12 - Localização da linha segundo o zoneamento.....	55
FIGURA 13 - Situação quando ocorre transbordo.....	56
FIGURA 14 - Definição da origem e inferência do destino.....	57
FIGURA 15 - Situação em que a viagem P2-P3 é realizada por outro modo.....	57
FIGURA 16 - Fluxograma do modelo <i>OD Matrix Estimation</i> do TransCAD.....	60
FIGURA 17 - Modelo para pesquisa de ocupação visual.....	63
FIGURA 18 - Tabela de contagem do modelo <i>OD Matrix Estimation</i>	64
FIGURA 19 - Janela "Geral" do modelo <i>OD Matrix Estimation</i>	64
FIGURA 20 - Janela "Contagem" do modelo <i>OD Matrix Estimation</i>	65
FIGURA 21 - Janela "Opções" do modelo <i>OD Matrix Estimation</i>	65
FIGURA 22 - Localização do município de Maceió (AL).....	68
FIGURA 23 - Delimitação da área urbana no município de Maceió (AL).....	69
FIGURA 24 - Distribuição espacial da população urbana.....	70
FIGURA 25 - Regiões de maior concentração populacional.....	71

FIGURA 26 - Pontos de destaque na ocupação e vetores de crescimento Fonte: Prefeitura de Maceió, 2000 <i>apud</i> Faria e Cavalcanti, 2009	72
FIGURA 27 - Principais vias e localização do centro	73
FIGURA 28 - Cobertura do sistema de transporte público	76
FIGURA 29 - Sobreposição linhas do sistema (faixa de 500m) versus localização da população.....	77
FIGURA 30 - Oferta de lugares no pico da manhã em um dia útil típico.....	78
FIGURA 31 - Velocidade média no Pico da Manhã	80
FIGURA 32 - Mapa das zonas de tráfego de Maceió	82
FIGURA 33 - Centroides e conectores das zonas de tráfego	83
FIGURA 34 - Fluxograma do processo de tratamento dos dados de cartão	90
FIGURA 35 - Linhas 52 e 407	92
FIGURA 36 - Mapa da linha 51 com as zonas de tráfego.....	93
FIGURA 37 - Fluxograma do processo de determinação da matriz final	95
FIGURA 38 - Pontos de contagem de volume de passageiros.....	96
FIGURA 39 - Perfil de carregamento de uma linha fictícia.....	98
FIGURA 40 - Mapa de atração e produção das zonas e linhas de desejo – matriz semente..	100
FIGURA 41 - Mapa de atração e produção das zonas e linhas de desejo - matriz final	105
FIGURA 42 - Conjuntos de linhas segundo uso dos cartões	106
FIGURA 43 - Carregamento da rede de transporte.....	107

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Definição da posição relativa da entrada do passageiro na linha	54
TABELA 2 - Exemplo de registro com erro de abertura/fechamento na segunda utilização ..	58
TABELA 3 - Código e nome das zonas de tráfego utilizadas para Maceió	81
TABELA 4 - Média dos tempos de viagem, por faixa horária de uma linha	86
TABELA 5 - Variação da probabilidade	87
TABELA 6 - Exemplos de cartões com registro no pico da manhã	88
TABELA 7 - Utilização de um cartão para mais de uma pessoa	91
TABELA 8 - Exemplo de passageiro que faz duas viagens seguidas	91
TABELA 9 - Percentual do itinerário por zona	94
TABELA 10 - Definição das zonas de origem e de destino	94
TABELA 11 - Demanda real, demanda do modelo e GEH das linhas	103
TABELA 12 - Resultados do GEH	104

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Vantagens e desvantagens das pesquisas de entrevista pessoal e das de autopreenchimento.....	22
QUADRO 2 - Descrição dos campos do arquivo de cartões.....	84
QUADRO 3 - Descrição dos campos do arquivo de viagens.....	84

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - Material utilizado na confecção do vale-transporte Fonte: adaptado de NTU (2010)	31
GRÁFICO 2 - Intervalo dos tempos de viagem considerados aceitos	52
GRÁFICO 3 - Distribuição percentual da demanda por faixa horária em um dia útil típico...	79
GRÁFICO 4 - Exemplo de distribuição normal dos tempos de viagem de uma linha para a faixa horária de 6:00h	87
GRÁFICO 5 - Percentual da amostra	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	Automated Data Collection
AFC	Automated Data Collection
AON	All-or-nothing
APC	Automatic Passenger Counting
AVL	Automatic Vehicle Location
CEAGB	Centro de Estudos Antônio Gomes de Barros
GEH	Geoffrey E. Havers
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	International Standard Official
MPME	Multiple Path Matriz Estimation
NTU	Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos
OD	Origem/Destino
PF	Pathfinder
SBE	Sistema de Bilhetagem Eletrônica
SESI	Serviço Social da Indústria
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SPME	Single Path Matrix Estimation
SUE	Stochastic User Equilibrium
TODME	Transit Origin Destination Matrix Estimation
TRANSPAL	Associação dos Transportadores de Passageiros do Estado de Alagoas

RESUMO

A caracterização da demanda no aspecto da distribuição espacial e temporal é fundamental no desenvolvimento de redes de transporte. Há inúmeros métodos para análise e estimativas da demanda de transporte, no entanto as metodologias convencionais apresentam custos e tempo de execução elevados, o que restringe a frequência de sua aplicação. Os sistemas de transporte vêm adotando tecnologias inteligentes para fins específicos, que geram uma infinidade de informações, e que poucas vezes são utilizadas para aprimorar os estudos e análises pertinentes como ocorre, por exemplo, com os dados do Sistema de Bilhetagem Eletrônica – SBE. Visando mitigar as deficiências dos métodos convencionais de pesquisa de transporte, principalmente prazos e custos de execução, este trabalho propõe uma metodologia para determinação de uma Matriz Origem/Destino (O/D) para passageiros do transporte público que utiliza o banco de dados do SBE baseada na experiência internacional. A metodologia é dividida em duas etapas. Na primeira é determinada uma matriz amostral que contempla parte dos passageiros usuários de cartão eletrônico, denominada matriz semente. Na etapa seguinte, a matriz semente é expandida através de um processo que utiliza contagens de fluxos de passageiros. As principais vantagens associadas a esta metodologia são: baixo custo e tempo de obtenção da matriz, elevada amostra e capacidade de se refazer a matriz com alta frequência. Este trabalho apresenta ainda a aplicação da metodologia para o sistema de transporte municipal da cidade de Maceió, capital do estado de Alagoas. Os resultados obtidos foram consistentes, no entanto, para se medir com maior exatidão a qualidade da matriz final sugere-se que, em um próximo trabalho, sejam realizados testes comparativos entre a matriz obtida pela metodologia proposta e uma matriz recente produzida através de uma metodologia já consolidada.

Palavras chave: planejamento de transportes, determinação de matriz OD, sistema de bilhetagem eletrônica, smartcard, fluxo de passageiros.

ABSTRACT

The characterization of demand in terms of spatial and temporal distribution is critical in transportation networks development. There are numerous methods for analysis and estimates of transportation demand, however conventional methods have high cost and execution time, which restrict its application frequency. Transportation systems are adopting smart technologies for specific purposes, which generate a wealth of information, but are rarely used to improve relevant studies and analysis, as it occurs with data from Automated Fare Collection - AFC. In order to mitigate the shortcomings of conventional transportation research methods, particularly implementation time and costs, this paper proposes a methodology to determinate a Transit Origin-Destination Matrix (OD) that use AFC data based on international experience. The methodology is divided into two stages. The first is given a sample matrix that includes the users of electronic card, called seed matrix. In the next step, the seed matrix is expanded through a process that uses counts of passenger flows. The main advantages associated with this methodology are: low cost and time for obtain the matrix, large sample size and capacity to rebuild matrix with high frequency. This work also presents the application of the methodology for the municipal transport system of Maceió city, capital of Alagoas state, Brazil. The results were consistent, however, to measure more accurately the quality of the final matrix is suggested that in future work, are performed comparative tests between the matrix obtained by the proposed methodology and a matrix produced by a new methodology already consolidated.

Key words: transport planning, OD matrix estimation, automatic fare collection, smartcard, transit flow.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O planejamento urbano é uma atividade fundamental para que se consiga ordenar e encaminhar o desenvolvimento dos aglomerados urbanos. A sua ausência certamente explica parte do crescimento descontrolado verificado na maioria dos municípios brasileiros.

Planejar o urbano, tanto a sua estrutura física como os seus aspectos de uso e ocupação, significa, muitas vezes, focar em programas ligados fortemente ao transporte e suas infraestruturas, já que ele é um dos principais ordenadores do espaço, produtor de ocupações que, ao mesmo tempo, passo seguinte, o atraem ainda mais intensamente. As relações entre a ocupação e o uso do solo com as estruturas de transporte explicam e condicionam o desenvolvimento das cidades. Neste cenário, a realização apropriada do planejamento demanda necessariamente um entendimento das relações de uso do solo e de sua integração com o sistema de transporte.

Por outro lado, onde o transporte responde por uma demanda existente ou futura, o dimensionamento das condições da oferta é uma tarefa fundamental no equacionamento e no desenvolvimento de redes de transporte. Há que se qualificar e categorizar a demanda - seja em seus aspectos espaciais seja nos temporais - de modo a poder estabelecer os padrões de viagem, o comportamento dos fluxos, as possibilidades de atendimento em função da estrutura viária, dentre outros.

Entretanto, o ambiente urbano é extremamente dinâmico e mutável dificultando, muitas vezes, o reconhecimento destes padrões, destes comportamentos. Na procura de destrinchar este universo, captar as informações necessárias ao desenvolvimento das soluções, desenvolveram-se diversas metodologias de modelagem de demanda na tentativa de auxiliar o planejamento de transporte.

Entre estas metodologias merece atenção especial as que procuram captar os desejos de viagem dos habitantes das cidades, coletando não só a origem e o destino de seus deslocamentos como também as variáveis de tempo a ele associados (início, fim, duração), o modo de transporte utilizado e os motivos da realização do deslocamento, além de uma série de informações adicionais, notadamente as socioeconômicas, consubstanciando as chamadas

INTRODUÇÃO

Matrizes de Origem/Destino (Matrizes OD). Para a estimação destas matrizes podem ser utilizados métodos indiretos, através de modelos matemáticos de previsão de demanda, ou métodos diretos, que se baseiam na realização em campo de uma pesquisa.

A pesquisa direta em campo é a mais comumente utilizada e, embora seja uma prática relativamente comum, verificam-se as dificuldades de realização são cada vez maiores devido às dificuldades de acesso aos entrevistados em função de problemas de segurança. Além disso, os custos e o tempo de execução deste tipo de pesquisa são muito expressivos, restringindo a frequência de sua aplicação para prazos mais alongados.

Em paralelo, no atual estágio de evolução tecnológica, surgem diariamente no mercado uma série de equipamentos, embarcados nos veículos ou de posse pessoal dos usuários, que poderiam ser utilizados para aplicação nas coletas de dados de transporte. Assim, os sistemas de transporte vêm adotando tecnologias inteligentes para fins específicos, gerando um excelente conjunto de informações ainda não aproveitadas para aprimorar os estudos e análises. Com ênfase, pela importância e disponibilidade, na bilhetagem eletrônica que é um sistema de cobrança de tarifa que armazena informações de todas as transações efetuadas no transporte público através do uso de cartões eletrônicos individuais.

Face a todas estas considerações, ampliando o uso de informações disponíveis para o aprimoramento das atividades de planejamento e programação dos sistemas de transportes, esta dissertação explora os métodos existentes de estimativa de matriz OD e propõe uma metodologia alternativa para a determinação de uma matriz específica para o transporte público, baseando-se na experiência internacional. A metodologia proposta foi aplicada ao sistema de transporte da cidade de Maceió, capital do estado de Alagoas (AL).

1.2 Justificativa da Pesquisa

Conforme mencionado anteriormente, a dimensão de custos financeiros e administrativos que envolvem a realização de uma pesquisa OD, seja em suas atividades em campo seja as posteriores de consolidação de dados em escritório, faz com que a sua periodicidade seja naturalmente baixa e a sua amostra relativamente pequena (cerca de 5% do universo). De modo geral ela é realizada a cada 10 anos. Este espaço entre pesquisas acaba por acarretar novos problemas já que o espaço urbano está em constante processo de transformação e as informações recolhidas logo entram em obsolescência.

INTRODUÇÃO

Assim, a busca de métodos alternativos para obtenção de matrizes OD que não dependam de levantamento de campo e que sejam menos onerosas, é uma constante dentro do meio técnico-acadêmico.

Entre estas alternativas, tratando-se apenas das viagens realizadas por transporte coletivo público, as que utilizam os dados de Sistemas de Bilhetagem Eletrônica (SBE) - baixo custo de execução, amostra quase do tamanho do universo pesquisado e facilidade de obtenção dos dados diretamente em forma digital – é a que parece oferecer melhores perspectivas.

1.3 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral desenvolver uma metodologia para determinação de uma Matriz OD de baixo custo, baseada no banco de dados do Sistema de Bilhetagem Eletrônica. A metodologia foi desenvolvida tendo como base a rede em SIG (Sistema de Informação Geográfica) do transporte público por ônibus do município de Maceió/AL e o banco de dados do SBE.

Para se chegar ao objetivo geral proposto, foram atingidos os seguintes objetivos específicos:

- Determinar uma matriz semente amostral a partir dos deslocamentos dos usuários de cartão eletrônico, obtidos através do banco de dados do SBE;
- Identificar um método de expansão da matriz semente que possibilite representar todos os passageiros do sistema de transporte, incluindo aqueles que pagam a tarifa utilizando dinheiro.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado em seis capítulos, sendo o primeiro este introdutório no qual são destacados a contextualização do assunto abordado, a justificativa da pesquisa, o objetivo geral e os específicos.

No segundo capítulo é feita a revisão bibliográfica acerca dos principais temas tratados nesta dissertação. O referido capítulo é dividido nos seguintes itens: estimação de demanda por transporte público, sistemas de coleta automática de dados, determinação de Matriz Origem/Destino baseada em Coletores Automáticos de Dados, determinação de Matriz

INTRODUÇÃO

Origem/Destino através de contagem de fluxo e Sistema de Informação Geográfica aplicado aos transportes.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia proposta. Os dois primeiros tópicos do capítulo abordam a montagem da rede de transporte no SIG e da obtenção e tratamento dos dados do Sistema de Bilhetagem Eletrônica. Os tópicos seguintes apresentam as duas etapas principais da metodologia: a obtenção da matriz semente e a obtenção da matriz final.

O capítulo 4 trata da aplicação da metodologia para o sistema de transporte municipal de Maceió/AL. Inicialmente é feita a caracterização da área de estudo através das condições socioeconômicas do município e de um breve diagnóstico do sistema de transporte. Em seguida é descrita a aplicação da metodologia proposta abordada no capítulo 3.

O quinto capítulo discute os resultados obtidos com a aplicação da metodologia e, por fim, o sexto capítulo apresenta as principais conclusões deste trabalho, bem como as recomendações para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção será apresentado um referencial teórico acerca dos principais temas abordados neste trabalho, a saber: Estimação de Demanda por Transporte Público, Sistemas de Coleta Automatizada de Dados, Determinação de Matriz Origem/Destino Baseada Coletores Automáticos de Dados, Determinação de Matriz OD Através de Contagens de Fluxo e Sistema de Informação Geográfica Aplicado aos Transportes.

2.1 Estimação de Demanda por Transporte Público

2.1.1 Introdução

O espaço urbano, tanto na sua estrutura física como nos aspectos de uso e ocupação, apresenta uma forte relação com o transporte. Cunha (2005), em seu estudo, apresenta 10 características de áreas urbanas e como elas interagem com o sistema de transporte, sendo elas: taxa de crescimento, descentralização, forma da cidade, altimetria, conectividade da rede, caminhabilidade, densidade populacional, setorização, atividade econômica e renda.

Os deslocamentos da população nos centros urbanos brasileiros geralmente ocorrem de forma radial. No período da manhã, grande parte das pessoas vai em direção à área central, onde quase sempre estão localizadas as principais atividades de comércio e serviço. No período vespertino, quando as pessoas estão retornando às suas residências, os fluxos são divergentes em direção oposta ao centro. Os sistemas de transporte urbanos são construídos para responder a esta lógica de deslocamento a partir da rede viária existente e tendem a acompanhar os vetores de crescimento locais. A dinâmica de crescimento das cidades e a descentralização dos pólos de atração de viagens acarretam na expansão das linhas de transporte coletivo afetando, significativamente, a eficiência dos serviços oferecidos.

Conforme destacado por Cunha (2005), as correlações entre desenhos urbanos, sua estrutura operacional e seu desenho viário manifestam-se de forma natural com o desenvolvimento das cidades. De acordo com o autor, em cidades monocêntricas as linhas de transporte tendem a ser radiais e diametrais e as cidades policêntricas estimulam a transferência e a integração entre linhas, não por terem sido abordadas em estudos técnicos, mas por ocorrerem de forma espontânea.

REVISÃO DA LITERATURA

Pode-se entender que o Sistema de Transporte Público Urbano de Passageiros é formado por um conjunto de partes (veículo, vias, terminais) que interagem de modo a promover o deslocamento espacial das pessoas em ambiente urbano. O ambiente seria formado, então, por todas as atividades desenvolvidas na cidade e que tem relação como transporte: moradia, comércio, serviços, indústrias, escolas, enfim, o uso do solo urbano. As entradas são os insumos consumidos na produção do transporte como as pessoas que foram transportadas, bem como subprodutos geralmente indesejáveis como fumaça, ruídos etc. Os passageiros entram no sistema através dos terminais e dos pontos de parada e saem ao longo do percurso da linha (pontos de parada) ou em outro terminal. (RIOS, 2007, p.8)

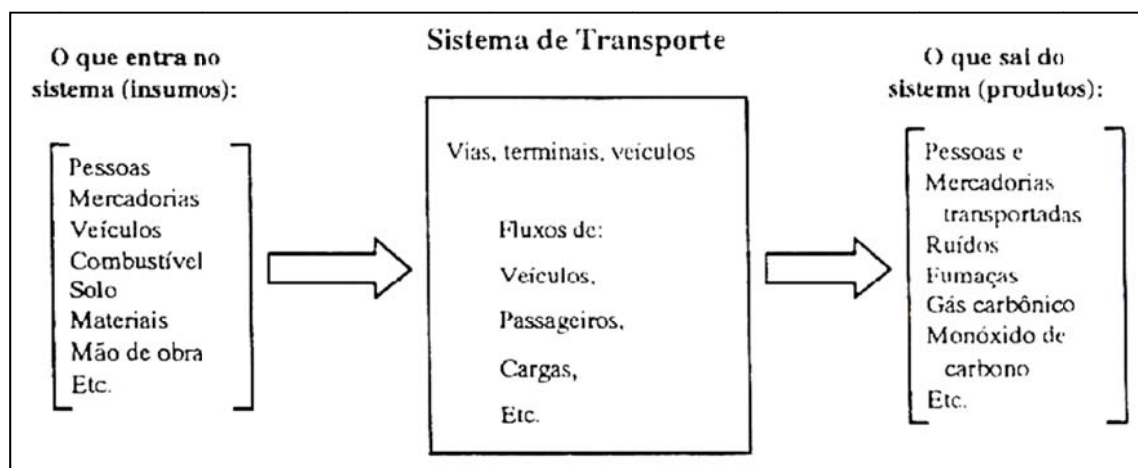


FIGURA 1 - Sistema de Transporte com entradas e saídas
Fonte: RIOS, 2007

A estimação da demanda por transportes consiste em uma das etapas fundamentais no planejamento e operação de sistemas de transportes (KANAFANI¹, 1983 *apud* Bertoncini, 2007). A partir das demandas é possível, por exemplo, planejar um novo sistema de transporte, reestruturar sistemas existentes, programar/reprogramar linhas, etc.

2.1.2 Determinação de Matriz Origem/Destino

Segundo Caceres *et al.* (2008), as Matrizes Origem/Destino são utilizadas para quantificar e sintetizar a mobilidade associada a pessoas e bens. Elas fornecem o número de viagens realizadas entre cada zona de origem e de destino em um determinado período de tempo, portanto representam a demanda por transporte em uma área. Segundo os autores, as zonas que compõem as origens e os destinos são definidas por critérios sociais e econômicos ou aglomerações populacionais que correspondem a áreas que podem ter uma relação de causa com a troca de demanda que ocorre entre elas.

¹ KANAFANI, A. **Transportation Demand Analysis**. McGraw-Hill Book Company. New York, 1983

REVISÃO DA LITERATURA

No contexto deste trabalho a demanda equivale ao número de passageiros do transporte público que viaja da zona de origem i para a zona de destino j . A FIGURA 2 mostra esquematicamente os elementos de uma Matriz OD.

D O	1	2	...	n	
1	d_{11}	d_{12}	...	d_{1n}	P_1
2	d_{21}	d_{22}	...	d_{2n}	P_2
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮
n	d_{n1}	d_{n2}	...	d_{nn}	P_n
	A_1	A_2	...	A_n	A/P

FIGURA 2 - Elementos da Matriz Origem/Destino

A primeira coluna e a primeira linha da matriz representam, respectivamente, o conjunto de zonas de origem (O_i) e de destino (D_j). Os demais elementos são:

d_{ij} : Demanda com origem na zona i e destino na zona j ;

P_i : Produção de demanda da zona i ;

A_j : Atração de demanda da zona j ;

A/P : Total de atração/produção de demanda das zonas.

Os valores localizados na diagonal principal da matriz, onde $i = j$, representam as demandas internas a cada zona, demandas intra-zonais.

Os métodos utilizados para a obtenção de matrizes OD podem ser divididos em duas categorias: métodos diretos ou indiretos.

2.1.2.1 Métodos Diretos

Os métodos diretos para obtenção de matrizes OD baseiam-se em pesquisas de Origem/Destino. Segundo Ferreira (1999), mesmo para pequenas amostragens nas pesquisas OD estes métodos demandam uma quantia grande de recursos financeiros e consomem muito tempo na execução. Além disso, o autor acrescenta que podem ocorrer dificuldades durante a

condução das pesquisas. Uma delas advém da resistência de muitas pessoas em responder a questões sobre seus padrões de viagem.

Dentre os diversos métodos de pesquisa OD citados por Richardson *et al.* (1995), destacam-se os seguintes:

- Pesquisa de observação;
- Pesquisa de entrevista pessoal domiciliar;
- Pesquisa domiciliares de autopreenchimento;
- Pesquisa de abordagem;
- Pesquisa por telefone.

Outros métodos são descritos pelo autor, entretanto não serão abordados em função de sua pouca relevância para os objetivos deste trabalho. A seguir são explicados cada um dos métodos citados conforme descrição de Richardson *et al.* (1995).

a) Pesquisa de Observação

As pesquisas de observação são bastante utilizadas no ramo dos transportes. Os dois tipos básicos são pesquisa de observação direta e pesquisa de observação indireta. Alguns exemplos de pesquisa indireta são listados abaixo:

- Marcas de desgaste (causados por veículos ou pedestres) que podem indicar o fluxo de tráfego predominante;
- Destroços de acidentes ou marcas de derrapagem que podem indicar locais perigosos em estradas;
- Vendas de combustível, e outros indicadores econômicos, para avaliar as atividades em vários setores dos transportes.

As pesquisas do tipo direta são mais comumente utilizadas que as pesquisas indiretas. Exemplos de pesquisa de observação direta incluem:

- Inventário de pesquisas de transporte utilizando técnicas como a gravação de vídeos, imagem digital ou veículos instrumentados;
- Pesquisas de contagem dos diversos tipos: contagem de tráfego em trechos ou interseções de vias, contagem em *cordon-line* e *screen-line*, contagem de passageiros

em linhas de transporte público ou de embarque e desembarque de passageiros (pesquisas Sobe/Desce simples).

Um tipo de pesquisa de observação direta que merece destaque nesta seção é a pesquisa Sobe/Desce com identificação de OD. Diferentemente das contagens de passageiros simples, com este tipo de pesquisa é possível identificar não apenas o número de passageiros que entra e sai dos veículos como também os pontos de embarque e de desembarque de cada passageiro de uma linha de transporte público. A pesquisa é executada alocando-se dois pesquisadores dentro do veículo, um próximo à porta de embarque e outro próximo à porta de desembarque. Se o veículo possuir três portas, são utilizados três pesquisadores. O pesquisador da porta de embarque entrega um cartão ao passageiro que embarca contendo o código do ponto de embarque. Ao desembarcar, o passageiro entrega o cartão ao outro pesquisador que o identifica com o código do ponto de desembarque. Ao final da viagem os cartões são reunidos e suas informações são transcritas ao computador.

b) Pesquisa Domiciliar

As pesquisas domiciliares podem ser divididas em dois tipos básicos: a de entrevista pessoal e a de autopreenchimento. A pesquisa de entrevista é aquela realizada na residência do entrevistado em que um pesquisador faz uma série de perguntas anotando as respostas em um formulário próprio. Já a pesquisa domiciliar de autopreenchimento é aquela na qual as pessoas respondem a um questionário sem que haja a assistência de um entrevistador. Neste tipo de pesquisa é necessário que a pessoa desempenhe três tarefas: a leitura e o entendimento da questão, mentalização da resposta e transcrição para o formulário.

A forma de coleta e distribuição dos questionários pode variar conforme a necessidade. Essas variações incluem:

- Pesquisa de envio e retorno dos questionários via correio;
- Entrega pessoal do questionário com retorno via correio;
- Entrega e coleta pessoal dos questionários.

Richardson *et al.* (1995) afirmam que o contato pessoal com a equipe de pesquisa geralmente aumenta a taxa de resposta, o que resulta em uma elevação na qualidade das respostas e permite que sejam dadas instruções e sanadas algumas dúvidas. No último tipo, a pressão de preencher o formulário antes que ele seja recolhido, favorece o aumento da taxa de

REVISÃO DA LITERATURA

respostas. O QUADRO 1 apresenta as principais vantagens e desvantagens destes tipos de pesquisa.

QUADRO 1 - Vantagens e desvantagens das pesquisas de entrevista pessoal e das de autopreenchimento

	Pesquisa de Entrevista Pessoal Domiciliar	Pesquisa Domiciliar de Autopreenchimento
Vantagens	<p>Em geral, maiores taxas de resposta podem ser obtidas;</p> <p>Permite maior flexibilidade quanto ao tipo de informação a ser coletada;</p> <p>A presença do entrevistador significa que podem ser dadas explicações sobre o significado da pergunta;</p> <p>Podem ser conduzidas em um período de tempo mais curto;</p> <p>Como as pesquisas podem ser muito longas, a presença do entrevistador pode manter o entrevistado interessado e garantir que todas as perguntas sejam respondidas;</p> <p>O entrevistador pode fazer a avaliação da validade das respostas em função do interesse do entrevistado e do modo como as perguntas são respondidas.</p>	<p>Geralmente são mais baratas que as pesquisas de entrevista pessoal;</p> <p>Permitem uma cobertura geográfica mais ampla devido às taxas de correio geralmente não variarem em função da distância;</p> <p>Possíveis influências causadas pelo pesquisador são eliminadas devido à sua ausência;</p> <p>O participante dispõe de maior tempo para responder e, além disso, pode também escolher do momento e o local para completar o questionário.</p>
Desvantagens	<p>São mais caras devido ao alto custo da mão-de-obra;</p> <p>Para reduzir o tempo e os custos gastos com o deslocamento dos pesquisadores são utilizados agrupamentos de residências com base geográfica fazendo com que o tamanho efetivo da amostra seja reduzido, com conseqüente redução da precisão;</p> <p>A interação entre o entrevistador e o entrevistado pode afetar o participante e o dado coletado de diversas maneiras como, por exemplo, a pessoa entrevistada por se sentir constrangida em relação à sua resposta ou então um entrevistador pode subconscientemente transmitir sua opinião ao entrevistado pela maneira como faz a pergunta ou pela maneira como reage à resposta dada.</p>	<p>Possui baixo índice de respostas;</p> <p>A aparência e a linguagem do questionário devem ser extremamente claras e simples devido à ausência do pesquisador;</p> <p>É difícil assegurar que a pessoa certa irá preencher o questionário;</p> <p>A pesquisa tende a ser desviada ao setor da população mais alfabetizado que pode ter um comportamento de viagem diferente dos demais;</p> <p>Em geral, podem ser feitas apenas perguntas simples. Questões que dependam de respostas anteriores precisam da habilidade de um entrevistador;</p> <p>No formulário de autopreenchimento as respostas são dadas como definitivas. Não há como esclarecer respostas ambíguas ou pouco claras;</p> <p>Não podem ser obtidas respostas espontâneas. As respostas dadas podem não ser a opinião do entrevistado, mas sim fruto de discussões com outras pessoas.</p>

c) Pesquisa de Abordagem

A pesquisa de abordagem é aquela em que o local de entrevista não é necessariamente a residência do entrevistado. As pessoas são abordadas no curso de uma atividade, podendo, a entrevista, ser realizada no interior do veículo de transporte público, em

vias públicas e em outros locais de atividades tais como *shopping-center*, locais de trabalho ou terminais de transporte.

Este tipo de pesquisa pode ser realizado diretamente com o usuário do transporte público.

Os principais tipos de pesquisa de abordagem são:

- Distribuição do questionário dentro do veículo com retorno via correio;
- Distribuição e coleta dos questionários dentro do veículo;
- Solução híbrida com distribuição e coleta dentro do veículo mais retorno via correio. Nestes casos, uma primeira parte do questionário é devolvida ainda dentro do veículo e uma parte maior da entrevista é devolvida via correio;
- Entrevista pessoal de abordagem. As pessoas são abordadas para a realização de uma entrevista.

d) Pesquisa por Telefone

As entrevistas por telefone têm seu uso mais difundido nas pesquisas de mercado, no entanto existem alguns estudos de transporte que fazem o uso desta modalidade de pesquisa. As principais vantagens deste método são:

- Oferece ampla cobertura geográfica;
- Quando ocorre em centrais de entrevista, permite uma melhor supervisão dos serviços;
- Permite o uso de questionários eletrônicos através do uso do computador;
- São mais baratas que as entrevistas pessoais;
- As dúvidas dos entrevistados podem ser esclarecidas no momento da entrevista.

As pesquisas por telefone possuem, no entanto, algumas sérias desvantagens como, por exemplo:

- Existe um limite no tamanho da pesquisa a ser realizada por telefone;
- Raramente é conseguido entrevistar mais de uma pessoa em cada residência;
- Com a quantidade crescente do *telemarketing* está se tornando cada vez mais difícil para os pesquisadores estabelecer sua credibilidade no início da entrevista;

REVISÃO DA LITERATURA

- Pode ocorrer um viés na amostragem por se poder apenas entrevistar residências que possuem telefone;
- Devido à natureza da pesquisa, não se pode fazer uso de recursos visuais.

2.1.2.2 Métodos Indiretos

Os métodos indiretos são aqueles que utilizam modelos matemáticos de previsão de demanda por transporte. Em alguns casos esses métodos são conjugados com pesquisas de campo simples. Os principais métodos indiretos são os modelos que se baseiam em contagens volumétricas em trechos da rede, e os modelos de distribuição de viagens. Os modelos de determinação de matriz OD que utilizam contagem de volume em trechos da rede serão tratados no item 2.4.

Segundo Ferreira (1999), a distribuição de viagens representa um passo na abordagem sequencial de estimativa de demanda. A abordagem sequencial adota submodelos que implicam no seccionamento em etapas da modelagem de demanda. A divisão do problema em um modelo sequencial analisa a sucessão de decisões tomadas por uma pessoa antes de efetuar uma viagem. Para o autor, supõe-se primeiramente que o indivíduo decide exercer uma atividade, decide então onde exercer, depois escolhe o modo e finalmente a rota. Os passos que sintetizam o método sequencial de quatro etapas são: geração de viagens, distribuição de viagens, divisão modal e alocação de viagens às rotas.

McNally (2000) afirma que o objetivo da geração de viagens é definir a magnitude do total de viagens diárias no nível zonal para diferentes atividades. Para ele esta etapa traduz a atividade das zonas em viagens, simultaneamente separando cada viagem em uma atração e uma produção. Sobre a distribuição o autor afirma que o objetivo da etapa é recombinar a geração de viagens, definida como atração e produção, pares de origem/destino. O modelo de distribuição é essencialmente um modelo de escolha de destino e produz uma matriz de viagens, a Matriz OD.

Uma descrição sobre os principais modelos de distribuição de viagens para obtenção de matriz OD é apresentada em Ferreira (1999).

2.1.2.3 Outros Métodos

Nos últimos anos, com o uso difundido de tecnologias como a telefonia celular e os sistemas inteligentes de transporte, novos métodos de obtenção de Matriz OD vem sendo desenvolvidos. Um desses métodos, conforme citado anteriormente, é o que utiliza dados do sistema de bilhetagem eletrônica para determinar matrizes OD de passageiros de transporte público. Estes métodos serão discutidos no item 2.3.

Outro método surgido recentemente utiliza dados da rede de telefonia celular. Através deste método, a matriz OD é determinada a partir das informações de localização dos telefones celulares. A rede de celular deve ter uma estimativa da posição dos aparelhos para definir a estação a qual eles devem se conectar (FIGURA 3). Assim, existe um processo automático que mantém a rede informada da posição do telefone dependendo de seu status (CACERES *et al.*, 2008). Segundo Caceres *et al.* (2007), o nível de precisão fornecida pelo sistema global para comunicação móvel (GSM) é a célula – área coberta por uma estação base (antena). A precisão dependerá do raio da célula que segundo os autores pode ser de 200m em áreas urbanas ou entre 5 e 20km em áreas rurais.

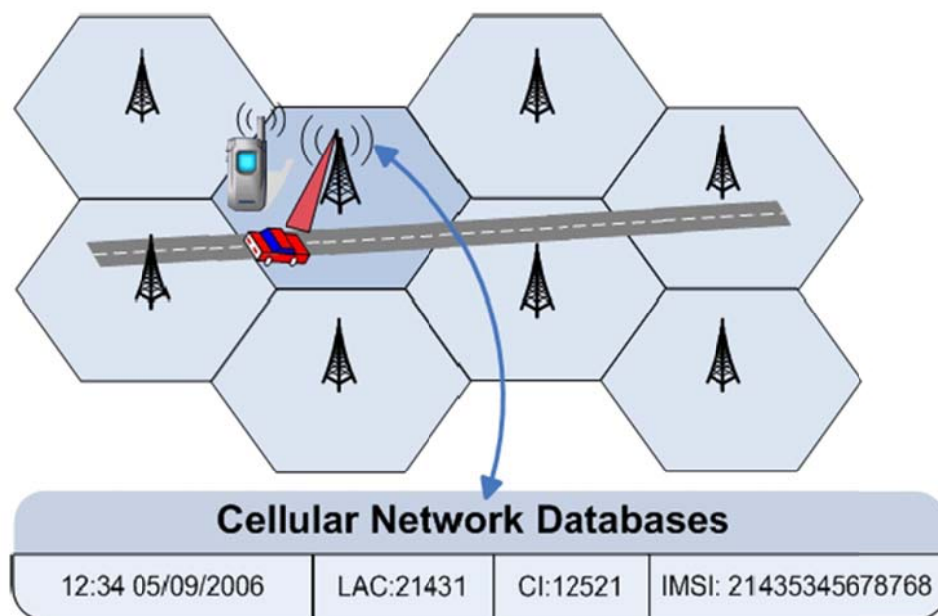


FIGURA 3 - Visão esquemática da conexão de um aparelho celular a uma célula
 Fonte: Wideberg *et al.* (2007)

Para Caceres *et al.* (2007; 2008) as maiores vantagens ligadas aos métodos de obtenção de matriz OD através de dados de telefonia celular são:

- Ampla amostra;
- Cobertura ubíqua e ampla de uma área;
- Geração de dados quase que em tempo real;
- Capacidade de produzir informações sobre o tráfego, ver Caceres *et al.* (2007; 2008);
- Dados são coletados diretamente sobre o que ocorre e não através de entrevistas;
- Consome pouco tempo.

Para os autores, a maior desvantagem do método está ligada ao fato de não serem detectadas as viagens internas às zonas.

2.2 Sistemas de Coleta Automatizada de Dados

Os sistemas de Coleta Automatizada de Dados (ADC, do termo em inglês *Automated Data Collection*) têm seu uso cada vez mais difundido em todo o mundo. Estes sistemas incluem a Localização Automática de Veículo (AVL, *Automatic Vehicle Location*), a Contagem Automática de Passageiros (APC, *Automatic Passenger Counting*) e a Bilhetagem Automática (AFC, *Automatic Fare Collection*). Nesta seção será apresentada uma descrição destes sistemas dando maior ênfase ao Sistema de Bilhetagem Automática, pois este será adotado na metodologia proposta. Os outros dois são descritos em aplicações para obtenção de Matriz OD no item 2.3.

2.2.1 Localização Automática de Veículos

Os sistemas de Localização Automática de Veículos informam a localização de um veículo através de uma das seguintes formas:

- Sistema de Posicionamento Global (GPS): O mais difundido e preciso dos sistemas baseia-se na localização geográfica do veículo por satélite. A utilização do GPS na frota do transporte público está aumentando cada vez mais em todo o mundo e também no Brasil;
- Odômetro: O sistema de leitura de odômetro determina a posição relativa de um veículo a partir de uma rota pré-determinada;
- Ondas de rádio: Este sistema determina a localização dos veículos através de detectores localizados em pontos fixos da rede que se comunicam por meio de transmissores de ondas de rádio localizados no interior dos veículos.

Existem ainda sistemas mistos que combinam duas ou mais destas tecnologias para determinar a localização dos veículos de forma mais precisa. A FIGURA 4 ilustra esquematicamente um sistema de Localização Automática de Veículo contemplando a rede de comunicação em tempo real.

[Digite uma citação do documento ou o resumo de um ponto interessante. Você pode posicionar a caixa de texto em qualquer lugar do documento. Use a guia Ferramentas de Desenho para alterar a formatação da caixa de texto de citação.]

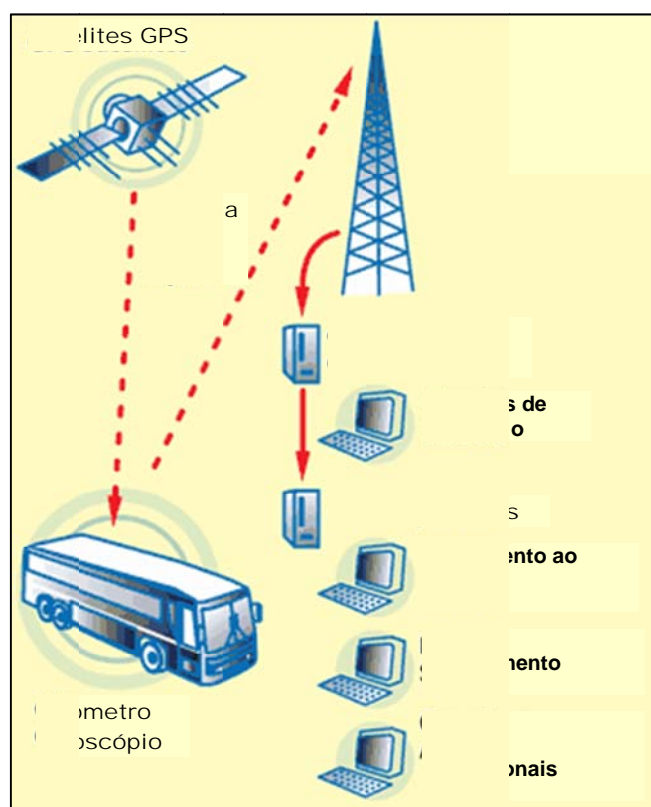


FIGURA 4 - Sistema de Localização Automática de Veículos e a rede de comunicação em tempo real (fonte: adaptado de http://www.pcb.its.dot.gov/factsheets/avl/avlHuman_overview.asp)

2.2.2 Contadores Automáticos de Passageiros

Os Contadores Automáticos de Passageiros são sistemas que determinam a quantidade de passageiros que embarcam e desembarcam em cada ponto de parada de uma linha do transporte coletivo. A contagem dos passageiros pode ser feita através de um sistema de feixes de infravermelho posicionado na porta do veículo (FIGURA 5). Os feixes, quando interrompidos pela presença de um passageiro, registram sua passagem e, dependendo do sentido, determina se foi um embarque ou um desembarque. Outro sistema utilizado consiste em sensores de pressão instalados no piso do veículo que registram a passagem de um usuário

a partir de seu peso. Da mesma forma do sistema anterior, dependendo da ordem em que são ativados, registram um embarque ou um desembarque.



FIGURA 5- Contador Automático de Passageiros
Fonte: www.roadtraffic-technology.com

2.2.3 Sistemas de Bilhetagem Automática

O pagamento da tarifa nos sistema de transporte público pode ser feito no interior do veículo ou antecipadamente. Para Ferraz e Torres (2004), o pagamento antecipado consiste na aquisição prévia de comprovantes os quais são utilizados no momento do acesso ao veículo ou à estação (ou terminal). Estes comprovantes podem ser objetos físicos inertes ou com informações magnéticas gravadas. Os autores enumeram os seguintes tipos de comprovantes:

- Bilhete comum (vale-transporte ou passe): é entregue ao funcionário responsável pelo acesso na estação ou no momento em que o usuário embarca no veículo. É geralmente produzido em papel ou papelão;
- Ficha plástica ou metálica: pode ser utilizada em catracas automáticas ou da mesma forma que o bilhete comum. A vantagem em relação ao bilhete comum é que, por ser produzida em material mais resistente, pode ser reutilizada. A desvantagem é que pode ser mais facilmente reproduzida ilegalmente;
- Ficha com material magnético: é similar à anterior, porém possui material magnético que é reconhecido por um dispositivo eletrônico acoplado à catraca, denominado validador. Geralmente é adotada para se evitar o uso indevido;
- Bilhete magnetizado: é um bilhete de papelão com informações magnéticas gravadas em sua superfície (FIGURA 6). Quando é introduzido no validador libera o acesso ao passageiro. As informações magnéticas gravadas no bilhete podem permitir seu uso

REVISÃO DA LITERATURA

em um determinado número de viagens ou dentro de um intervalo de tempo pré-definido (dia, semana, mês). Este tipo de bilhete possui dois formatos: ISO (*International Standard Official*) e Edmonson;



FIGURA 6 - Exemplo do bilhete com tarja magnética tipo Edmonson (metrô de Paris)
Fonte: thealteredartstore.com

- Carteira de papel cartão: é fornecida àqueles usuários que utilizam o sistema gratuitamente ou possuem algum tipo de desconto ou mesmo àqueles pessoas que pagam a passagem previamente para utilizar o sistema por um período determinado de tempo. Este tipo de documento é de uso individual e geralmente possui a identificação da pessoa proprietária;
- Cartão plástico com informação magnética: este tipo de cartão pode ser de dois tipos: com informações magnéticas gravadas na superfície (assim como os bilhetes magnetizados), ou mesmo com informações magnéticas armazenadas em um circuito impresso (chip), mais conhecidos como cartões chipados ou *smatcards* (FIGURA 7).



FIGURA 7 - Sistema de Bilhetagem Eletrônica com tecnologia *smartcard*
Fonte: www.guaratingueta.sp.gov.br

Segundo Gordillo (2006), os sistemas de bilhetagem se destinam a fornecer uma plataforma barata, rápida segura e amigável ao usuário de coleta de tarifa e de controle de acesso ao serviço. O autor acrescenta ainda que existe uma forte tendência de automatização destes sistemas. Estes aparatos eletrônicos, conhecidos no Brasil como Sistemas de Bilhetagem Eletrônica, trazem inúmeras vantagens ao transporte em si e aos seus usuários. A seguir são listadas algumas das vantagens extraídas de Hong (2005) e NTU (2005).

Dentre os benefícios da bilhetagem eletrônica para os usuários, destacam-se:

- Facilidade de uso;
- Proporciona maior conforto e segurança ao usuário, pois elimina a necessidade de lidar com troca de dinheiro;
- Reduz tempo de embarque, pois torna ágil a transação;
- Amplia as facilidades de integração.

Os benefícios para os operadores e gestores são:

- Melhora a confiabilidade do serviço já que reduz o tempo de embarque;

REVISÃO DA LITERATURA

- Redução da evasão de tarifa e de fraude quando comparado com outras mídias;
- Elimina o comércio paralelo de vales-transporte;
- Proporciona mais segurança para a empresa operadora que não necessita lidar com dinheiro;
- Controla os benefícios cedidos a determinados usuários tais como gratuidade, descontos, etc;
- Aprimora o controle de arrecadação;
- Facilita a gestão da informação.

Os *smartcards* são a opção mais moderna e flexível de pagamento de tarifa. Trépanier *et al.* (2008) lembram que o uso destes cartões no transporte coletivo começou a ser explorado nos anos 2000 apesar de eles terem sido inventados no final da década de 1960. Gordillo (2006) destaca que estes cartões estão rapidamente se tornando o padrão global de tarifação nos sistemas de transporte público. Nas grandes cidades brasileiras², segundo o relatório anual do vale-transporte de 2010 produzido pela NTU (Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos), os *smartcards* representam mais de 80% dos vales-transporte (GRÁFICO 1). Em 2000, o material mais utilizado era o papel impresso, representando 67% do total.

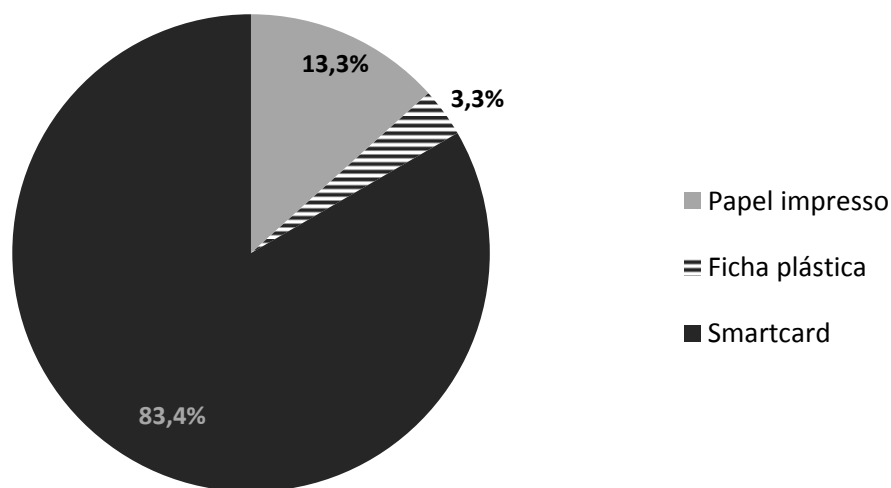


GRÁFICO 1 - Material utilizado na confecção do vale-transporte
Fonte: adaptado de NTU (2010)

² A pesquisa realizada pela NTU em 2010 englobou dados de 26 sistemas de transporte de capitais brasileiras e cidades acima de 500 mil habitantes, sendo elas: Aracaju, Belém, Belo Horizonte, Brasília, Campinas, Campo Grande, Cuiabá, Curitiba, Fortaleza, Goiânia, João Pessoa, Maceió, Manaus, Natal, Palmas, Porto Alegre, Porto Velho, Recife, Rio Branco, Rio de Janeiro, Salvador, São Luís, São Paulo, Teresina e Vitória.

REVISÃO DA LITERATURA

Para Gordillo (2006), os cartões chipados têm inúmeras vantagens sobre os que levam informações magnéticas gravadas na superfície. Eles são mais rápidos, seguros, tem longa vida e podem ser associados a um único proprietário. Além disso, a NTU (2005) enumera os seguintes serviços relativos a pagamento que podem ser oferecidos por estes cartões:

- Garantia de mais uma viagem, mesmo sem crédito suficiente para tal;
- Recarga automática, por transferência eletrônica associada a uma conta bancária;
- Cancelamento em caso de extravio;
- Seguro contra roubo e garantia de menor tarifa no caso de haver mais de uma possibilidade de tarifação pelo usuário da rede.

Através do uso de uma mídia de pagamento eletrônico de tarifa, as agências de trânsito podem coletar um extenso volume de dados de transação dos usuários. Estes dados correspondem à venda de bilhetes, entrada do passageiro no sistema e em alguns casos – geralmente em sistemas que tem tarifação baseada em distância ou em zonas – a saída do passageiro do sistema (WILSON³ *et al.*, 2005 *apud* GORDILLO, 2006).

Tanto o uso do sistema de bilhetes com tarja magnética quanto o uso dos *smartcards* podem fornecer informações quanto à transação, porém, somente os *smartcards* podem fornecer dados pessoais do proprietário.

Segundo Trépanier *et al.* (2008), nos sistemas que utilizam os *smartcards* cada usuário dispõe de um cartão contendo um circuito integrado (*chip*) para armazenamento de dados e uma antena. De uma maneira geral, o *chip* contém um identificador e os dados que indicam o tipo de cartão e a data de validade. Quando o usuário embarca no ônibus ele passa o cartão no leitor. Este último transmite um sinal ao cartão que o retorna com seus dados. O leitor indica em seguida, por um sinal luminoso e sonoro, se o cartão é válido para a linha e a direção correntes. No fim do dia as informações coletadas nos ônibus são transferidas para uma base de dados central.

Para os autores os dados dos *smartcards* permitem examinar os comportamentos de deslocamentos associados aos cartões a um nível bastante preciso de detalhe, podendo-se examinar cada linha e cada ponto de parada em cada horário de operação, afim de avaliar a variabilidade da demanda de transporte coletivo no tempo e no espaço.

³ Wilson, N; Zhao, J; Rahbee, A. The Potential Impact of Automated Data Collection Systems on Urban Public Transport Planning. **TRAIL Research School**, Delft, maio 2005.

Pelletier *et al.* (2009) fazem uma revisão sobre os usos dos dados de transação dos *smart cards* no contexto do transporte público dividindo-os em três categorias:

- Estratégica: é relativo ao planejamento de longo prazo, análise do comportamento de usuários e previsão de demanda;
- Tática: esta categoria foca nos ajustes de programação dos serviços;
- Operacional: relativo à indicadores de oferta e de demanda e à operação dos sistemas de bilhetagem.

2.3 Determinação de Matriz Origem/Destino Baseada em ADC

Segundo Cui (2006), com o aumento da utilização dos Coletores Automáticos de Dados no transporte público em todo o mundo, houve um recente desenvolvimento nas pesquisas envolvendo estimativa de Matrizes OD a partir dos dados gerados por estes sistemas de coleta, tanto para o transporte sobre trilhos como para o transporte por ônibus. Cada sistema de transporte possui de um conjunto de dados próprio que nem sempre oferece os mesmos tipos de informações em relação a outros. Sendo assim, as pesquisas tendem a ter uma diferença tanto no foco como na metodologia.

O método de determinação de Matriz Origem/Destino baseado em Coletores Automáticos de Dados tem diversas vantagens sobre o método tradicional baseado em pesquisas. Cui (2006) enumera os seguintes:

- O custo de obtenção da matriz é significativamente reduzido;
- A matriz produzida é baseada em uma amostra grande;
- O processo é mais adaptado à automatização o que o faz mais rápido e capaz de ser refeito com maior frequência;
- Este método pode ser combinado com um método de entrevistas mais efetivo e específico.

Estes benefícios são discutidos a seguir:

- a) Redução de Custo: O custo total de execução do método tradicional é extremamente elevado, principalmente quando as entrevistas são realizadas em sistema de grande porte, onde as linhas são complexas e numerosas. Diversos elementos compõem este custo tais como recrutamento e treinamento de equipe, produção dos materiais

REVISÃO DA LITERATURA

envolvidos na execução, remuneração, transporte e alimentação da equipe, tabulação dos dados, dentro outros.

A economia feita adotando-se o método de coleta automática de dados acontece porque, além de não envolver equipes de pesquisa, “os equipamentos são adquiridos previamente para outros propósitos e são projetados para coletar e arquivar as transações dos passageiros e os eventos do veículo em todas as viagens equipadas”. (CUI, 2006).

- b) Elevada amostra: Segundo Cui (2006), o tamanho da amostra do método tradicional, baseado em entrevistas, é sempre limitado devido aos altos custos envolvidos. Geralmente, utiliza-se amostras menores que 5% do universo. Determinar a Matriz Origem/Destino utilizando-se métodos baseados em Coletores Automáticos de Dados pode ter vantagens em relação ao tamanho da amostra, visto que o sistema armazena informações durante todo o dia e em todas as viagens cujos veículos são equipados. Em Maceió/AL, cidade para a qual foi aplicada a metodologia proposta neste trabalho, a amostra obtida representa 32% do universo de passageiros, conforme apresentado no item 4.3 deste documento.
- c) Maior frequência de execução: O método que utiliza os sistemas de coleta automática de dados permite uma frequência muito maior de execução. O custo de se produzir um sistema automatizado que lê as informações geradas pelos ADC e gera a Matriz Origem/Destino, acontecerá apenas na primeira vez. Todas as demais vezes em que se quiser atualizar a matriz, basta submeter as informações mais recentes ao sistema automatizado.

As matrizes OD feitas pelo método baseado em entrevistas são feitas com frequência muito baixa, geralmente com um intervalo entre 5 e 10 anos.

- d) Direcionamento para pesquisas por entrevistas mais específicas:

Quando os resultados da matriz OD feita pelo método que utiliza ADC identifica certas áreas de especial interesse, uma pesquisa por entrevista mais direcionada pode ser conduzida em uma linha específica, ou em uma parte de uma linha específica, ou mesmo em um ponto de transferência maior para se obter informações mais detalhadas que não sejam disponíveis nos sistemas ADC (CUI, 2006).

Existem inúmeras diferenças entre os sistemas de coleta automática de dados nos transportes sobre trilhos e nos transportes por ônibus. Entretanto, um fator importante que diferencia as metodologias para os dois tipos de sistema diz respeito ao local de pagamento da tarifa. No sistema sobre trilhos o pagamento da tarifa é feito nas estações, enquanto que nos sistemas por ônibus, na maioria dos casos, o pagamento é feito no interior do veículo. Este

fator influencia diretamente no método adotado, visto que este se baseia nos registros dos cartões do SBE. Nos sistemas em que o pagamento é feito nas estações, a origem do passageiro é determinada de forma direta como sendo a estação onde o pagamento foi feito. Já nos sistemas por ônibus, são utilizados, de forma complementar, os dados gerados pelos sistemas de localização automática do veículo. Assim, a origem do passageiro é determinada como sendo a posição geográfica do veículo no instante em que o passageiro efetuou a validação do seu cartão. O nível de precisão destas metodologias é menor do que as que se baseiam em sistemas com pagamento nas estações, já que existe uma diferença de tempo entre o embarque do passageiro e o pagamento da tarifa. Entretanto, é fácil perceber que nos sistemas com pagamento no interior do veículo consegue-se chegar mais perto do local de origem/destino do passageiro devido à maior capilaridade dos sistemas de ônibus. Nos sistemas com pagamento nas estações, existe uma grande distância de caminhada entre o local de origem/destino até o acesso ao transporte.

Outro fator que faz com que as metodologias sejam diferentes em sua essência é que em alguns sistemas de transporte sobre trilhos o controle de acesso é feito tanto na entrada como na saída (sistema fechado). A primeira publicação sobre o uso dos dados da bilhetagem eletrônica para determinação de matriz OD ocorreu em um sistema sobre trilhos fechado nos anos de 1980. Buneman⁴ (1984 *apud* Farzin, 2008) aplicou a metodologia no *Bay Area Rapid Transit*, na região de São Francisco, nos Estados Unidos.

Segundo Zhao (2004), nas metodologias que abordam os sistemas cujo controle de acesso ocorre apenas na entrada (sistemas abertos), algumas suposições devem ser feitas para se inferir o local de desembarque (destino) do passageiro:

- O passageiro inicia sua próxima viagem na estação de destino (ou na mais próxima) da viagem anterior;
- O passageiro termina a sua última viagem do dia onde ele iniciou sua primeira viagem do dia.

Zhao (2004), em seu trabalho, desenvolve uma metodologia para a inferência do destino de um passageiro em um sistema de trilhos para a *Chicago Transit Authority*. Associado aos dados do SBE, são utilizados os dados do sistema de Localização Automática

⁴ Buneman, K. Automated and Passenger-Based Transit Performance Measures. **Transportation Research Record 992**, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1984, pp. 23–28.

do Veículo e uma rede em SIG. Ele analisa também, a possibilidade de não se dispor de um sistema AVL. A diferença de seu estudo para os anteriores é que ele examina, além da integração trilho-trilho, a integração trilho-ônibus. O autor utiliza as informações de transferência para o ônibus para melhorar a matriz de passageiros do transporte sobre trilho, mas não inclui os deslocamentos por ônibus na matriz.

A *Chicago Transit Authority* continuou a evoluir seus estudos e, dois anos após o trabalho anterior, Cui (2006) publicou uma metodologia para estimar uma Matriz Origem/Destino para ônibus a partir de dados obtidos de múltiplos sistemas de coleta automática de dados. Sua tese foca no sistema com controle apenas de entrada.

Trépanier *et al.*⁵ (2007 *apud* Chapleau *et al.*, 2008; Munizaga *et al.*, 2010) propuseram um método para estimar o ponto de desembarque de uma viagem em sistemas com controle de acesso apenas na entrada. A aplicação foi feita na cidade de Gatineau, em Quebec, no Canadá. No prosseguimento deste estudo, Trépanier *et al.* (2008), desenvolveram uma metodologia, baseada em uma abordagem orientada ao objeto em transporte, para comparar os dados provenientes do SBE com os proveniente da pesquisa Origem/Destino. As informações das transações referem-se ao mesmo período da pesquisa OD, setembro a novembro de 2005. Embora não se tenha obtido boas conclusões, os autores reforçam que a publicação é um primeiro exercício de comparação entre dados obtidos da bilhetagem eletrônica e dados obtidos de uma pesquisa OD.

Lianfu *et al.* (2007) propõem uma método para construir uma matriz OD no nível do ponto de parada utilizando dados do SBE da cidade de ChangChu na China. O método não utiliza dados do sistema AVL. A referência com os pontos de parada é feita através das informações obtidas por meio de um questionário preenchido a bordo pelo motorista com os horários de cada parada.

No Brasil, Farzin (2008) desenvolveu uma metodologia para a cidade de São Paulo. A autora utiliza três fontes primárias de dados para obter a matriz: as transmissões do sistema AVL, a localização geográfica dos pontos de parada das linhas em análise e a base de dados do SBE. Os dois primeiros conjuntos de informações são unidos para determinar o ponto de parada mais próximo de cada transmissão do GPS. Em seguida, baseado nos

⁵ Trépanier, M.; Tranchant, N.; Chapleau, R. Individual Trip Destination Estimation in a Transit Smart Card Automated Fare Collection System. **Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning and Operations**. 1, n.1, 2007. 1-14

horários das transações, associa-se, a cada passageiro, o ponto de parada mais próximo. Por último os destinos são inferidos conforme metodologia proposta por Zhao (2004). Todo o processo é modelado através de linguagem SQL. Na metodologia proposta pela autora, não é contemplada a etapa de expansão da matriz para estimar todas as viagens do sistema. São considerados apenas os passageiros que embarcaram em veículos equipados com GPS (em 2006, o sistema AVL não estava presente em toda a frota). Os resultados obtidos através da metodologia proposta, utilizando dados de 2006, são comparados com a matriz OD realizada na cidade no ano de 1997. Apesar de ter havido semelhança nos resultados, algumas diferenças surgiram em função de fatores como: a ocorrência de transformações na cidade durante o período ente 1997 e 2006; a matriz de 2006 captura apenas os padrões de viagem dos usuários de cartão eletrônico; a matriz obtida contempla apenas os passageiros que embarcam em veículos equipados com AVL.

Um estudo mais recente foi desenvolvido em Santiago, no Chile, por Munizaga, Palma e Mora (2010) baseado na metodologia de Trépanier (2007 *apud* Chapleau *et al.*, 2008; Munizaga, Palma e Mora, 2010). A base de dados primária necessária é semelhante às utilizadas na metodologia mencionada anteriormente: transações do SBE, posição dos veículos pelo sistema AVL e rede de transporte georreferenciada. As autoras desenvolveram uma metodologia para obtenção de matriz OD para um sistema composto por ônibus e metrô em que as transações ocorrem em três locais diferentes: no interior dos ônibus, nas estações de ônibus e nas estações de metrô. Na metodologia, o ponto de desembarque (destino) foi tomado como sendo o que minimizasse a distância de caminhada entre ele e o ponto de embarque seguinte. No caso do embarque nas estações de ônibus foi aplicado o conceito de “linhas comuns de ônibus” proposto por Chriqui e Robillard⁶ (1975 *apud* Munizaga, Palma e Mora, 2010), que se baseia na frequência das linhas para estimar a que foi utilizada pelo passageiro. A metodologia proposta levou em conta a conectividade entre as linhas, assim, na aplicação feita, foi possível determinar o destino de 82% das viagens. Dentre os 18% restante, houve casos em que não havia ligação entre a linha embarcada e a seguinte considerando uma distância aceitável de caminhada.

Em continuidade ao trabalho anterior, Munizaga, Palma e Fischer (2011) publicaram um trabalho acrescentando a etapa de expansão da amostragem. Foi utilizado um fator de expansão diferente para cada um dos seguintes casos:

⁶ Chriqui, C.; Robillard, P. Common bus line. **Transportation Science** 9, 1975, 115-121.

- Viagens associadas à transação em que a origem é conhecida, mas o destino não pode ser estimado;
- Viagens associadas a transações em que nem a origem, nem o destino puderam ser estimados;
- Viagens não detectadas pelos cartões (caso de evasão de tarifa).

Os autores propõem uma solução simples, mas recomendam que seja estudada uma solução mais sofisticada, principalmente no que se refere aos casos de evasão em que são requeridas informações adicionais.

2.4 Determinação de Matriz OD Através de Contagens de Fluxo

2.4.1 Matrizes de Tráfego

Uma corrente alternativa aos métodos tradicionais busca estimar uma Matriz OD utilizando contagem volumétrica dos fluxos em um conjunto de segmentos da rede. Para Bertoncini (2007), este processo de obtenção da demanda pode ser considerado como o inverso dos métodos tradicionais. Nele, a Matriz OD é estimada a partir dos fluxos em trechos da rede sendo que nos métodos tradicionais os fluxos são determinados a partir do conhecimento da matriz. As demandas calculadas por estes modelos, denominadas demandas sintéticas, são estimadas a partir de contagens de tráfego obtidas em seções de vias ou interseções.

Grande parte dos modelos de estimação de matriz utiliza uma matriz inicial, denominada matriz semente. Segundo Abrahamsson (1998), essa matriz pode ser obtida de uma pesquisa amostral ou de matriz antiga (provavelmente desatualizada). Sendo assim, este tipo de modelo pode ser utilizado de forma complementar a outros métodos.

Embora os métodos que envolvam a contagem de fluxos sejam abordados na literatura desde a década de 1970, eles não são amplamente conhecidos. Para Van Aerde *et al.* (2003), grande parte dos profissionais da área de transporte utiliza as técnicas baseadas em pesquisa de campo por desconhecer a base teórica do modelo e pelas dificuldades práticas envolvidas com o problema. Segundo Baek *et al.* (2010), a contagem de tráfego é bastante atrativa como fonte de dados por não ser intrusiva, ser geralmente aplicável e ter baixo custo operacional.

Os problemas de estimação de matriz OD a partir de contagens de fluxo podem ser classificados em estáticos e dinâmicos. Para Nuzzolo e Crisalli (2001) os problemas estáticos referem-se à estimação de matriz OD relativa a um período determinado a partir de contagens do mesmo período de tempo. Os métodos de estimação estática diferem entre si em relação ao estimador utilizado, e se consideram as redes congestionadas ou não. Muitos métodos de estimação tem sido apresentados para as redes de transporte não congestionadas com base no princípio da máxima entropia, inferência Bayesiana, estimador da máxima probabilidade e nos mínimos quadrados generalizados. A estimação dinâmica pode ser definida como a estimação de uma matriz OD variável no tempo a partir de contagens de tráfego realizadas em diversos períodos. Para redes de transporte duas abordagens podem ser consideradas na modelagem: a que se baseia na frequência das linhas – intervalo constante e uniforme entre viagens – e a que se baseia na programação (quadro de horário) das linhas – intervalo entre viagens irregular e variável. Conforme apontado por Lam *et al.* (2003), a primeira é mais apropriada para modelar sistemas de transporte urbano cujos serviços são caracterizados pela alta frequência e baixa pontualidade, já a segunda é particularmente apropriada para serviços intermunicipais com baixa frequência e alta pontualidade. Exemplos de diferentes tipos de trabalhos podem ser vistos ainda em Nuzzolo e Crisalli (2001). Além disso, uma revisão mais aprofundada sobre os modelos de estimação de matriz OD baseados em contagem de tráfego é apresentada por Abrahamsson (1998) e Viti (2008).

2.4.2 Matrizes de Transporte

“Embora o problema de estimação de matriz OD por contagem de tráfego em redes rodoviárias tenha sido extensivamente estudado na literatura, pouca atenção foi dada ao problema de estimação de matriz OD de passageiros de transporte público” (HUA-LING, 2007). Nestes casos as contagens de fluxo referem-se à ocupação do veículo em seções das linhas e/ou ao número de passageiros embarcando/ desembarcado em pontos de parada das linhas.

Destacam-se aqui, os trabalhos os seguintes trabalhos: Wong e Tong (1998) desenvolveram um modelo de máxima entropia empregando a abordagem baseada no quadro de horários para alocação dinâmica. Nuzzolo e Crisalli (2001) propuseram uma metodologia de estimação dinâmica, baseada no quadro de horários, do tipo estocástica utilizando um estimador de mínimos quadrados generalizados. Lam *et al.* (2003) e Wu e Lam (2006) apresentam um modelo baseado na frequência e que considera o efeito do congestionamento.

Os autores utilizam uma abordagem em dois níveis: no primeiro é utilizado um estimador de mínimos quadrados generalizados para resolver o problema, e no segundo é feita a alocação através de um modelo de Equilíbrio Estocástico do Usuário (SUE, do inglês *Stochastic User Equilibrium*) baseado na frequência das linhas. Hua-ling (2007) emprega uma abordagem em dois níveis, similar à anterior, porém em sua metodologia o autor utiliza informações mais precisas de contagem de passageiros obtidas de um sistema de Contagem Automática de Passageiros baseado em feixes de infravermelho.

2.4.3 Métodos de Nielsen

Nielsen (1998) apresenta dois métodos para estimar matrizes de viagens a partir de contagens de tráfego. Seus algoritmos foram implementados no *software* TransCAD, que é uma ferramenta amplamente utilizada por planejadores de transporte. “Este método tem a vantagem de os dados de contagem serem tratados como variáveis estocásticas, e de poder ser utilizado com qualquer modelo de alocação de tráfego” (Caliper, 2008).

Segundo o autor, o desenvolvimento desses métodos surgiu de inúmeros casos na Dinamarca, em que houve problemas na atualização de matrizes antigas de má qualidade, utilizando diferentes pacotes de modelagem de tráfego. Assim, o principal foco de seu trabalho foi a utilidade em aplicações práticas utilizando métodos de natureza heurística.

O método do caminho único (SPME, do inglês *Single Path Matrix Estimation*) é de natureza heurística e utiliza apenas as contagens ao longo do caminho ótimo entre cada par OD. O segundo método, de múltiplos caminhos (MPME, do inglês *Multiple Path Matrix Estimation*) utiliza todas as contagens ao longo de todos os caminhos de acordo com o método das médias sucessivas. Enquanto o foco do primeiro é a facilidade de implementação, o segundo foi desenvolvido para refletir melhor os padrões de escolha de rota.

2.4.3.1 Método SPME

Nielsen (1998) desenvolveu este método, dentre outras razões, para atualizar uma antiga matriz de viagens para a região de Copenhagen. O método estima uma nova matriz que se ajusta, o máximo possível, às contagens de tráfego. O modelo de estimação de matriz OD f_1 é função de quatro conjuntos de variáveis como pode ser visto na EQUAÇÃO 1:

$$\min \overline{T}_{ij} [f_1(\overline{t}_{ij}, \overline{T}_{ij}, \overline{V}_a, \overline{T}_a)] \quad (1)$$

Onde:

\overline{t}_{ij} = elemento da matriz original

\overline{T}_{ij} = elemento da matriz estimada

\overline{V}_a = tráfego contado

\overline{T}_a = tráfego alocado

O tráfego alocado \overline{T}_a é encontrado através do modelo de alocação de tráfego f_2 (EQUAÇÃO 2) que pode ser de qualquer tipo.

$$\overline{T}_a = f_2(\overline{T}_{ij}, \overline{t}_{ij},) \quad (2)$$

O modelo f_1 estima cada elemento da nova matriz de viagens (ou pares de zona) para minimizar o desvio médio entre o tráfego contado e o alocado ao longo do caminho ótimo entre o par de zonas.

O tráfego esperado para cada segmento viário onde houve contagem de tráfego é calculado conforme a EQUAÇÃO 3.

$$T_{(E)ija} = \frac{V_a}{T_a} \cdot t_{ij} \quad (3)$$

Em que:

$T_{(E)ija}$ é o tráfego esperado entre as zonas i e j em relação ao tráfego contado no segmento viário a;

t_{ij} é o elemento da matriz original ou da iteração anterior.

Baseado no método dos mínimos quadrados ou da máxima verossimilhança, a média aritmética pode ser utilizada para estimar os elementos da nova matriz T_{ij} a partir dos $T_{(E)ija}$, conforme EQUAÇÃO 4.

$$T_{ij} = \frac{1}{N_{a \in (\tau, r)}} \times \sum_{a \in (\tau, r)} T_{(E)ija} \quad (4)$$

O modelo executa a alocação e a estimativa de matriz em um ciclo conforme os passos abaixo:

Passo 1 – Inicialização: Define o número de iteração, $n=1$ e define a matriz de viagem $\overline{\overline{T_{ij(0)}}$ igual à matriz semente.

Passo 2 – Alocação: Aloca $\overline{\overline{T_{ij(n-1)}}$ na rede. Salva os fluxos $T_{a(n-1)}$.

Passo 3 – Estimação: Estima a matriz conforme EQUAÇÃO 4.

Passo 4 – Critério de parada: Para segundo um critério definido, caso contrário define $n=n+1$ e vai para o passo 2.

2.4.3.2 Método MPME

Diferentemente do método anterior, o MPME utiliza as contagens de todos os caminhos entre um par OD de acordo com a probabilidade de escolha de cada um. Sendo assim, o tráfego entre um par de zonas é igual a soma do tráfego esperado ao longo de cada rota entre este par, multiplicado pela probabilidade de escolha da rota (EQUAÇÃO 5).

$$T_{ij(n)} = \sum_r (T_{(E)ijr} \cdot p_{ijr}) \quad (5)$$

Onde:

$T_{(E)ijr}$ = tráfego esperado entre as zonas i e j na rota r

p_{ijr} = probabilidade de a rota r ser utilizada entre as zonas i e j

n = número de iterações

O tráfego esperado ao longo de cada rota pode ser considerado como sendo a média do tráfego esperado, tal como definido por cada contagem de tráfego ao longo da rota (EQUAÇÃO 6).

$$T_{(E)ijr} = \frac{1}{N_{a \in (\tau, r)}} \cdot (\sum_{a \in (\tau, r)} T_{(E)ija}) \quad (6)$$

Onde: τ = conjunto de links com contagem de tráfego

O tráfego esperado no local de cada contagem é definido pela EQUAÇÃO 7.

$$T_{(E)ija} = \frac{V_a}{T_{a(n-1)}} \cdot T_{ij(n-1)} \quad (7)$$

O algoritmo proposto por Nielsen (1998) consiste de um ciclo interno e um ciclo externo conforme a abordagem seguinte:

Passo 1 – Inicialização do ciclo externo: Define o número de iteração, $n=1$ e define a matriz de viagem $\overline{\overline{T_{ij(0)}}$ igual à matriz semente.

Passo 2 – Alocação: Aloca $\overline{\overline{T_{ij(n-1)}}$ na rede. Salva os fluxos $T_{a(n-1)}$.

Passo 3 – Estimação da matriz (ciclo interno):

Passo 3.1 – Inicialização: Define o número de iteração, $m=1$ e todos os $T'_{a(0)}$ e $T'_{ij(0)}$ igual a 0.

Passo 3.2 – Atualização das resistências da viagem, $c_{(e)a}$: Baseado no $T'_{a(m-1)}$.

Passo 3.3 – Alocação tudo-ou-nada: $T_{ij(n-1)}$ é alocado na rede com $c_{(e)a}$ atualizados. $T'_{a(temp)}$ (variável temporária) é modelado para todos os links, a , e cada elemento na matriz temporária é calculada de acordo com a EQUAÇÃO 8.

$$T'_{ij(temp)} = \frac{1}{N_{a \in (\tau, R_{ij})}} \cdot \sum_{a \in (\tau, R_{ij})} \left(\frac{V_a}{T_{a(n-1)}} \cdot T_{ij(n-1)} \right) \quad (8)$$

Passo 3.4 – O tamanho do passo é definido: $\varepsilon_{(m)} = 1/m$

Passo 3.5 – Atualização dos fluxos nos links:

$$T'_{a(m)} = (1 - \varepsilon_{(m)}) \cdot T'_{a(m-1)} + \varepsilon_{(m)} \cdot T'_{a(temp)}, \forall a$$

Passo 3.6 – Atualização da matriz de viagens:

$$T'_{ij(m)} = (1 - \varepsilon_{(m)}) \cdot T'_{ij(m-1)} + \varepsilon_{(m)} \cdot T'_{ij(temp)}, \forall i, j$$

Passo 3.7 – Critério de parada do ciclo interno: Para de acordo com o critério de parada definido, caso contrário faz $m = m+1$ e vai para o passo 3.2.

Passo 4 – Atualização: $T_{ij(n)} = T'_{ij(m)} \forall i, j$

Passo 5 – Critério de parada do ciclo externo: Para de acordo com o critério de parada definido, caso contrário faz $n = n+1$ e vai para o passo 2.

Em alguns casos reais apresentados por Nielsen (1998), as soluções obtidas pelo MPME são mais ajustadas aos dados de contagem do que as obtidas com o SPME e representam estimativas mais razoáveis da matriz. Entretanto ambos os métodos introduzem melhorias significativas em relação à matriz semente. Tanto o SPME quanto o MPME são dependentes do padrão de viagens da matriz semente, mas eles podem alterar significativamente este padrão para ajustar às contagens.

Yuanqing *et al.* (2010) propõe um método sistemático de estimativa de OD que utiliza o módulo de estimativa de matriz OD do *software* TransCAD (método de Nielsen). O método proposto pelo autor é composto das seguintes etapas:

- Divisão das zonas de tráfego: A atração e a produção de cada zona pode ser determinada utilizando o método de divisão de zonas baseado na configuração espacial dos detetores de tráfego, diferentemente dos métodos tradicionais que têm como base o uso do solo e as separações naturais;
- Geração de tráfego: é determinada a partir dos volumes de tráfego entrando e saindo de cada zona obtidos através dos detetores;
- Matriz semente: é determinada utilizando os modelos gravitacional e Fratar;
- Estimação da matriz OD: utiliza o modelo *OD Matrix Estimation* do TransCAD.

O estudo de caso do autor foi o anel rodoviário da cidade de Guangzhou, na China.

2.5 Sistemas de Informação Geográfica (SIG) Aplicados aos Transportes

Segundo Davis (2001) o SIG se refere a três elementos integrados:

- Geografia: o mundo real / realidades espaciais;
- Informação: Dados e informações / seu significado e uso;
- Sistema: Tecnologia computacional e sua infraestrutura de suporte.

Existem diversas definições para SIG (Sistema de Informação Geográfica), mas Davis (2001) concorda com diversos autores ao dizer que o SIG é uma tecnologia e metodologia computacional para coletar, gerenciar, analisar, modelar e apresentar dados geográficos para uma ampla gama de aplicações.

“A informação geográfica nos permite aplicar os princípios gerais para as condições específicas de cada localidade, acompanhar o que está acontecendo em qualquer lugar, e nos ajuda a entender como um lugar difere de outros” (BERNHARDSEN, 2002). A informação geográfica é, então, essencial para o efetivo planejamento e tomada de decisão nos dias de hoje (FIGURA 8).

A capacidade do SIG de armazenar grandes conjuntos de dados, resumi-los e apresentá-los espacialmente facilita a análise do problema por parte do usuário, pois a visualização é bastante simples e clara.

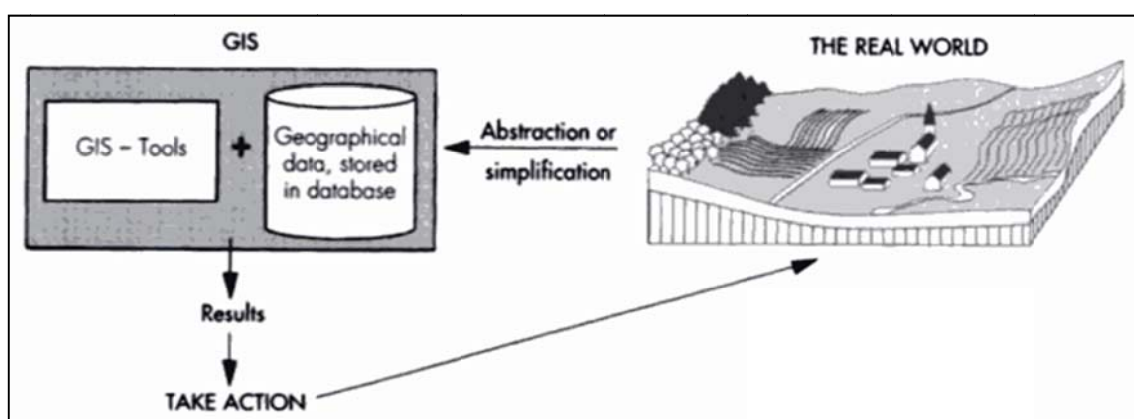


FIGURA 8 - Utilização do SIG
Fonte: Bernhardsen (2002)

As principais funções de um SIG completo são: captação, armazenamento, manipulação, gerenciamento, recuperação, conversão, análise, modelagem e apresentação de dados. Desde a década de 1970 com o surgimento dos primeiros pacotes comerciais, os especialistas vêm desenvolvendo os processos e aprimorando cada vez mais estas funções. Hoje em dia diversos meios podem ser utilizados na captura, recuperação e conversão de dados como a digitalização de imagens, a importação de um número cada vez maior de formatos compatíveis, tais como os formatos CAD, a transferência de informações pelo uso de satélites (GPS, *Google Earth* etc), dentre outros. O armazenamento pode ser feito pelos mais diversos formatos nos discos rígidos de computadores, CD's, DVD's e outras mídias digitais. A manipulação, gerenciamento, análise e modelagem também se tornam cada vez mais aprimoradas através de ferramentas e rotinas acopladas ao sistema, como a combinação de dados, produção de mapas temáticos, simulação de cenários e utilização de modelos matemáticos e estatísticos para as mais diversas aplicações. A apresentação das informações é

feita através de mapas, gráficos e relatórios podendo ser mostrados em tela, impressos ou compartilhados pela internet.

A FIGURA 9 ilustra os processos de um SIG bem como sua interação com o mundo exterior (representação, na base, análise e refinamento dos dados, no meio, e apoio na tomada de decisão, no topo).

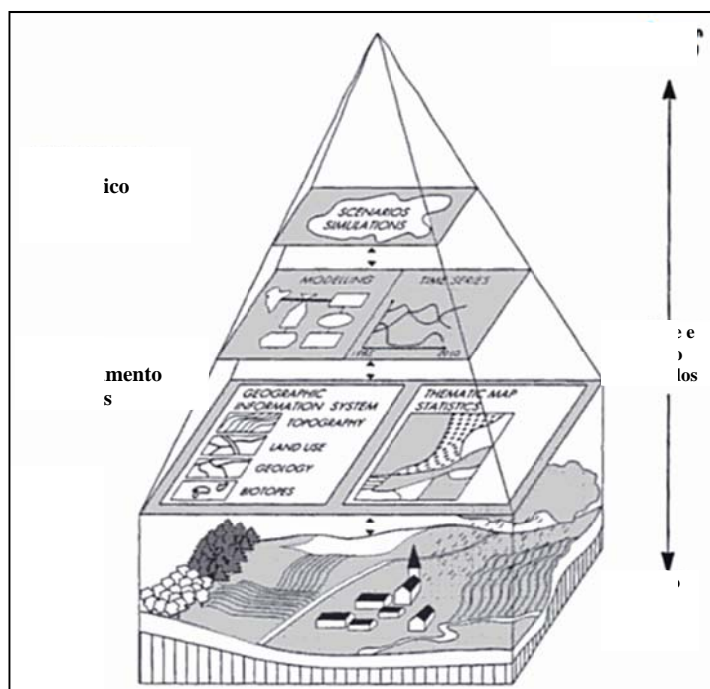


FIGURA 9 - Processos do SIG
 Fonte: adaptado de Bernhardsen (2002)

A infraestrutura de um SIG, para Davis (2001), pode ser dividida em, ao menos, seis componentes primários ordenados segundo sua importância:

- **Organização e pessoal:** esta é a parte mais importante da estrutura de um SIG. Se o SIG encaixa-se em uma organização como uma importante ferramenta, devem-se ter recursos (pessoas e instalações) dedicados a ele;
- **Aplicações:** as aplicações são os usos, questões e “clientes” do SIG, o propósito para sua produção (por exemplo, análises ambientais, planejamento urbano etc);
- **Metodologia:** os vários processos, técnicas e meios de se utilizar um SIG e seus dados em uma aplicação. O objetivo final irá determinar os métodos usados para atingi-lo;
- **Dado:** o dado é o cerne das operações do GIS. A ênfase maior nas operações do SIG está no dado, desde sua entrada, passando pela análise, até a apresentação, no final;

REVISÃO DA LITERATURA

- **Software:** são os programas computacionais que executam o SIG. Existem diversos programas SIG, desde os mais baratos até os mais caros e sofisticados;
- **Hardware:** é o maquinário onde o SIG opera – computador, impressora, plotter, digitalizadores etc. Este elemento deve ser a última consideração, pois todos os outros componentes irão ajudar a determinar as necessidades em *hardware*.

Rose (2001), em seu trabalho, enumera algumas aplicações para os SIGs que podem ser: estudos relacionados à infraestrutura urbana como sistemas de transporte, abastecimento de água, esgoto, rede elétrica, pavimentação, telefonia etc; estudos populacionais como avaliação da tendência de crescimento da população de bairros, municípios, estados ou países; estudos de localização de facilidades; estudos relacionados ao meio ambiente como avaliação do percentual de cobertura natural e análise de áreas de desmatamento, dentre diversas outras aplicações.

Uma das aplicações mais importantes do SIG diz respeito aos transportes. denominado como SIG-T. Esta área particular possui um campo amplo de aplicação.

Analistas de transportes e tomadores de decisão estão utilizando as ferramentas SIG em planejamento, projeto e gestão de infraestruturas, planejamento e operação de transporte público, análise e controle de tráfego, análises de segurança nos transportes, avaliação de impactos ambientais, mitigação de riscos e configuração e gerenciamento de sistemas de complexos logísticos (MILLER e SHAW, 2001).

No Brasil, Rose (2001), cita os seguintes tipos de trabalhos já desenvolvidos na área acadêmica utilizando-se o SIG-T: associação de imagens de satélite a modelos matemáticos para o planejamento de transportes, geração de imagens para cadastro como auxílio ao planejamento do transporte público, avaliação dos impactos do crescimento urbano sobre os transportes, reestruturação de sistema de transporte público urbano, roteirização para distribuição de jornais, localização de pontos de parada, análise do problema de roteirização de veículos para o processo de coleta e descarga de resíduos sólidos de serviços de saúde, definição de zonas de tráfego a partir de setores censitários, coordenação semaforica, modelos de geração de viagens, avaliação da acessibilidade aos transportes, desenvolvimento de uma metodologia para otimização de frota e redução de custos operacionais para serviços de ônibus fretados para transporte de funcionários, entre outros.

A autora ainda enumera as seguintes vantagens do uso do SIG em conjunto com modelos de transportes:

REVISÃO DA LITERATURA

- Integridade dos dados propiciada pelo SIG que, se também integrado aos modelos, permite a maior transparência de aspectos físicos dos dados para o usuário;
- Operações pré-incorporadas aos SIGs eliminam ou simplificam tarefas realizadas normalmente por processos manuais ou em módulos computacionais isolados e não muito bem integrados;
- Facilidade de edição e representação gráfica;
- Tratamento topológico que facilita operações de edição da base geográfica;
- Armazenamento e edição a um menor custo;
- Realização de certos tipos de análises e representações antes praticamente inviáveis nos processos tradicionais, como, por exemplo, identificação de caminhos mínimos entre cada par de zonas origem/destino, entre outros.

Neste capítulo foi apresentada a revisão da literatura feita sobre os principais temas tratados na metodologia proposta nesta dissertação. O capítulo foi iniciado com uma introdução sobre a estimação de demanda por transporte público e com a descrição sobre os principais métodos utilizados na determinação de matrizes OD. No segundo item foram mostrados os Sistemas de Coleta Automatizada de Dados utilizados nos veículos de transporte público coletivo que são a base dos métodos apresentados no terceiro item. O terceiro item aborda o principal tema deste trabalho, a determinação de matriz OD utilizando dados do SBE, e apresenta os principais trabalhos já publicados sobre o assunto na literatura internacional. Foi mostrado que o assunto começou a ser discutido em 1984, mas, somente em 2004 foi publicado um trabalho com aplicação a um sistema aberto em que o destino das viagens é inferido a partir das viagens seguintes do passageiro. O quarto item trata do método que determina matrizes OD a partir de contagens volumétricas em determinados trechos da rede. Este método geralmente utiliza uma matriz semente que é alterada em função das contagens realizadas em pesquisas de campo. O último item fala sobre a aplicação de Sistemas de Informação Geográfica ao campo dos transportes.

O capítulo seguinte apresenta uma metodologia para determinação de uma Matriz Origem/Destino de passageiros de um sistema de transporte público por ônibus. A partir da pesquisa bibliográfica feita propôs-se uma nova metodologia que utiliza, em uma primeira etapa, os dados do SBE e a rede de transporte representada em um SIG para determinar uma matriz semente e, em etapa posterior, são utilizadas contagens de fluxo de passageiros para expandir a matriz.

3 METODOLOGIA PROPOSTA

Conforme apresentado anteriormente, a metodologia proposta de determinação de matriz OD admite que os locais de origem e de destino dos passageiros são inferidos utilizando-se de forma combinada, os dados do SBE e a rede do sistema de ônibus representada em um SIG. A metodologia proposta é composta por quatro processos:

- Montagem da rede de transporte em SIG;
- Obtenção e tratamento dos dados do Sistema de Bilhetagem Eletrônica;
- Aplicação do modelo para determinação da matriz OD semente;
- Aplicação do modelo *OD Matriz Estimation* do TransCAD para determinação da matriz OD final.

Além dos processos, são utilizadas três bases de dados primários:

- Banco de dados do Sistema de Bilhetagem Eletrônica;
- Dados sobre o sistema de transporte para construção da rede em SIG, tais como: rede viária, itinerário das linhas do transporte público e dados socioeconômicos para definição do zoneamento como, por exemplo, divisão dos setores censitários;
- Contagens de ocupação das linhas em alguns trechos pré-determinados da rede.

Na FIGURA 10 é apresentado o fluxograma geral da metodologia proposta. O fluxograma é simplificado, pois não apresenta as etapas internas aos modelos. Nos itens seguintes cada um dos processos, listados anteriormente e esquematizados no fluxograma, é descrito com maior detalhe.

METODOLOGIA PROPOSTA

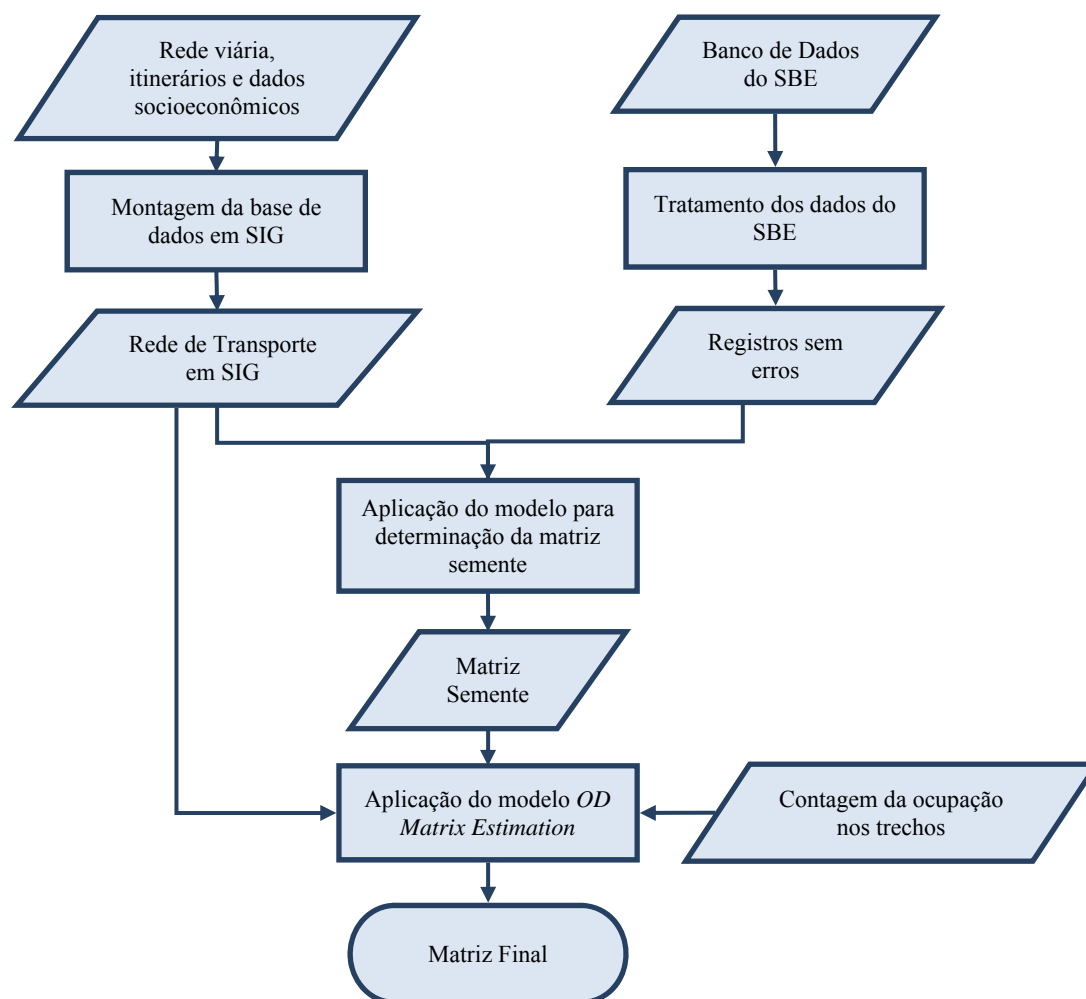


FIGURA 10 - Fluxograma geral simplificado da metodologia

3.1 Montagem da Rede de Transporte em SIG

O primeiro processo consiste na montagem da base de dados da área em estudo em um *software* SIG. A base deve ser constituída dos seguintes elementos:

- Rede viária: deve conter informações de extensão dos arcos e velocidade operacional do sistema de transporte;
- Rede de transporte público: sua construção deve ser baseada nos itinerários das linhas em vigência no mesmo período da base de dados do SBE a ser utilizada;
- Zoneamento: a área de estudo deve ser dividida em zonas de tráfego que, conforme afirma Ortúzar (2000), sejam homogêneas em termos de renda, uso do solo, composição da população, dentre outros, por estes fatores estarem intrinsecamente ligados à análise da demanda de transporte. Segundo Barros (2006), no Brasil,

geralmente são aproveitadas as divisões consagradas como os setores censitários do IBGE.

3.2 Obtenção e Tratamento dos Dados do SBE

Os Sistemas de Bilhetagem Eletrônica usuais nas cidades brasileiras geralmente produzem dois tipos de informação, cada uma disponível em um formato diferente. O primeiro conjunto de informações diz respeito às viagens, com diversas informações, sendo as principais: código identificador da viagem, número da linha, data e hora do início da viagem, data e hora do final da viagem, total de passageiros que pagaram em dinheiro, total de passageiros que pagaram em cartão. O segundo conjunto de informações contempla os registros de todas as transações de tarifa feitas por cartão eletrônico. Neste arquivo são disponíveis informações tais como: código identificador do cartão, código identificador da viagem, data e hora de validação do cartão.

A operação do Sistema de Bilhetagem Eletrônica depende de interferência humana para registrar o início e término de cada viagem, sendo necessário um mecanismo que garanta a eficácia da operação. Em municípios onde o órgão gestor utiliza dos dados da bilhetagem para monitorar e fiscalizar os parâmetros de qualidade do sistema de transporte, geralmente, são utilizados dispositivos especiais que garantem que não ocorra erros na operação de abertura e fechamento de viagem. Em Belo Horizonte (MG), por exemplo, o SBE possui um sensor acoplado ao sistema mecânico do veículo que identifica o movimento e acusa o início da viagem, caso o operador não o faça. Conforme publicado no ANEXO VIII de BELO HORIZONTE (2008), o Edital de Licitação da Concessão dos Serviços Públicos de Transporte de Passageiros por Ônibus de Belo Horizonte, foi exigido, dentre outras, as seguintes funcionalidades relativas ao SBE:

- Acompanhamento da regularidade do serviço prestado pelas operadoras com registros automáticos, sem interferência dos operadores, dos horários e extensões de cada viagem realizada;
- Registro de início/término de viagem;
- Registro da informação oriunda do sensor de deslocamento.

Em outros casos, a qualidade das informações dependerá muito da boa operação por parte do cobrador. Sendo assim, é necessário realizar uma auditoria nas informações de

viagem para eliminar os registros inconsistentes, ou seja, aqueles que apresentam erros de abertura ou fechamento de viagem.

Supondo que os tempos de viagens de uma linha de ônibus dentro de determinado período horário seguem uma distribuição normal, é possível estabelecer um intervalo dentro do qual esses tempos são considerados válidos (GRÁFICO 2).

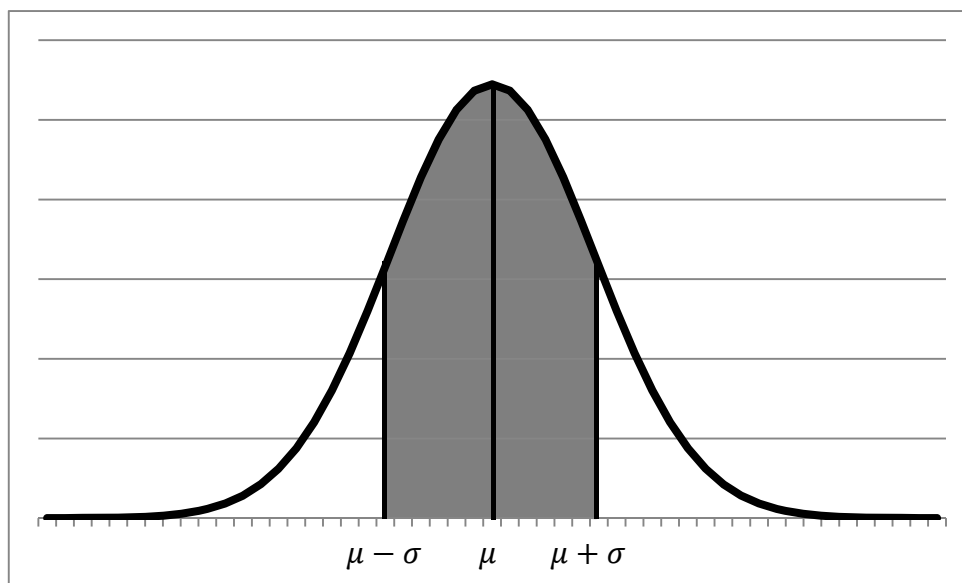


GRÁFICO 2 - Intervalo dos tempos de viagem considerados aceitos

A curva normal, como a mostrada no GRÁFICO 2, é a distribuição que possibilita determinar a probabilidade de ocorrência associada a cada valor de x . Neste gráfico, a área em destaque representa a probabilidade de que x esteja compreendido entre dois valores $\mu - \sigma$ e $\mu + \sigma$. A área total sob a curva representa uma probabilidade igual a 100%. Segundo Noether (1983), a curva normal depende de duas constantes, a média (μ) e o desvio-padrão (σ). A média dá a localização do centro de simetria da curva e o desvio-padrão dá a distância entre o centro de simetria e os pontos onde a curvatura muda de sentido.

Com relação a uma linha de ônibus, como existe grande variação nos tempos de viagem ao longo de um dia, devido às oscilações do tráfego, deve-se atribuir curvas específicas para cada período de tempo para uma mesma linha.

3.3 Modelo para Determinação da Matriz Semente

Nesta seção será descrita a metodologia para determinação da Matriz OD semente. O fluxograma da FIGURA 11 mostra de forma esquemática a metodologia proposta para a determinação da matriz semente.

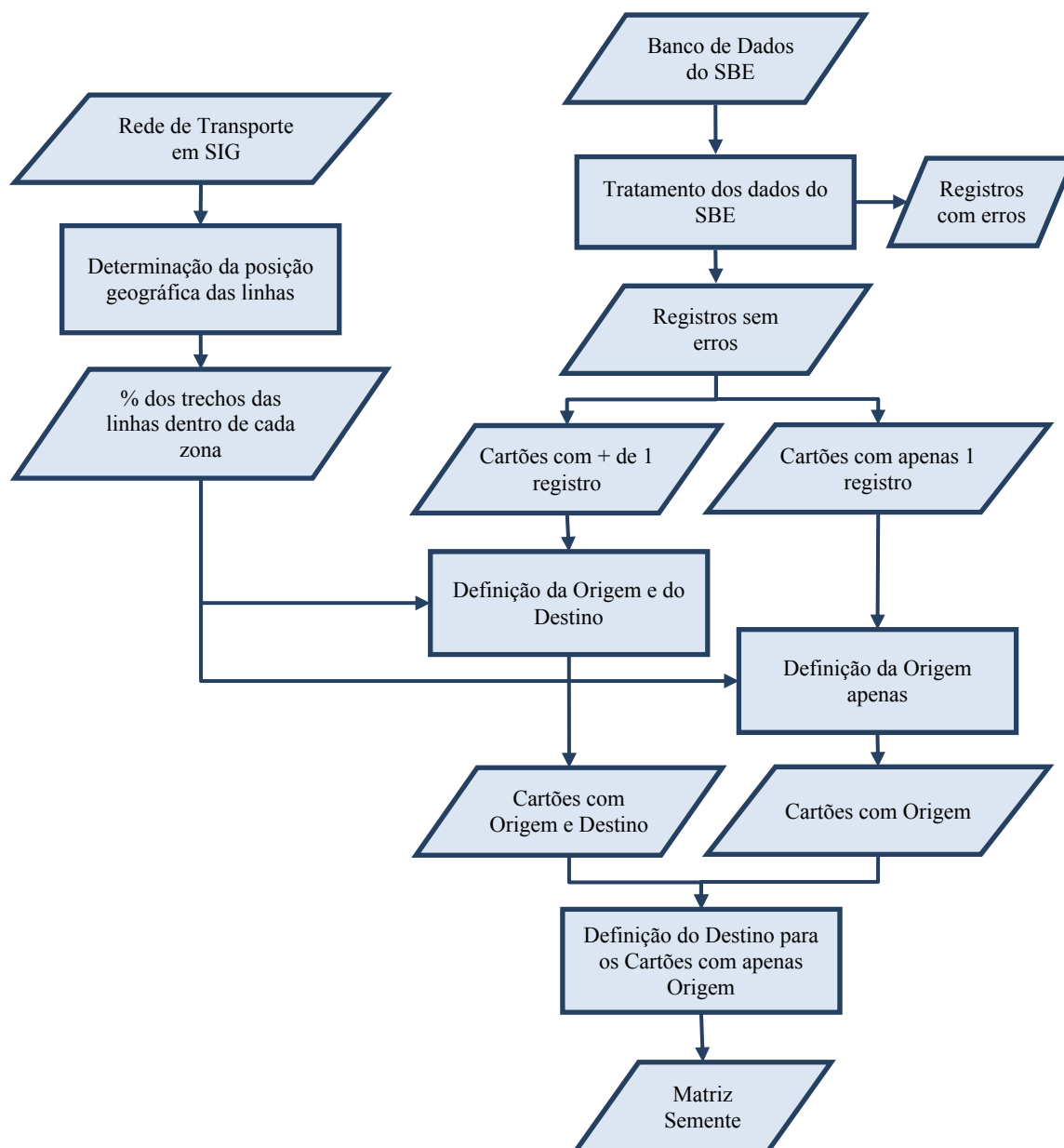


FIGURA 11 - Fluxograma da metodologia para determinação da matriz semente

Nos dois itens seguintes serão descritos os processos de definição da origem e do destino das viagens, respectivamente. No item 3.3.3 serão feitas considerações importantes sobre a metodologia e no item 3.3.4 será mostrada a forma como foram tratados os cartões que apresentaram apenas um registro.

3.3.1 Determinação da Origem

Nesta etapa é inicialmente definida a posição relativa do passageiro na linha, no momento em que ocorreu o pagamento da tarifa. Para isso é necessário reunir os dois conjuntos de informação do banco de dados da bilhetagem eletrônica. A TABELA 1 ilustra um exemplo.

TABELA 1 - Definição da posição relativa da entrada do passageiro na linha

Código do cartão	Hora de registro do cartão	Linha	Código da viagem	Início da viagem	Final da viagem	Percentual da viagem
1029358670	06:26:25	100	203567	06:20:30	07:30:50	8%
1029359326	06:45:36	100	203567	06:20:30	07:30:50	36%
1029405076	07:10:32	100	203567	06:20:30	07:30:50	71%

Neste exemplo, os três passageiros (cartões 1029358670, 1029359326 e 1029405076) embarcaram na linha 100 na mesma viagem (código 203567) que se iniciou às 06h20'30'' e terminou às 07h30'50'', tendo um tempo de viagem de 01h10'20''. Cada um deles realizou o pagamento da tarifa em um horário diferente: o primeiro às 06h26'25'', o segundo às 06h45'36'' e o terceiro às 07h10'32''. Tomando-se como referência os horários de início e de fim da viagem, e de validação do cartão, nota-se que o primeiro passageiro validou seu cartão no momento em que o veículo completava 8% de seu itinerário total. Os outros dois validaram seus cartões em 36% e 71% do itinerário, respectivamente. Supondo que os usuários realizam o pagamento da tarifa logo que embarcam no veículo, pode-se afirmar que os três passageiros do exemplo mostrado embarcam em pontos de parada distintos localizados a 8%, 36% e 71% do itinerário total da linha, cada um deles.

Da rede de transporte SIG define-se, para cada linha, faixas percentuais do itinerário para cada zona de tráfego. A FIGURA 12 mostra, de forma esquemática, uma linha de ônibus que passa por quatro zonas. Os primeiros 10% da linha estão dentro da zona 1, os 30% seguintes estão dentro da zona 2, os 40% seguintes estão dentro da zona 3 e, por fim, seus 20% restantes estão dentro da zona 4.

o SIG
que o

primeiro passageiro embarca na zona 1, o segundo na zona 2 e o terceiro na zona 3.

3.3.2 Determinação do Destino

Depois de definidos os pontos de origem, é feita a inferência do destino dos passageiros. Para Zhao (2004), as seguintes suposições são feitas para se determinar o ponto de destino:

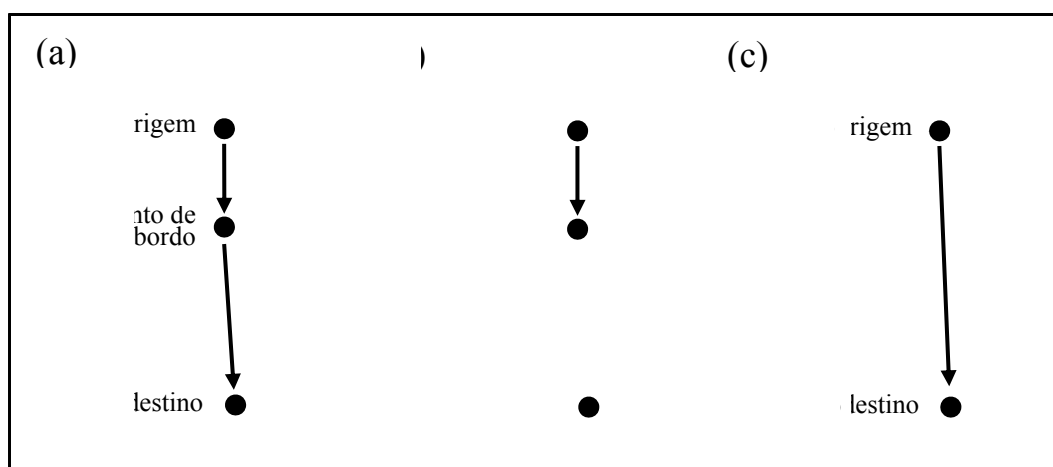
- O passageiro inicia sua próxima viagem na estação de destino (ou na mais próxima) da viagem anterior;
- O passageiro termina a sua última viagem do dia onde ele iniciou sua primeira viagem do dia.

No que diz respeito aos sistemas analisados pelo autor este conjunto de premissas pode se mostrar suficiente. No caso do sistema de transporte público por ônibus, entretanto, estas suposições devem ser alteradas com o objetivo de permitir captar de forma mais efetiva os transbordos realizados durante uma viagem.

Para os passageiros que precisam utilizar mais de uma linha de ônibus para chegar ao destino final, comum para os usuários que residem em regiões periféricas da cidade e precisam percorrer uma grande distância até o ponto de destino, a viagem ocorre conforme ilustrado na FIGURA 13: uma pessoa embarca no primeiro ônibus em sua origem, realiza um transbordo e, em seguida, embarca em uma segunda linha para chegar até o ponto de destino. Se fosse tomado o segundo embarque como sendo o destino da primeira linha, surgiria uma situação em que o destino final não é o destino de desejo do passageiro – FIGURA 13 (b) – mas, sim, um local onde é realizada a troca entre linhas.

METODOLOGIA PROPOSTA

Na metodologia aqui proposta adotou-se um intervalo de tempo de cerca de 1h a partir da primeira utilização, dentro do qual qualquer novo início de viagem é considerado como a efetivação de um transbordo que levará o passageiro ao seu destino final. Por exemplo, se o usuário tem sua primeira utilização do cartão às 6h00', a segunda às 6h30' e a terceira às 12h00', considera-se que a utilização das 6h30' refere-se a um transbordo, já que o intervalo entre esta e a primeira é de apenas 30 minutos. Assim, este registro intermediário é desprezado, e seu destino fica sendo o local onde ocorreu a terceira utilização, conforme ilustrado em (c).



Assim, as suposições feitas para se determinar o ponto de destino passam a ser as seguintes:

- Se o tempo entre a primeira e a segunda utilização do cartão é superior à tolerância de tempo especificada, o destino da primeira viagem ocorre próximo à origem da segunda viagem;
- Se o tempo entre a primeira e a segunda utilização do cartão é inferior à especificação, o destino da primeira viagem será próximo à origem da terceira viagem.

3.3.3 Considerações sobre a Metodologia

Os dois itens anteriores descreveram a metodologia proposta para a determinação da origem e do destino dos deslocamentos de cada passageiro usuário do cartão eletrônico, com apoio nos registros das transações eletrônicas de tarifa.

METODOLOGIA PROPOSTA

Esta base, por sua própria configuração, pode ser um registro parcial de um deslocamento, conforme vamos mostrar a seguir, podendo levar a conclusões nem sempre fidedignas. De modo geral a FIGURA 14 mostra uma situação fictícia que é base para as decisões tomadas através da metodologia. Em (a), a origem de cada uma das duas viagens representadas foi definida como sendo o local de utilização dos cartões. Em (b) é mostrado como foram deduzidos os locais de destino. O destino da primeira viagem foi assumido como o local de origem da segunda viagem. Já o destino da segunda viagem, por esta ter sido a última viagem do dia do passageiro em questão, foi assumido como sendo o local de origem da primeira viagem.

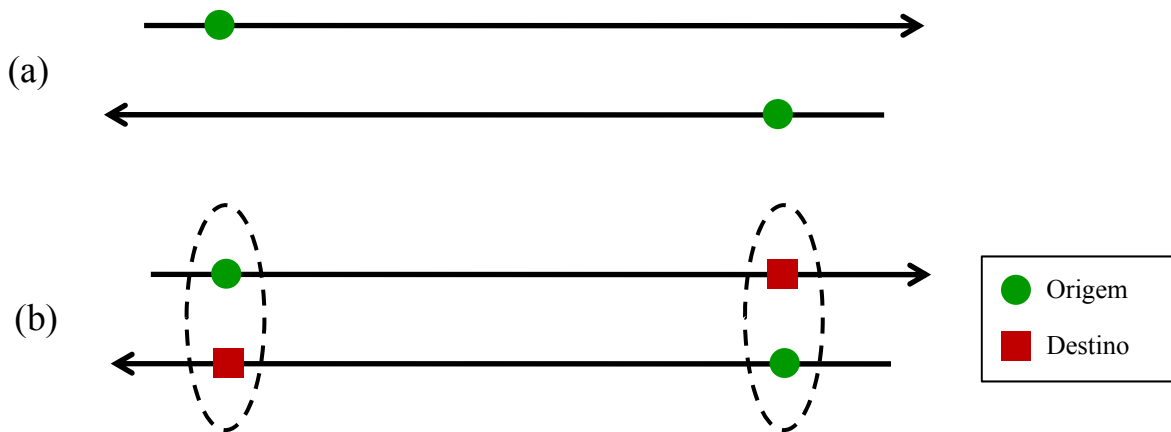


FIGURA 14 - Definição da origem e inferência do destino

Entretanto, na prática, a metodologia possibilita identificar apenas as viagens realizadas pelo transporte público embora possam ocorrer situações em que uma pessoa realiza uma de suas viagens utilizando outro modo de transporte como, por exemplo, o automóvel particular, conforme ilustrado na FIGURA 15.

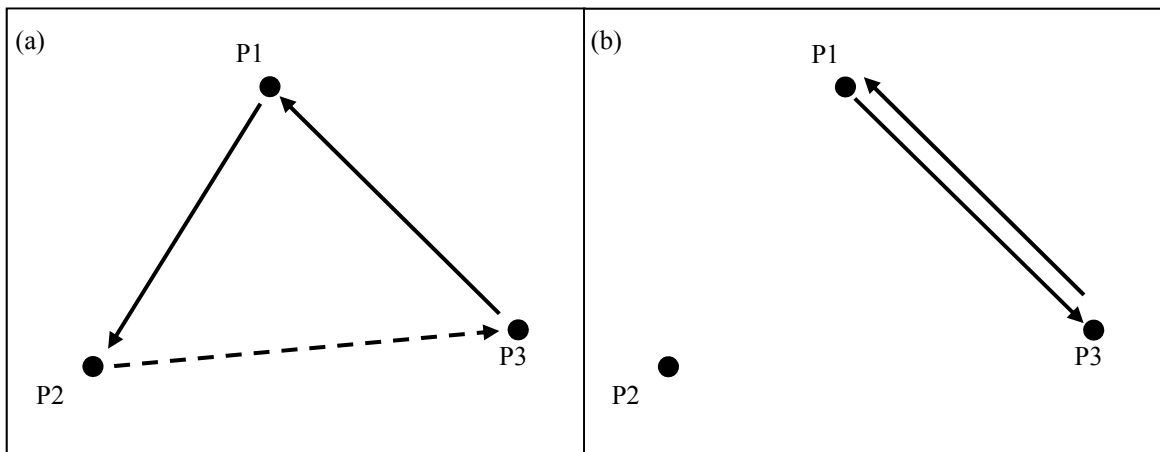


FIGURA 15 - Situação em que a viagem P2-P3 é realizada por outro modo

METODOLOGIA PROPOSTA

Em (a) é mostrada a situação ocorrida real: os deslocamentos P1-P2 e P3-P1 são realizados por ônibus e o deslocamento P2-P3 (linha tracejada) é realizado por meio do automóvel. No entanto, através do modelo proposto, a situação ocorrida seria interpretada conforme mostrado em (b). O destino da primeira viagem seria apontado como P3, e não P2 como ocorreu na prática. . Embora não seja objetivo do modelo identificar os deslocamentos por automóvel, verifica-se claramente uma falha de interpretação na viagem do transporte público por não se ter registro das viagens realizadas por outros modos.

Outro aspecto que deve ser observado na metodologia é que para identificar o deslocamento de um passageiro são necessários ao menos dois registros de cartão eletrônico. Quando o passageiro realiza apenas uma viagem de transporte público no dia, consegue-se obter apenas a origem de seu deslocamento e o tratamento desta informação é motivo de um tratamento adicional conforme mostrado no item a seguir.

3.3.4 Tratamento dos Cartões com Apenas um Registro

Assim como dito anteriormente, quando o passageiro realiza apenas uma viagem no dia utilizando o transporte coletivo não é possível conhecer seu deslocamento completo. Entretanto a identificação de pelo menos a origem do deslocamento é importante para o enriquecimento da matriz de transporte e, neste caso, os registros desses passageiros não devem ser desprezados.

Depois de definidos os locais de origem e destino para os passageiros com mais de um registro, parte-se para tratar os casos com registro único. Utilizando os mesmos conceitos de Farzin (2008), adota-se para determinação dos destinos destas viagens a mesma proporção identificada para as que têm o registro completo e as viagens com destino desconhecido são alocadas a cada zona de destino na mesma proporção dos dados originais. No exemplo mostrado na TABELA 2, a viagem do passageiro ocorreu na linha 51, e teve origem na zona 43. Como ele realizou apenas uma viagem neste dia, a zona de destino não pode ser determinada.

TABELA 2 - Exemplo de registro com erro de abertura/fechamento na segunda utilização

Linha	Carro	Viagem	Cartão	Data	Hora	Hora início	Hora fim	% viagem	Zona
51	5014	14521931	2310000010807	16/06/2010	06:46:22	06:30	08:36	12,47%	43

Em casos como esse, o destino é definido baseando-se no comportamento dos passageiros que também embarcaram na linha 51, na zona 43, mas tiveram a identificação completa de seus deslocamentos (origem e destino). Se o comportamento destes últimos ocorre da seguinte forma: 50% deles desembarca na zona 1, 40%, na zona 2 e 10%, na zona 3, a mesma proporção é atribuída aos outros. Sendo assim, se 10 passageiros estivessem na mesma situação que foi mostrada na tabela anterior, seus desembarques seriam definidos dessa maneira: cinco (50%) ocorreriam na zona 1, quatro (40%) na zona 2 e um (10%) na zona 3.

O mesmo tratamento é dado aos registros dos passageiros com erro de abertura/fechamento de viagem. Este tipo de erro é descrito no item 3.2.

Ao finalizar esta etapa, obtém-se a matriz com a informação completa de origem e destino dos usuários de cartão eletrônico.

3.4 Modelo para Determinação da Matriz Final

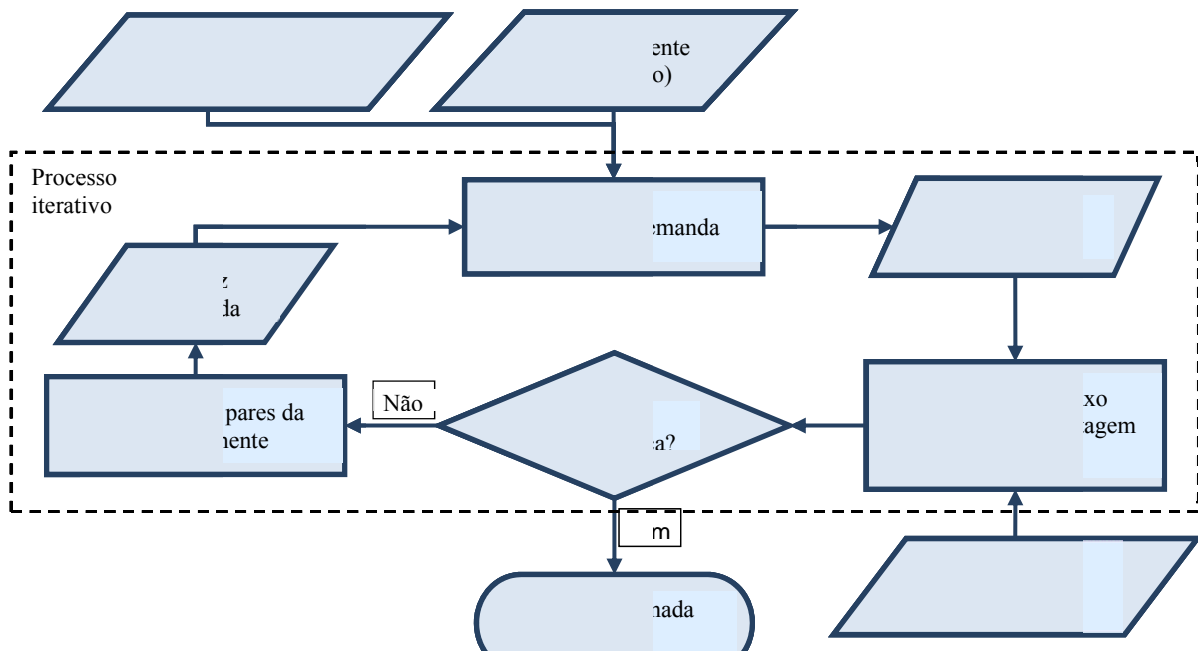
3.4.1 Descrição Geral do Modelo

A Matriz obtida a partir do banco de dados do SBE (matriz semente) abrange apenas a demanda usuária de cartão eletrônico, deixando inicialmente de considerar as demais categorias de passageiros. Nesta etapa será descrito o processo utilizado para extrapolar a matriz semente de forma a incluir todo o universo da demanda usuária do transporte.

O cálculo da matriz final é realizado utilizando-se a função *Transit OD Matrix Estimation* (TODME) – em português, Estimativa de Matriz OD de Transporte Público – do *software* TransCAD. uma rotina estabelecida de estimação de Matriz OD em plataforma SIG e com interface de fácil utilização Não é objetivo deste trabalho o desenvolvimento de um novo modelo deste tipo, o TODME foi utilizado como uma ferramenta que faz parte da metodologia proposta.

A função TODME utiliza como dados de entrada uma matriz base (no caso, a matriz semente), a rede de linhas do sistema e contagens de ocupação das linhas em alguns trechos da rede. De acordo com Caliper (2008), a partir destes *inputs* o programa realiza a alocação da demanda proveniente da matriz base, gerando fluxos de passageiros. Estes fluxos são comparados com os dados de contagem, e a matriz é modificada em cada par OD por vez. A saída do programa é uma Matriz OD que quando alocada na rede irá reproduzir de forma

consistente as informações de contagem. O fluxograma da FIGURA 16 esquematiza todo esse processo.



3.4.2 Matriz Base (Matriz Semente)

Segundo Caliper (2008), a matriz base tem duas finalidades: definir as dimensões para a matriz final e fornecer valores iniciais para a matriz estimada. Por isso, é importante que ela seja consistente. Wei *et al.*⁷ (2007 *apud* YUANQING *et al.*, 2010) afirma que uma matriz semente de alta qualidade pode melhorar significativamente a precisão da matriz estimada.

Neste contexto, de procura de uma matriz inicial com informações consistentes, a metodologia empregada faz a captação de um conjunto importante de informações sobre as viagens, gerando uma matriz semente consistente que tende a garantir resultados consistentes na estimação da matriz total. A matriz base utilizada, embora não represente todos os passageiros transportados pelo sistema, possui uma grande representatividade já que foi construída com base em uma grande amostra do sistema.

Este conjunto formado pela matriz semente estimada pela metodologia, a pesquisa em campo em trechos chaves do sistema de transporte, as demais informações agregadas de

⁷ Wei X L, Li H F, Geng Y B, et al. Contrast research on OD matrix estimation result with TransCAD software. *Highway*, 2007, 6: 122–128.

demanda de passageiros e o emprego do TODME do TransCAD, garante a extração do máximo de confiabilidade das informações disponíveis.

3.4.3 Modelos de Alocação de Demanda

Para a etapa de alocação prevista no processo, três métodos diferentes podem ser utilizados:

- *All-or-nothing* (AON);
- *Pathfinder* (PF);
- *Stochastic User Equilibrium* (SUE).

As descrições dos modelos, a seguir, foram extraídas de Caliper (2008). O modelo *All-or-nothing* aloca todos os passageiros de um par OD no melhor caminho de ligação entre eles. Neste caso, o melhor caminho é o de menor tempo de viagem considerando todas as suas etapas – acesso à linha, tempo embarcado, transbordo, desembarque e o tempo de espera no ponto de parada.

O *Pathfinder* é um modelo que considera múltiplos caminhos entre cada par OD que também considera a tarifa como determinante do melhor caminho. Isso é feito através da minimização do custo generalizado de viagem, em que todas as demais grandezas são convertidas em unidades monetárias. O uso da tarifa é determinante já que a mesma exerce grande influência sobre a escolha de uma rota ou de um modo. Características presentes no *Pathfinder* referem-se ao uso de fatores de ponderação, penalidades e proibições associadas à transferência entre modos, limite máximo de distância de uma viagem e de espera por uma linha, etc, configurando um amplo conjunto de parâmetros para melhor qualificar as decisões sobre a viagem.

O modelo *Stochastic User Equilibrium* considera a restrição de capacidade das rotas na escolha do caminho. Além disso, o modelo assume que o passageiro não tem perfeita informação sobre os atributos da rede sendo o custo da viagem percebido de maneira diferente entre eles. O SUE é executado de forma iterativa, começando pela alocando de todo o fluxo de passageiros no melhor caminho e, em seguida, atualizando o custo generalizado, em cada link da rede com base nos fluxos alocados, realiza uma segunda iteração. O processo é repetido em quantas iterações forem estabelecidas e a alocação final é obtida ao final.

METODOLOGIA PROPOSTA

A escolha do método a ser utilizado dependerá de fatores como o porte da área representada pela rede, do tipo de sistema estudado e do *hardware* utilizado. Segundo Caliper (2008), o AON, de uma maneira geral, não é apropriado para sistemas urbanos de grande porte em função de sua extrema simplificação do processo, sendo mais eficiente para sistemas interurbanos ou alguns tipos de sistemas de carga. O PF é mais fácil de utilizar, mais rápido para calcular e mais convencional em termos de aplicação prática. O SUE é mais complexo e não é tradicional.

Diante disso, torna-se necessário realizar uma avaliação das características do problema a ser resolvido e dos resultados que se pretende obter para que seja escolhido o método de alocação mais apropriado ao caso estudado.

3.4.4 Contagem de Fluxo

Em Caliper (2008) é dito que o objetivo do modelo *OD Matrix Estimation* é produzir uma matriz OD que seja consistente com os fluxos de passageiros observados em campo. Basicamente, dois tipos de contagem são aceitos como dado de entrada do programa:

- Contagem de embarque e desembarque em alguns pontos de parada;
- Ocupação do veículo em trechos da linha.

O primeiro tipo pode ser levantado através de uma pesquisa simples denominada pesquisa de embarque e desembarque, realizada alocando pesquisadores em determinados pontos de parada. Eles anotam em uma planilha o número da linha, o número do veículo, o horário e a quantidade de pessoas embarcando e desembarcando. Ao final do dia, os dados são transcritos a uma planilha eletrônica.

A pesquisa de campo realizada para se obter o segundo tipo de contagem é chamada de pesquisa de ocupação visual. Os pesquisadores posicionados em alguns trechos da rede de transporte anotam em um formulário próprio a ocupação dos veículos orientados por um modelo como o mostrado na FIGURA 17. Por se tratar de um levantamento aproximado da ocupação do veículo, com uma maior probabilidade de erro, normalmente utiliza-se o primeiro tipo para o levantamento de dados.

O programa permite a utilização simultânea dos dois tipos de contagem, definindo-se qual deles tem prioridade sobre o outro, inserindo-os através de uma tabela que segue o

METODOLOGIA PROPOSTA

modelo mostrado na FIGURA 18. Na primeira coluna (STOP) são colocados os números de identificação dos pontos de parada, a coluna ROUTE é preenchida com o número identificador de cada linha. Nas duas colunas seguintes (ON e OFF) são colocados os dados coletados em campo de embarque e desembarque, respectivamente. Na última coluna (RIDERSHIP) são informadas as contagens de ocupação nos trechos.

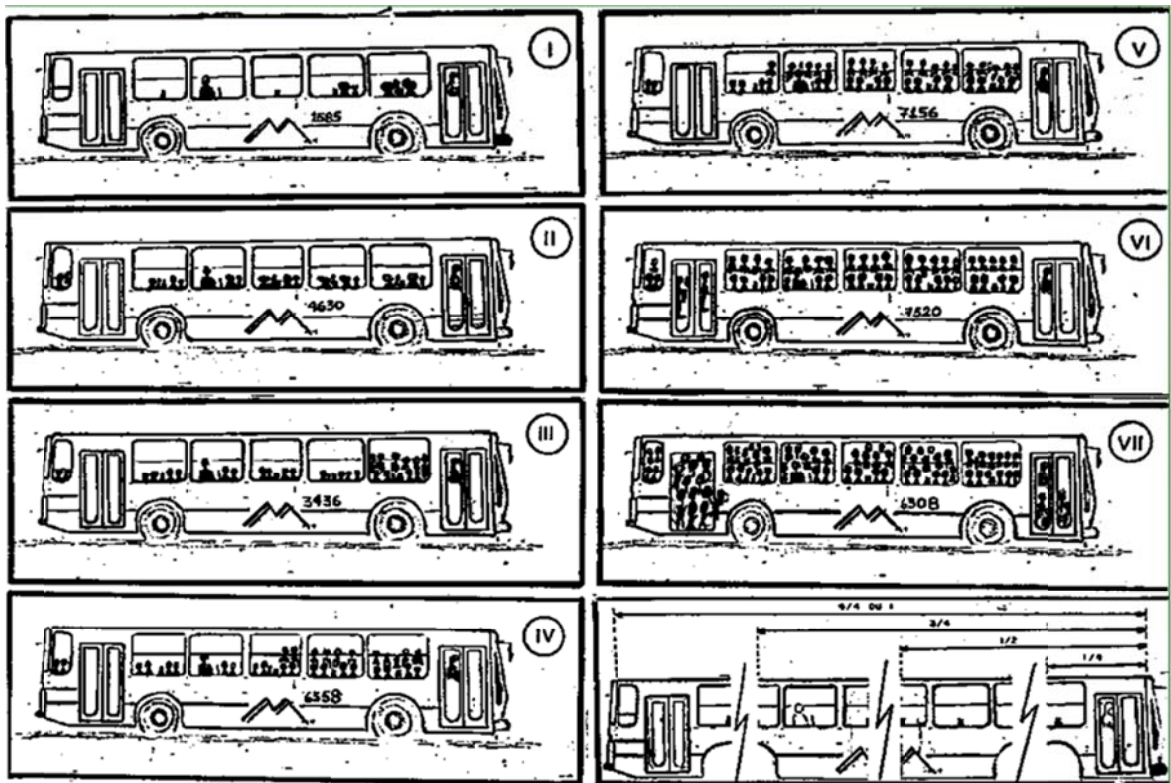


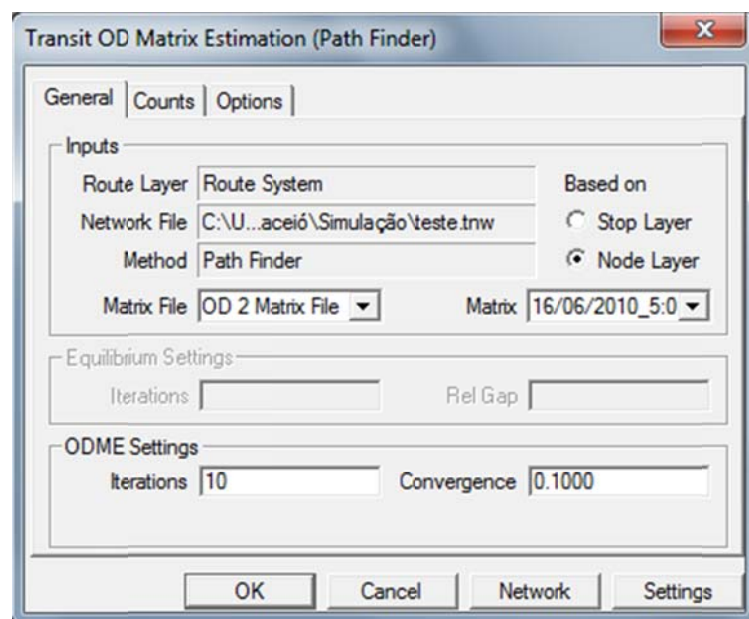
FIGURA 17 - Modelo para pesquisa de ocupação visual

STOP	ROUTE	ON	OFF	RIDERSHIP
31362	877	23	12	--
31455	871	12	18	--
31202	782	10	2	--
31260	888	8	3	--
31433	870	6	9	--
31455	871	--	--	55
31433	870	--	--	40
31362	877	--	--	150
31260	888	--	--	173
31202	782	--	--	76
31004	845	--	--	20
30956	843	--	--	34
30916	842	--	--	12
30880	751	--	--	5
30864	850	--	--	200

FIGURA 18 - Tabela de contagem do modelo *OD Matrix Estimation*

3.4.5 Execução do Modelo

Uma vez preparada a base de dados, a aplicação propriamente do modelo é bastante simples. Ao escolher a função *Transit OD Matrix Estimation* a seguinte janela é mostrada (FIGURA 19). Na primeira aba, denominada Geral (*General*), são escolhidos o arquivo da matriz base (*Matrix File*) e a matriz a ser utilizada (*Matrix*). Além disso, é determinado o número de iterações e o critério de convergência nos campos *iterations* e *convergence*, respectivamente.

FIGURA 19 - Janela "Geral" do modelo *OD Matrix Estimation*

Na aba *counts* (FIGURA 20), são definidos os campos de contagem. O primeiro campo, denominado *dataview*, é preenchido com o nome da tabela em que os dados de contagem foram inseridos. Podem ser utilizados todos os registros da tabela ou apenas uma seleção (campo *selection*). Em *ON volume*, *OFF volume* e *ridership* são indicadas as colunas da tabela de contagem que estão relacionadas com os embarques, os desembarques e os dados de ocupação, respectivamente. Em *priority* é escolhido a qual tipo de contagem deve-se dar prioridade – se é a contagem de embarque/desembarque ou a contagem de ocupação – caso sejam preenchidas as duas opções na tabela para um mesmo trecho. A caixa *estimate for no-count OD pairs* deve ser marcada caso deseje-se estimar viagens para os caminhos entre pares OD sem informação de contagem. Os campos *node-to-node count settings* são preenchidos apenas se for utilizado um terceiro tipo de contagem que não foi abordado no item anterior.

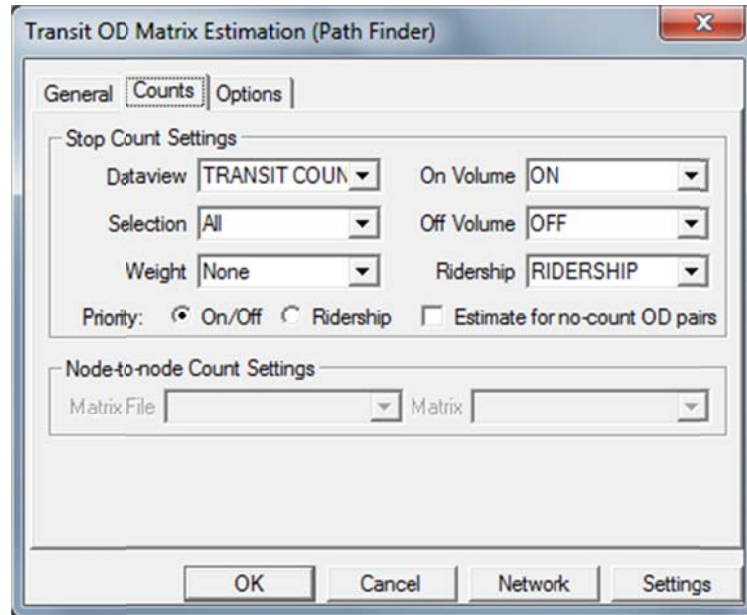


FIGURA 20 - Janela "Contagem" do modelo OD Matrix Estimation

A última aba (*options*) é utilizada quando se deseja definir valores de restrição para algum par OD.

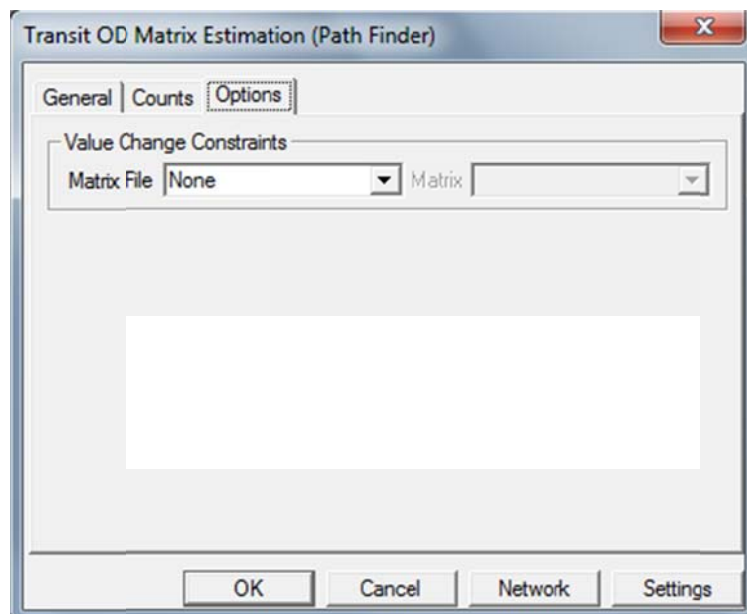


FIGURA 21 - Janela "Opções" do modelo OD Matrix Estimation

A partir destas definições o programa retorna como resultado da rodada a matriz OD estimada para o conjunto total de viagens pelo sistema de transporte no modo especificado.

METODOLOGIA PROPOSTA

Neste capítulo foi apresentada a metodologia proposta com a descrição detalhada de suas etapas. Na primeira etapa, a matriz semente é determinada com base nos dados de transação dos usuários de cartão da bilhetagem eletrônica. Na segunda etapa, a matriz semente é expandida de forma a representar os deslocamentos de todos os usuários do sistema, inclusive aqueles que não são registrados pelo sistema por não pagarem a passagem e não utilizarem cartão. No capítulo seguinte será mostrada a aplicação da metodologia feita para a cidade de Maceió/AL.

4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida neste trabalho foi aplicada ao sistema de transporte público coletivo do município de Maceió, capital de Alagoas. Esta cidade foi escolhida para compor este estudo já que foi possível ter acesso a todos os dados necessários, tais como, base de ruas georreferenciada, descrição do itinerário das linhas de ônibus, banco de dados do SBE, dentre outros. Além disso, trata-se de uma cidade de grande porte com um Sistema de Bilhetagem Eletrônica já consolidado, visto que está em operação desde o ano 2000 e, portanto, apresenta poucos erros de operação por parte dos operadores.

No princípio do capítulo é feita uma descrição da cidade e de seu sistema de transporte público, e seguida é apresentada a composição do banco de dados e como ele é tratado bem como a execução da metodologia foi conduzida para ao caso estudado.

4.1 Descrição da Área de Estudo

4.1.1 Caracterização socioeconômica do município

O estado de Alagoas está localizado no litoral da região nordeste do Brasil, faz divisa com os estados de Sergipe, ao sul, Pernambuco, ao norte, e Bahia em uma pequena extensão a oeste. A população é de 3.120.922 habitantes e possui 102 municípios distribuídos em uma área de 27.779,343 km² conforme informações do censo do IBGE de 2010. A capital tem 932.608 habitantes e uma extensão territorial de 503 km² (IBGE, 2010). A FIGURA 22 mostra a localização do município de Maceió em relação ao Brasil.

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

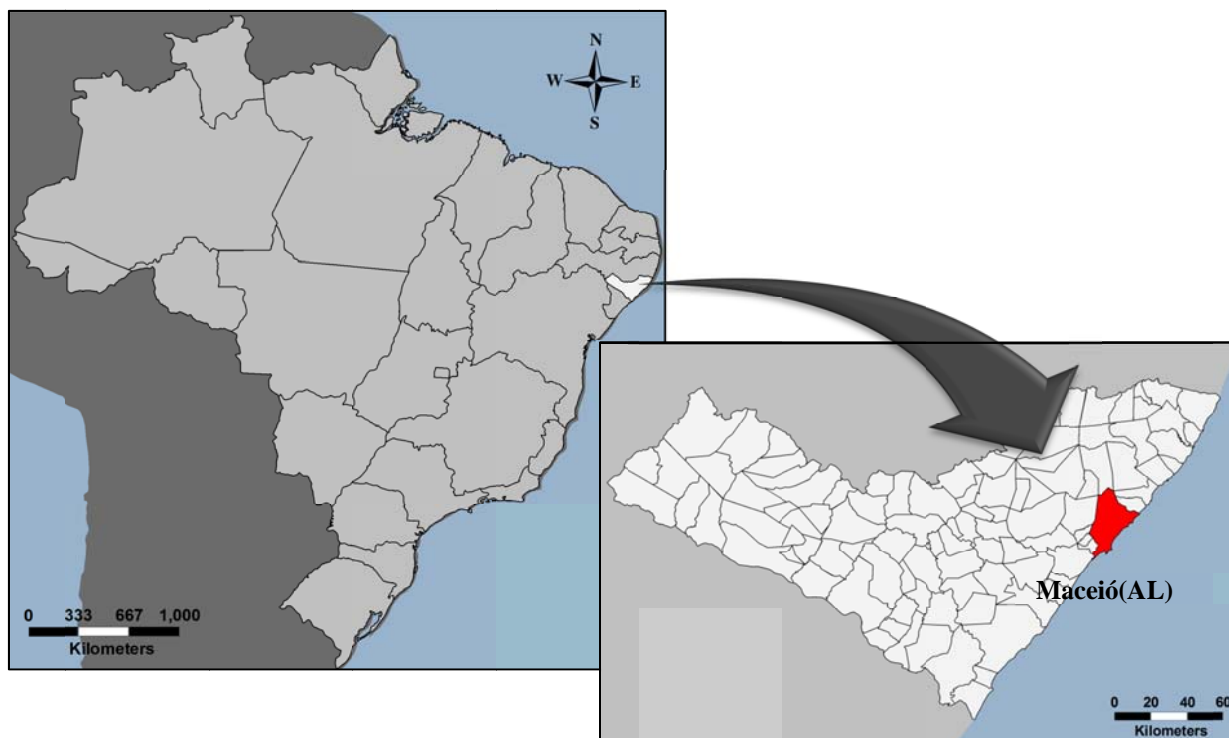


FIGURA 22 - Localização do município de Maceió (AL)

Marguada a leste pelo Oceano Atlântico, Maceió, tem como limites: ao norte os municípios de Flexeiras e São Luís do Quitunde; ao nordeste, Paripueira, Barra de Santo Antônio; ao noroeste, Messias e Rio Largo; ao sudoeste, Satuba, Santa Luzia do Norte e Coqueiro Seco; ao sul, Marechal Deodoro (FIGURA 23).

No que diz respeito à economia do município, Faria e Cavalcanti (2009) destacam como seus principais elementos os setores de comércio e serviço, incluindo administração pública, serviço portuário, atendimento ao consumo de bens e serviços tanto urbanos como dos setores agroindustrial, pecuário, extrativo e turismo, que constituem as bases da economia estadual. Os autores acrescentam ainda o fator de o setor industrial ter baixa expressão, com excessão de um complexo cloro-químico.

A área urbana de Maceió não cobre toda a extensão do território municipal, representa cerca de 45% de sua área total, tomando-se como referência a malha de setor censitário urbano de 2007 do IBGE (FIGURA 23).

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

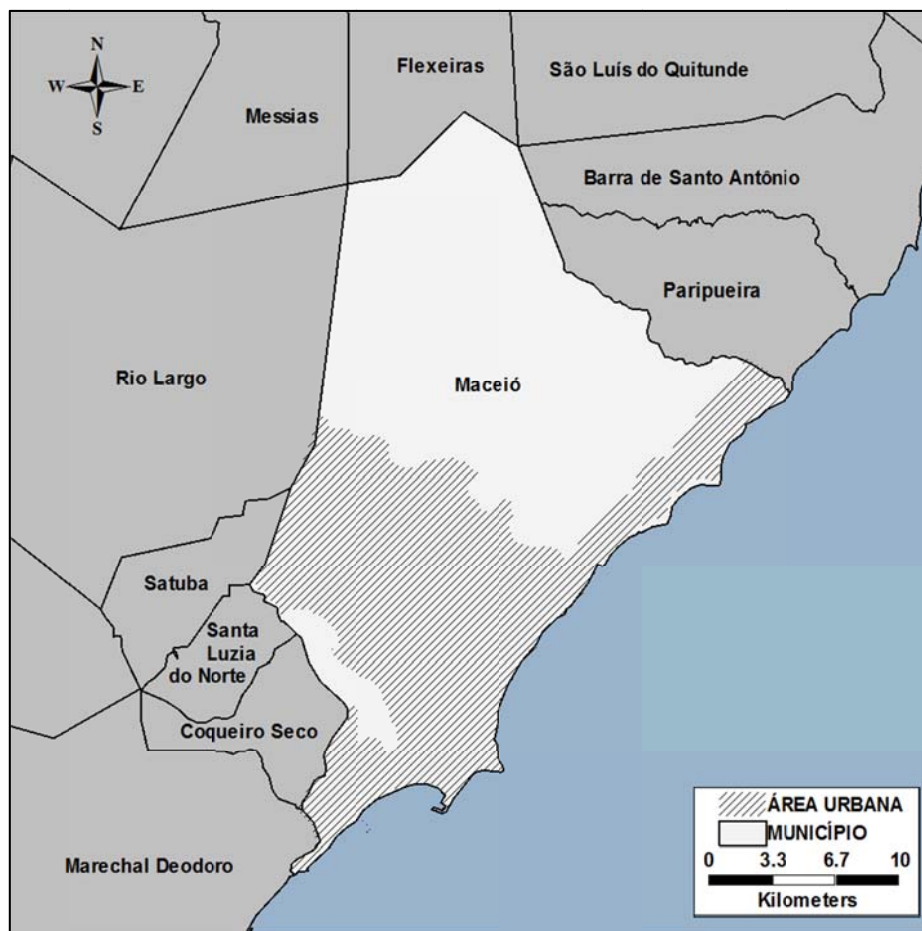


FIGURA 23 - Delimitação da área urbana no município de Maceió (AL)

Quase toda a população do município está localizada na área urbana, são 931.984 habitantes urbanos contra apenas 624 rurais. Considerando a extensão da área urbana igual a 225 km^2 , tem-se uma densidade demográfica uniforme de $4.142 \text{ habitantes/km}^2$, no entanto a população se distribui espacialmente de forma irregular conforme mostrado na FIGURA 24.

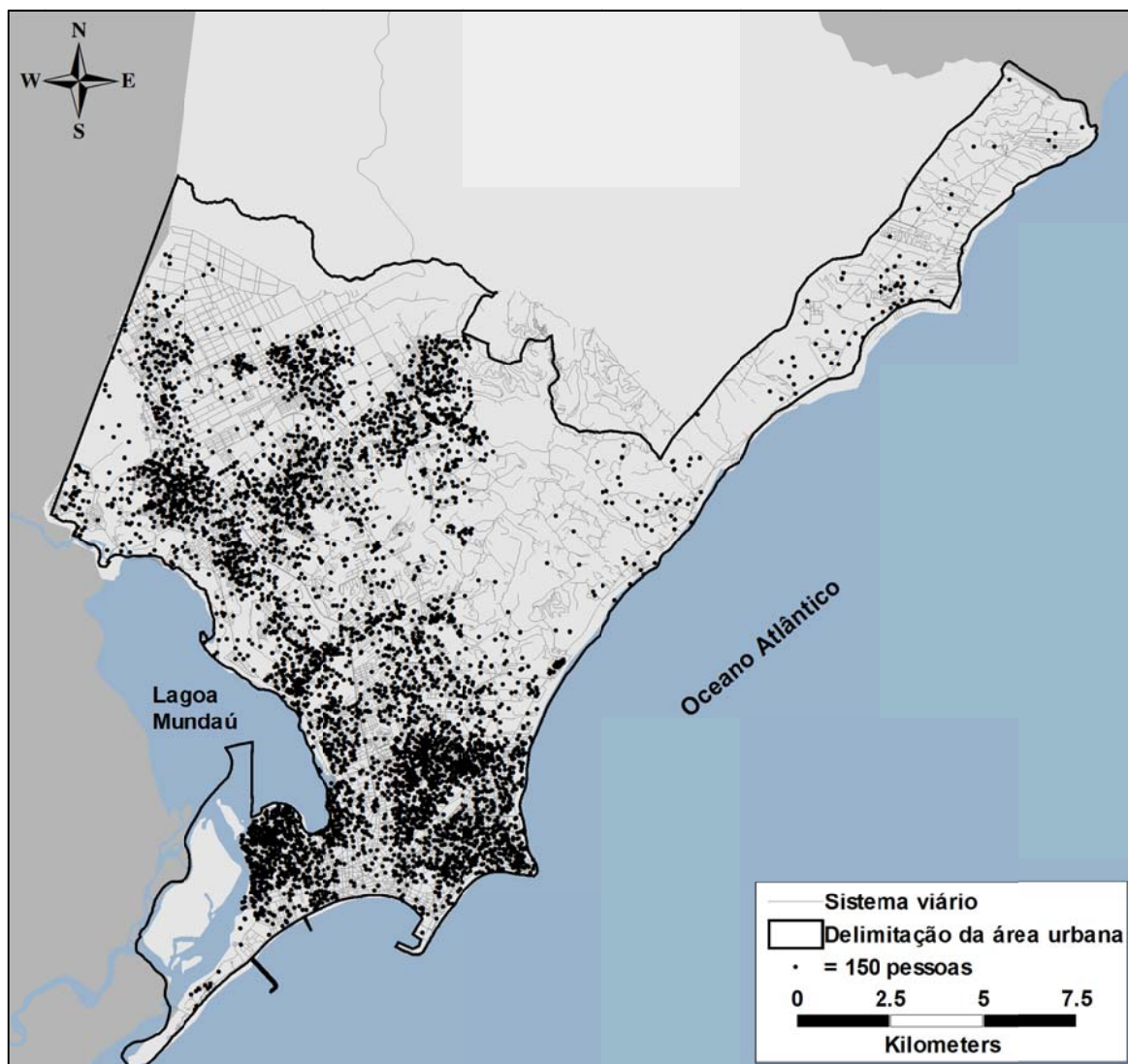


FIGURA 24 - Distribuição espacial da população urbana

Neste mapa cada ponto representa 150 pessoas. Observa-se que o litoral norte, a região noroeste e o extremo sul do município são áreas pouco adensadas. Há uma maior concentração populacional em bairros próximos à área central como – Vergel, Trapiche, Jacintinho, Poço, Pajuçara, Ponta Verde e Jatiúca, e em bairros que margeiam os principais corredores de transporte formados pelas Avenidas Durval de Góes Monteiro, Fernandes Lima e Via Expressa como – Bebedouro, Chã de Jaqueira, Gruta de Lourdes, Serraria, Barro Duro, Clima Bom, Tabuleiro, Cidade Universitária, Benedito Bentes (FIGURA 25).

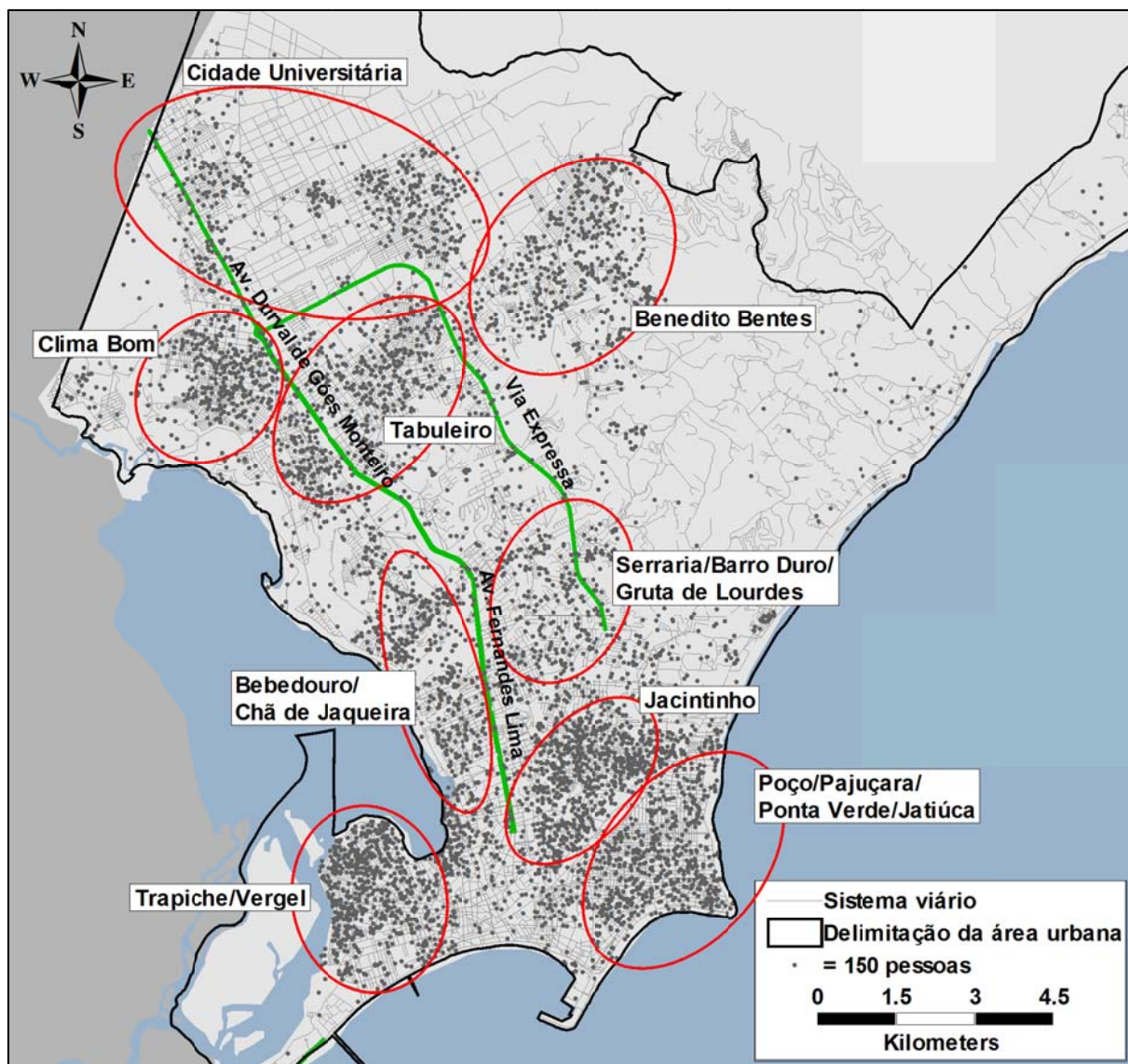


FIGURA 25 - Regiões de maior concentração populacional

Faria e Cavalcanti (2009) descrevem o espaço construído da cidade como sendo majoritariamente térreo com excessão dos bairros litorâneos centrais onde ocorre o processo de verticalização concentrado. Este processo pode explicar a elevada concentração populacional da área verificada na FIGURA 24.

Com relação aos espaços não-construídos, os autores utilizam as seguintes categorias:

- Áreas remanescentes de exploração extrativa, agrícola ou pecuária;
- Áreas de matas e florestas;
- Calhas naturais de drenagem (“grotas”) e falésias (“encostas”);

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

- Faixas costeiras litorâneas;
- Margens da Lagoa Mundaú;
- Áreas livres urbanas de uso público: ruas, praças e “parques”;
- Áreas privadas e institucionais não-edificadas: servidões e recuos obrigatórios, glebas e lotes não-ocupados, sítios e chácaras, além de outros usos urbanos com baixa taxa de ocupação dos terrenos (associações recreativas e hotéis-resorts, entre outros usos ou implantações singulares na cidade).

Observando o mapa de concentração populacional (FIGURA 25), nota-se a ocorrência de vazios na costa lagunar devido à presença das falésias e na região de divisa entre os bairros Jacintinho e Jatiúca, por exemplo, devido à presença de uma gruta. A FIGURA 26 mostra o relevo da cidade com destaque para as planícies lagunar e litorânea (parte baixa da cidade), planaltos sedimentares (Tabuleiro) – parte alta da cidade – e grotas. A figura mostra ainda a localização do centro histórico e do porto, áreas antigas da cidade, e os vetores de crescimento.

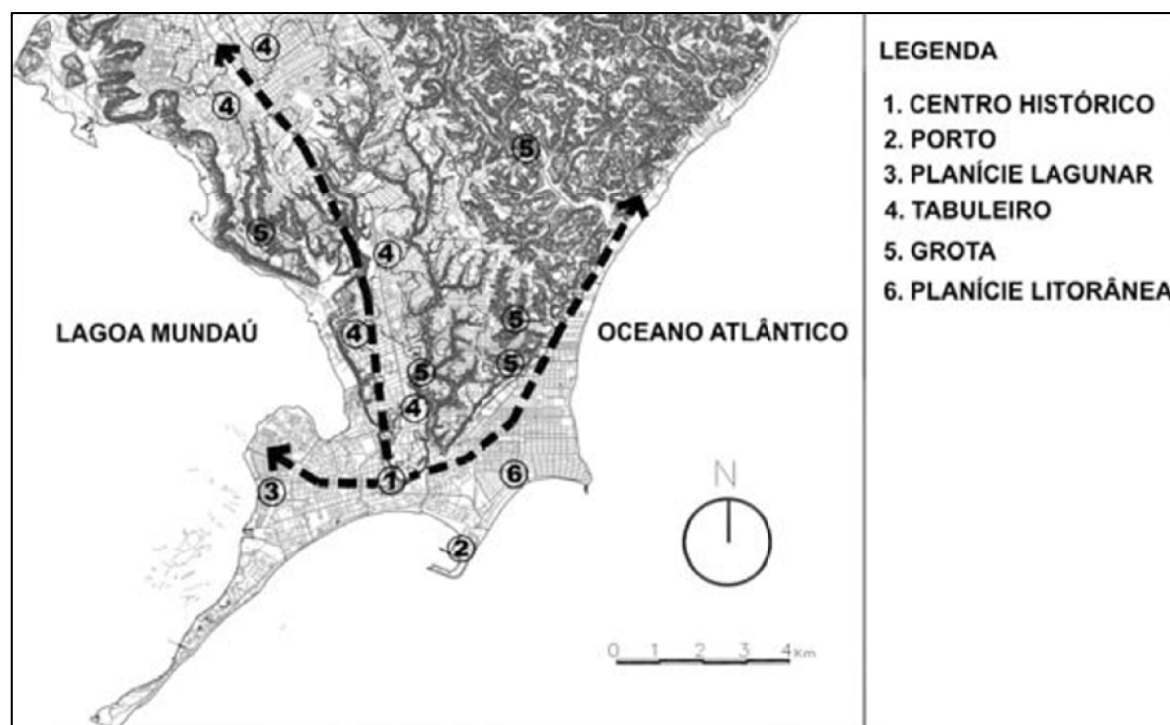


FIGURA 26 - Pontos de destaque na ocupação e vetores de crescimento
Fonte: Prefeitura de Maceió, 2000 *apud* Faria e Cavalcanti, 2009

Ao fazer uma relação entre a distribuição das áreas vazias e a acessibilidade no município, Faria e Cavalcanti (2009) citam: “Considerando a cidade de Maceió em sua totalidade, constata-se a existência de grandes extensões de áreas não urbanizáveis que lhe

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

definem fronteiras bem delimitadas e também segmentações do tecido urbano.” A segmentação do tecido urbano citada é facilmente observada na FIGURA 27. Nota-se que a presença das grotas dificulta a ligação transversal pelo sistema viário. As principais vias da cidade são de característica radial.

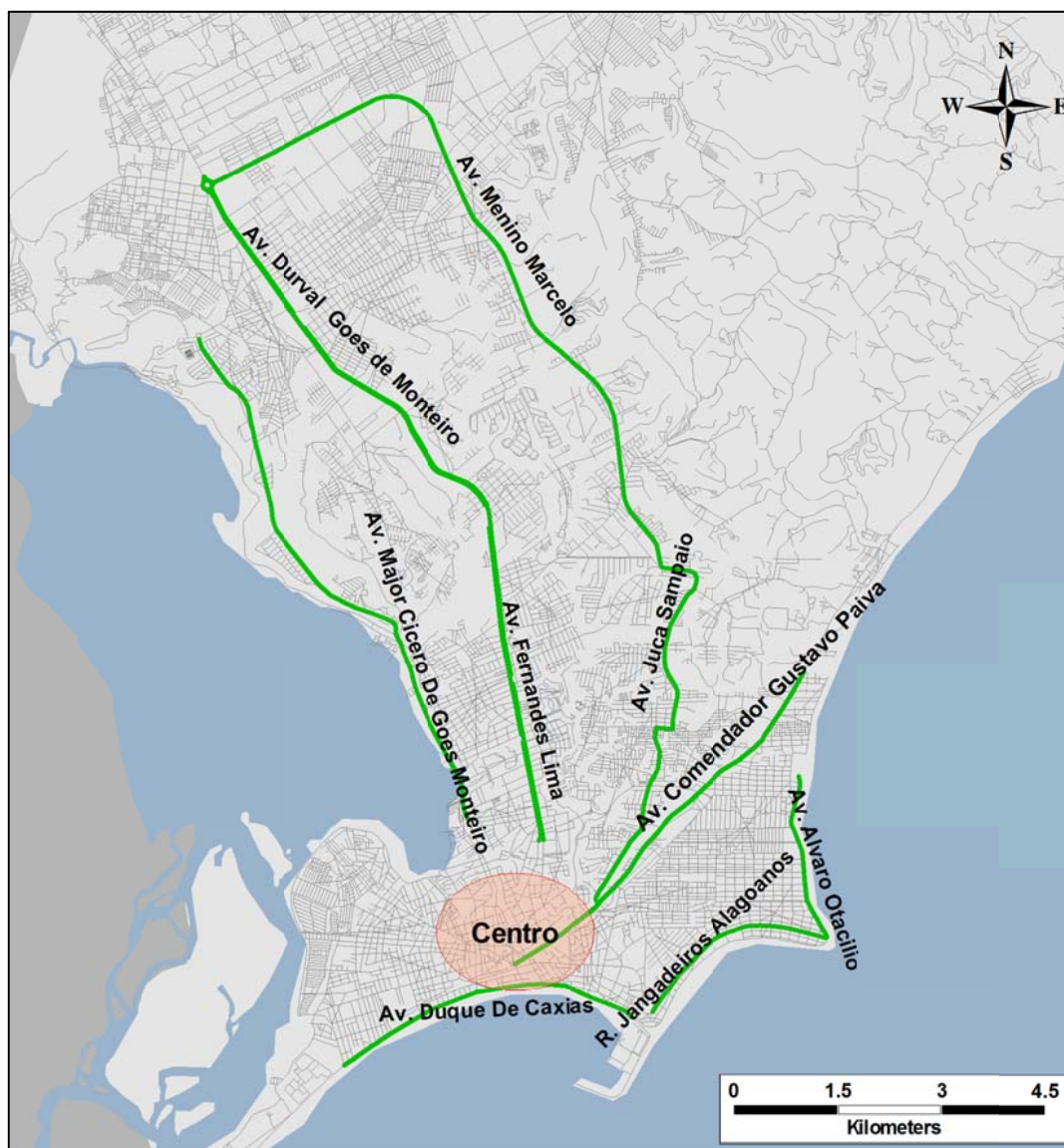


FIGURA 27 - Principais vias e localização do centro

A área urbana de Maceió divide-se em aproximadamente 50 bairros dentre os quais, segundo Costa e Ramos (2004), destacam-se: Barro Duro, Serraria, Bebedouro, Bom Parto, Centro, Cruz das Almas, Farol, Gruta de Lourdes, Jacintinho, Jaraguá, Jatiúca, Levada, Mutange, Pinheiro, Pitanguinha, Poço, Ponta Grossa, Pontal da Barra, Vergel do Lago, Prado, Trapiche da Barra, Tabuleiro dos Martins, Mangabeira, Pajuçara, Ponta da Terra e Ponta Verde. O centro histórico de Maceió está localizado nos bairros Centro e Jaraguá. No

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

primeiro concentra-se o comércio de varejo. Nele ainda localiza-se o centro financeiro e de serviços administrativos e algumas pequenas fábricas. É um bairro com um número pouco expressivo de habitações, informação que pode ser comprovada observando-se o mapa de distribuição da população (FIGURA 25). O bairro Jaraguá, limítrofe ao centro, cresceu em função do porto que, segundo Costa e Ramos (2004), é o segundo do país em exportação de açúcar. No bairro estão localizados antigos armazéns.

Na planície lagunar da cidade estão os bairros Trapiche da Barra, Vergel do Lago, Ponta Grossa, Pontal da Barra, Levada e Prado. Segundo Barbosa *et al.* (2001), a região apresenta edificações predominantemente horizontais, de uso residencial e comercial, densamente construída. No Trapiche da Barra estão instalados alguns importantes equipamentos urbanos como o estádio Rei Pelé, o ginásio e pavilhão multieventos do SESI, o Quartel da Polícia Militar, o Corpo de Bombeiros e serviços de saúde, o Pronto Socorro, o Hospital de Doenças Tropicais, a Escola de Medicina do estado e o Hospital José Carneiro. O Vergel do Lago é um bairro residencial de classe média e baixa com construções populares como os conjuntos habitacionais Virgem dos Pobres e Joaquim Leão. No bairro Levada está o Mercado de Produção, importante centro comercial da cidade.

Os bairros Pajuçara, Ponta Verde, Jatiúca, Cruz das Almas e Mangabeiras são mais novos, exceto o primeiro que sempre se caracterizou como área de veraneio. Apresenta crescimento vertical e o solo é bastante valorizado, principalmente na orla marítima. É uma região turística onde se localizam hotéis de redes internacionais e o maior *shopping center* da cidade.

No Farol, bairro localizado na margem da Av. Fernandes Lima, encontram-se colégios tradicionais, o Quartel do 59º Batalhão de Infantaria motorizada e um grande complexo educacional, o Centro de Estudos Antônio Gomes de Barros (CEAGB). O principal eixo de acesso ao bairro constitui hoje um corredor de serviços onde estão localizados estabelecimentos comerciais, instituições públicas e privadas e escritórios.

O bairro Jacintinho é o de maior densidade populacional onde se encontram habitações de população de baixa renda e um comércio local.

O Tabuleiro dos Martins é o maior e mais populoso bairro de Maceió. Seu crescimento se iniciou na década de 1960, com a implantação do Distrito Industrial Luiz Cavalcante, e continuou com a posterior implantação do Campus Universitário A. C. Simões

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

nos anos 70. Em seguida surgiram dezenas de conjuntos residenciais. Hoje, o bairro já se subdividiu em diversos outros como Santa Luzia, Clima Bom, Antares, Tabuleiro Novo etc.

Próximos ao limite do município e em processo de expansão urbana estão os parques residenciais Benedito Bentes I e II e outros conjuntos como Moacir Andrade e Rosane Collor.

4.1.2 Caracterização do Sistema de Transporte de Maceió

O sistema de transporte público de passageiros municipal de Maceió é composto de 102 linhas das quais 86 são classificadas como convencionais; quatro, como complementares; oito, como corujão (noturnas) e quatro, como integração. A frota operante é de aproximadamente 550 veículos do tipo convencional, exceto por uma pequena quantidade de micro-ônibus e ônibus articulado. O sistema transporta em um dia útil típico, cerca de 330 mil passageiros. Fazem parte do sistema, ainda, três terminais onde ocorre a integração física e tarifária. Nesses locais, ocorre a troca gratuita entre linhas dentro da área fechada do terminal.

A rede de linhas do sistema abrange grande parte da área urbana. A FIGURA 28 mostra a cobertura dos itinerários de todas as linhas do sistema. No mapa ainda são mostrados os terminais de integração Benedito Bentes, Colina dos Eucaliptos e Rotary. A abrangência das linhas sobre o território é mais bem visualizada quando se considera uma faixa de influência.

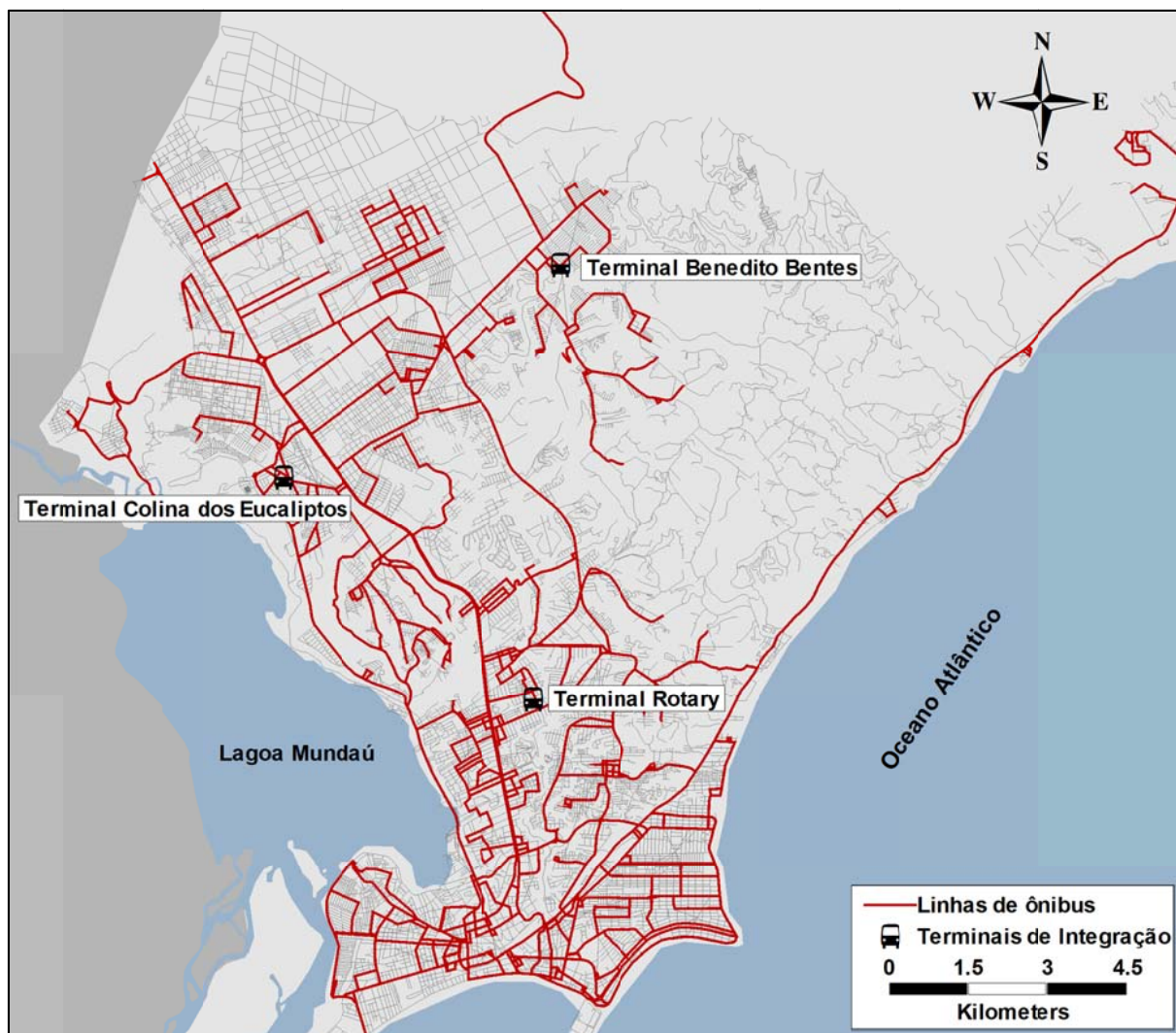


FIGURA 28 - Cobertura do sistema de transporte público

A FIGURA 29 mostra a faixa de cobertura dos itinerários e a abrangência destes sobre a distribuição da população do município, considerando a faixa de abrangência de 500 m de cada lado do itinerário das linhas. Através desse mapa é possível verificar a boa cobertura do sistema. Vale ressaltar que os pontos representando a população foram construídos com base na divisão de setores censitários do IBGE. Eles não representam a exata posição das pessoas, mas sim a densidade populacional de cada um dos setores.

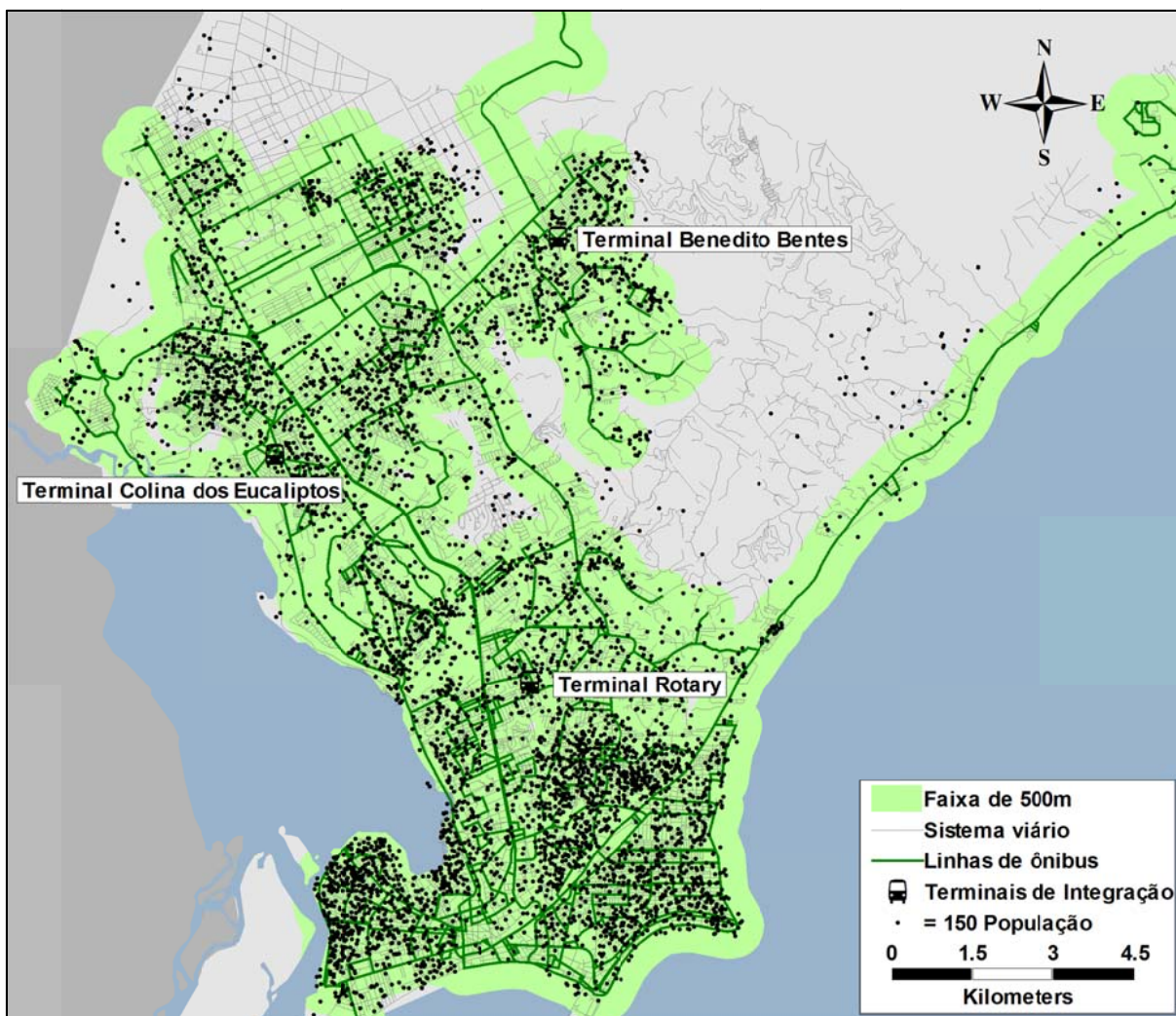


FIGURA 29 - Sobreposição linhas do sistema (faixa de 500m) versus localização da população

Levando-se em conta o produto entre a frequência (número de viagens por período de tempo) e a capacidade média dos veículos de cada linha obtém-se a oferta de lugares do transporte coletivo. A FIGURA 30 mostra um mapa que representa a oferta de lugares no pico da manhã para um dia útil típico. Observa-se que o corredor formado pelas avenidas Fernandes Lima e Durval de Góes Monteiro constitui-se como o principal corredor de transporte público da cidade. Também são importantes corredores, porém com menor representatividade a Via Expressa e a Av. Major Cícero de Góes Monteiro. Verifica-se também que a oferta de transporte é maior na medida em que se aproxima da área central. Nos bairros mais distantes as linhas que representam a oferta tornam-se mais ramificadas.

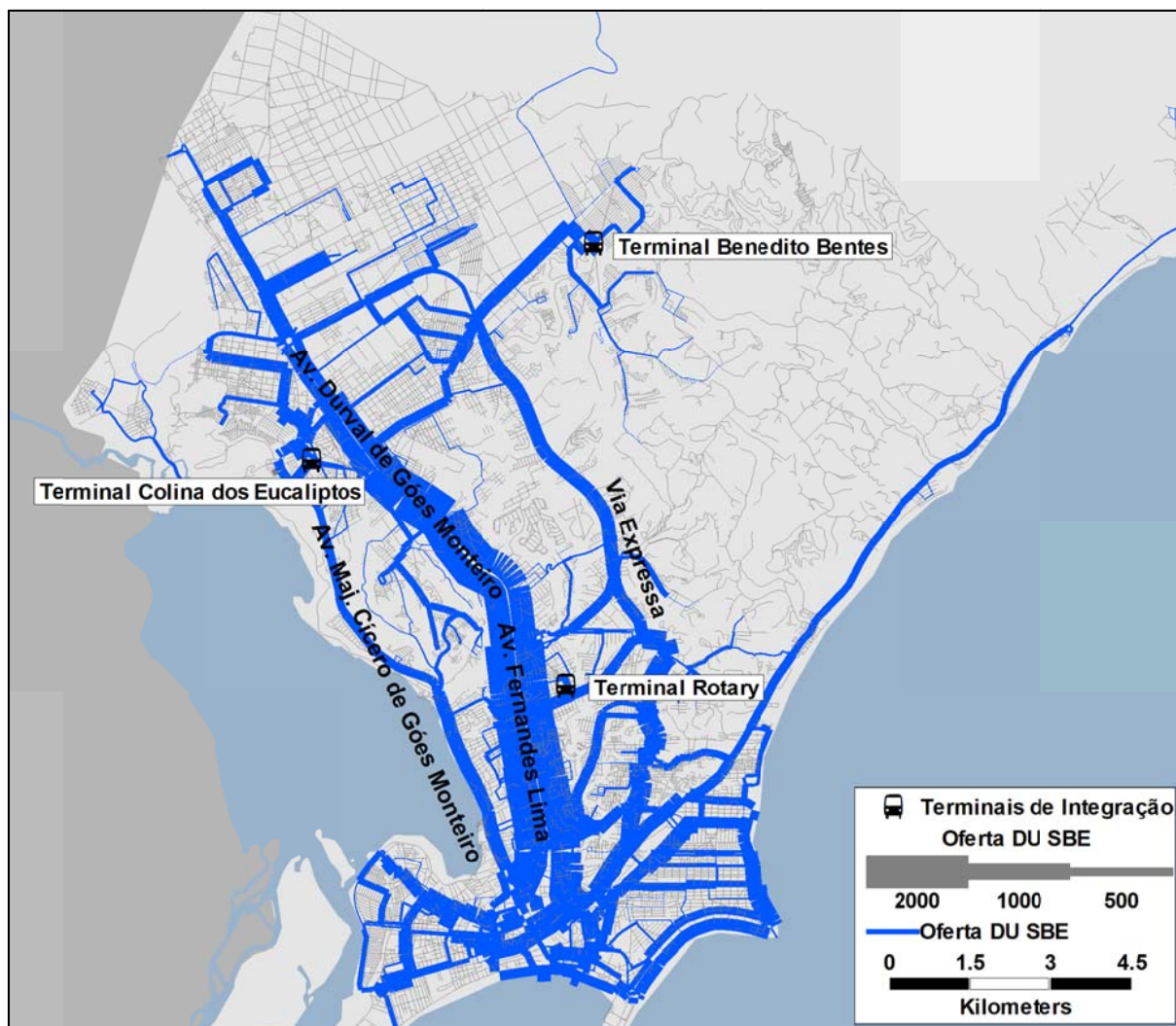


FIGURA 30 - Oferta de lugares no pico da manhã em um dia útil típico

A tarifa normal paga é de R\$ 2,10 (valor em 2010), entretanto determinadas categorias de passageiros utilizam as linhas gratuitamente e outras pagam meia tarifa. A cobrança é feita no interior dos veículos através de pagamento em dinheiro ou utilizando o cartão eletrônico. A bilhetagem eletrônica está em funcionamento no município desde janeiro de 2000, segundo informações obtidas no site da Associação dos Transportadores de Passageiros do Estado de Alagoas (TRANSPAL). Segundo informações da TACOM, empresa que fornece o Sistema de Bilhetagem Eletrônica para Maceió, a cidade utiliza a tecnologia *smartcard* com contato. Os créditos são comercializados em três postos de venda. Para grandes compradores, como as empresas, pode-se comprar também pela internet.

Para caracterizar a demanda do transporte público, foi produzido o GRÁFICO 3 com a distribuição relativa da demanda por faixa horária. A faixa de maior destaque é a de 06:00h que representa quase 11% da demanda total diária, em segundo lugar está a faixa de

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

05:00h. Verifica-se que o pico da manhã (PM) é mais intenso que o do período da tarde. Juntas, as faixas de 05:00h e de 06:00h representam aproximadamente 20% da demanda total diária. Para este estudo será considerado que o período de pico da manhã terá duração de 2 horas e se iniciará às 05:00h compreendendo o intervalo entre 05:00h e 07:00h. As informações de demanda utilizadas na construção do gráfico foram obtidas da base de dados do SBE. Vale destacar que também foram computadas as pessoas que pagam em dinheiro. O sistema de bilhetagem informa o total de passageiros que passam pela roleta: pagantes em dinheiro e cartão e alguns beneficiários de descontos e gratuidade que utilizam cartão específico, porém para os usuários que pagam em dinheiro não há registro individual do horário do embarque, apenas o total embarcado na viagem.

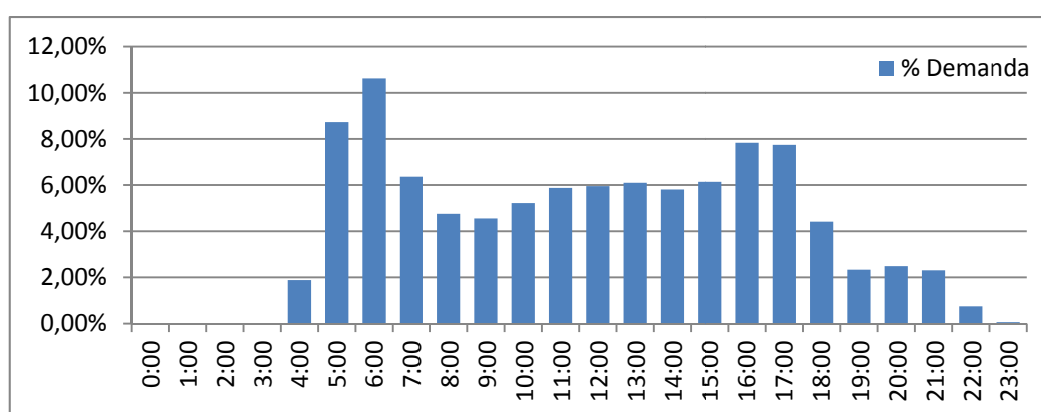


GRÁFICO 3 - Distribuição percentual da demanda por faixa horária em um dia útil típico

4.2 Montagem da Base de Dados

4.2.1 Rede de Transporte

O primeiro passo para a construção do modelo consistiu na montagem da rede de transporte em SIG. Esta rede, conforme foi descrito no item 3.1 deste documento, constitui-se de três elementos fundamentais:

- Rede viária com informações de distância e velocidade operacional do sistema de transporte;
- Rede de transporte público com os itinerários e pontos de parada das linhas do sistema vigente no mesmo período da base de dados do Sistema de Bilhetagem Eletrônica a ser utilizada;
- Zoneamento da área de estudo.

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Para a rede viária foram atribuídos valores da velocidade operacional dos ônibus. Para isso foram selecionadas seis linhas do sistema distribuídas em diferentes regiões do município, a fim de se obter uma boa cobertura da malha viária. Nessas linhas foram instalados aparelhos GPS em veículos que operam durante todo o dia. O objetivo foi definir velocidades bastante próximas do real aos arcos selecionados. A FIGURA 31 ilustra os valores de velocidade para algumas vias, obtidos das medições feitas para o pico da manhã.

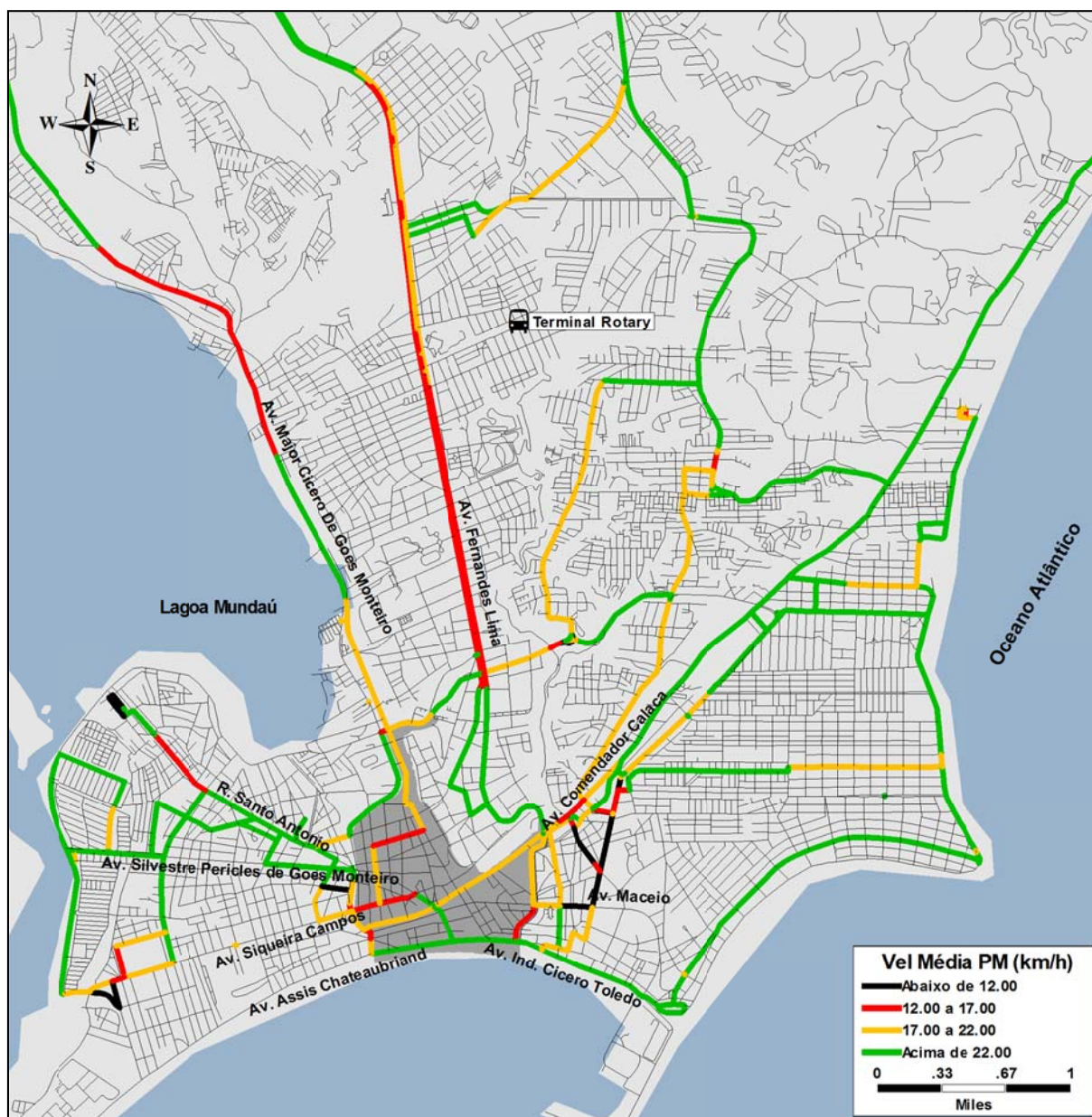


FIGURA 31 - Velocidade média no Pico da Manhã

Para as vias onde não foram utilizados aparelhos GPS, atribuiu-se uma velocidade média para cada bairro conforme os valores medidos para as demais. A partir destes valores e da extensão de cada arco da rede, foi calculado o tempo de viagem do ônibus. O valor do

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

tempo atribuído a cada arco representa o tempo gasto por um ônibus para atravessar este trecho da via.

Sobre a malha viária foram traçadas todas as linhas do sistema em consulta aos itinerários vigentes. No item 4.1.2 foram apresentados os mapas que mostram a cobertura das linhas como um todo.

Depois de montada a rede de transporte, foi então definido o zoneamento da região. Para isso, utilizou-se a divisão proposta na pesquisa Origem/Destino realizada no município no ano de 2004. Na ocasião, a área urbana foi dividida em 57 zonas de tráfego. A TABELA 3 identifica cada uma das zonas pela numeração e pelo nome, e a FIGURA 32 mostra as zonas em um mapa do município. Esta pesquisa não pode ser utilizada para validação do modelo devido a diversos problemas apontados pelos técnicos do município que acabaram por invalidar os seus resultados. Além disto, também os seus resultados não nos foram repassados pelas equipes locais.

TABELA 3 - Código e nome das zonas de tráfego utilizadas para Maceió

Nº da Zona	Nome da Zona	Nº da Zona	Nome da Zona	Nº da Zona	Nome da Zona
1	Centro	20	Bebedouro	39	Serraria I
2	Prado	21	Mutange	40	Serraria II
3	Trapiche da Barra	22	Pinheiro	41	Jacarecica
4	Pontal da Barra	23	Pitanguinha	42	Santos Dumont
5	Jaragua	24	Feitosa	43	Clima Bom
6	Pajuçara	25	Cruz das Almas	44	Tabuleiro I
7	Vergel do Lago	26	Cha de Bebedouro	45	Tabuleiro II
8	Ponta Grossa	27	Cha de Jaqueira	46	Santa Lucia
9	Levada	28	Gruta de Loudes	47	Antares
10	Poço	29	Barro Duro	48	Benedito Bentes I
11	Pontal da Terra	30	São Jorge	49	Benedito Bentes II
12	Ponta Verde	31	Rio Novo	50	Guaxuma
13	Bom Parto	32	Fernão Velho	51	Garca Torta
14	Farol I	33	Santa Amalia	52	Riacho Doce
15	Farol II	34	Petropolis	53	Pescaria
16	Jacintinho I	35	Jardim Petropolis	54	Ipioca
17	Jacintinho II	36	Santo Amaro	55	Cidade Universitaria I
18	Mangabeira	37	Canaã	56	Cidade Universitaria II
19	Jatiuca	38	Ouro Preto	57	Cidade Universitaria III

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

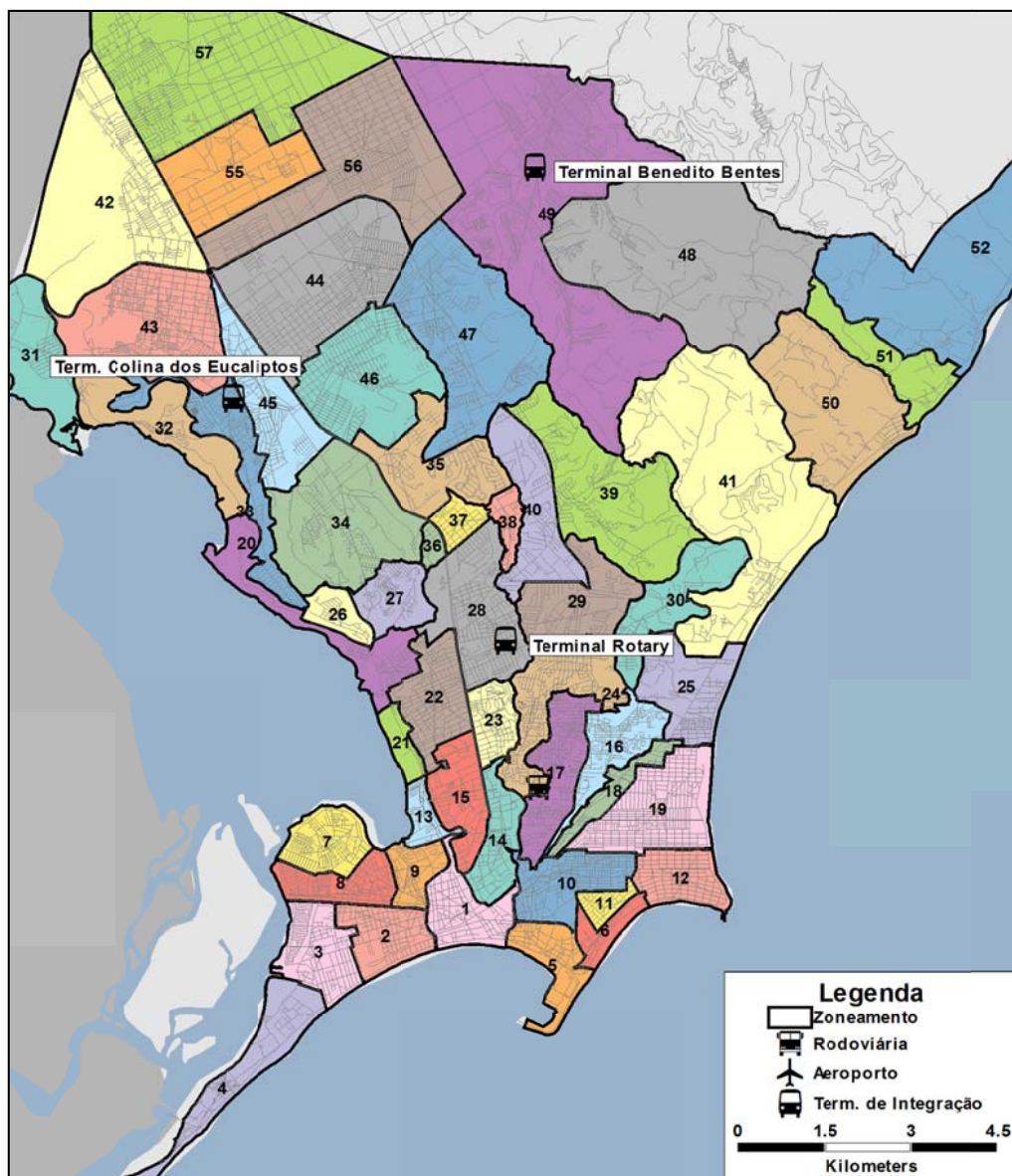


FIGURA 32 - Mapa das zonas de tráfego de Maceió

Para cada zona de tráfego, foi definido um centroide que, no modelo, passou a representá-la. Os centroides foram ligados à rede através de arcos especiais denominados conectores. A localização do centroide dentro da zona e suas ligações (quantidade e posição) foram definidas conforme a configuração do sistema viário e o traçado das linhas do transporte público. Por exemplo, nas zonas 41, 50 e 51, os centroides foram posicionados na parte litorânea das zonas já que o restante de sua área é praticamente inabitada (FIGURA 33).

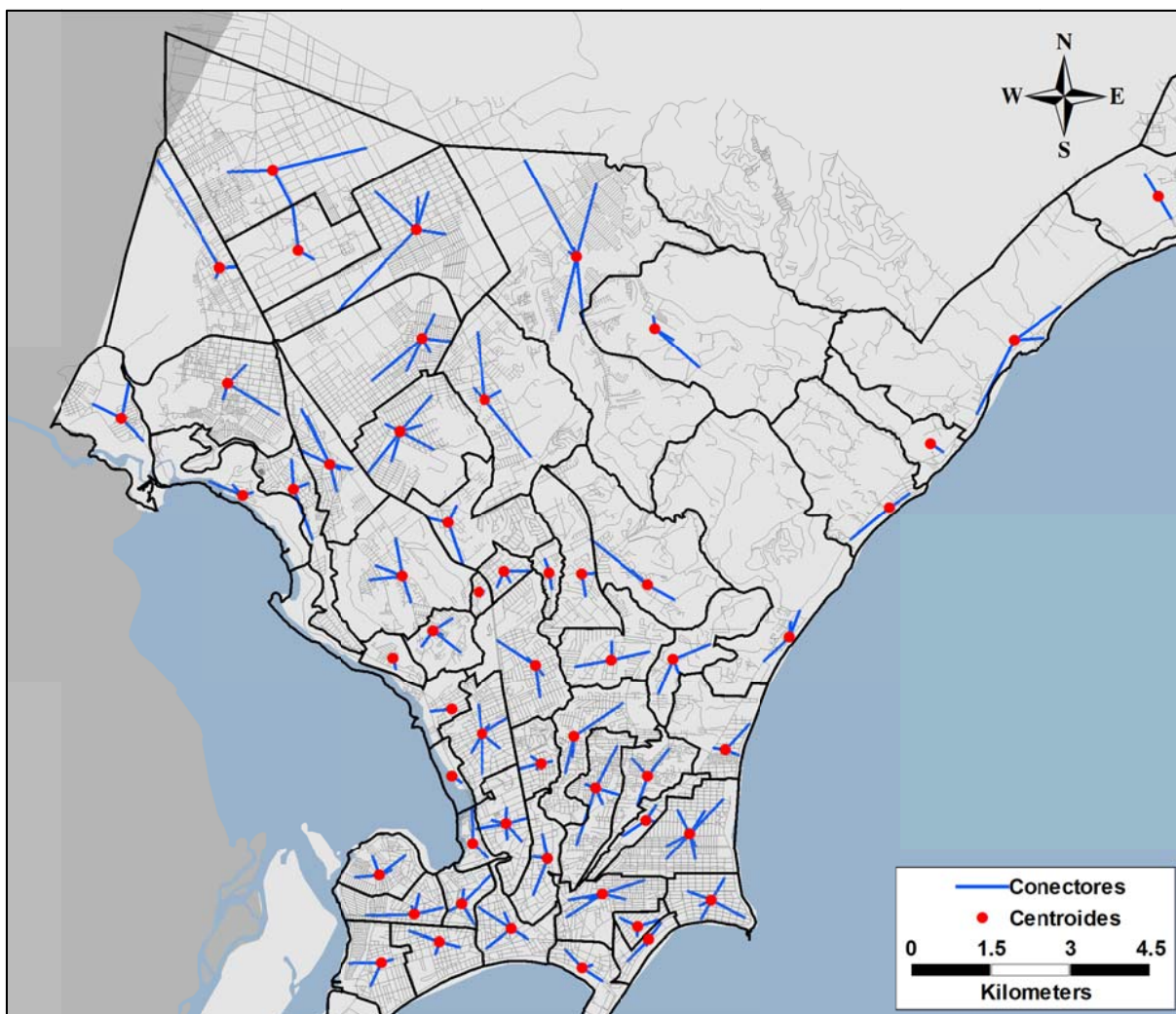


FIGURA 33 - Centroides e conectores das zonas de tráfego

4.2.2 Base de Dados do SBE

O SBE do transporte municipal de Maceió fornece dois arquivos, um deles contém os registros de todas as transações feitas com o cartão eletrônico e o outro, os registros de viagens. A base de dados obtida contém todas as informações da semana do dia 13 ao dia 20 de junho de 2010, no entanto, optou-se por utilizar apenas os dados do dia 16 de junho de 2010 por ser uma quarta-feira, dia que apresenta um comportamento típico de um dia útil. Ao todo, para esta data, foram registradas 3.966 viagens e 172.260 validações de cartões. Os campos do primeiro arquivo são descritos no QUADRO 2.

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

QUADRO 2 - Descrição dos campos do arquivo de cartões

Campo	Descrição
DATA	Data e hora de registro do cartão
LINHA	Número da linha
CARRO	Número do carro
VIAGEM	Código de referência da viagem
CARTÃO	Número do cartão do usuário

O arquivo com os registros das viagens contém os campos descritos na QUADRO

3.

QUADRO 3 - Descrição dos campos do arquivo de viagens

Campo	Descrição
DATA	Data e hora de referência da viagem
OPERADORA	Código de referência da empresa operadora da linha
ABERTURA	Data e Hora de abertura (início) da viagem
FECHAMET	Data e hora de fechamento (término) da viagem
GARAGEM	Código de referência da garagem do veículo
VEICULO	Código do veículo
LINHA	Número da linha
VIAGEM	Código de referência da viagem
COBRADOR	Código de referência do cobrador
MOTORISTA	Código de referência do cobrador
QTD_GRATU	Quantidade de passageiros gratuitos na viagem
QTD_EST_GRA	Quantidade de passageiros estudantes gratuitos na viagem
QTD_PASSE	Quantidade de passageiros estudantes com passe (pagam meia tarifa) na viagem
QTD_VALES	Quantidade de passageiros que pagam com cartão na viagem – tarifa normal
QTD_INTEI	Quantidade de passageiros que pagam em dinheiro na viagem

Os cinco últimos campos mostrados neste quadro indicam a quantidade de passageiros por categoria. Desses, os quatro primeiros – QTD_GRATU, QTD_EST_GRA, QTD_PASSE e QTD_VALES – são categorias de passageiros que utilizam cartão eletrônico. A soma de todas elas para o dia 16 é igual a 172.093. Nota-se que existe uma diferença entre este valor e o total de registro do arquivo de cartões. Isso ocorre porque nas viagens noturnas, existem passageiros que embarcam antes de meia noite e outros que embarcam depois. Nesses casos, todos os passageiros da viagem – no arquivo de viagens – são contados. Já no arquivo de cartões, só são contados aqueles que embarcam no dia 16, ou seja, os que embarcam antes de meia noite. O último campo da tabela, QTD_INTEI, indica a categoria de passageiros que

paga a passagem em dinheiro. O total desses passageiros para o dia 16 é de 125.713. A proporção entre os passageiros usuários de cartão eletrônico e passageiros que pagam em dinheiro é de 58% e 42%, respectivamente.

Algumas categorias de passageiros não são contemplados no sistema de bilhetagem eletrônica, são eles: os usuários beneficiados pela gratuidade que não utilizam cartão e aqueles que não são beneficiados pela gratuidade e mesmo assim não pagam passagem, caracterizados como evasão. No entanto, esta demanda será considerada na matriz final durante o processo de expansão da matriz semente.

4.2.2.1 Arquivo de Viagens

De posse dos arquivos, inicia-se um trabalho de análise e de processamento dos dados. A principal análise feita está relacionada à eficácia do trabalho dos operadores em realizar a abertura e o fechamento de viagem, única etapa da operação do sistema de bilhetagem que necessita de interferência humana. Existem casos em que o cobrador atrasa o fechamento da viagem fazendo com que o sistema agrupe a esta viagem, dados relativos à viagem posterior. Por consequência, a viagem posterior terá sua abertura adiada, fazendo com que o tempo decorrido desde sua abertura até seu fechamento seja menor do que o tempo de viagem real da linha. Para identificar e eliminar os registros de viagem com este tipo de erro foi elaborada uma análise estatística, sobre os tempos de viagem das linhas, que será descrita adiante.

A TABELA 4 apresenta a média dos tempos de viagem de uma linha para cada faixa horária do dia. Nota-se que a diferença entre o maior e o menor valor é superior a uma hora. Diante disso, verificou-se a necessidade de realizar uma análise estatística escalonada por faixa horária.

Segundo Paes (2009), os métodos paramétricos baseiam-se na suposição de que os dados observados na amostra são provenientes de uma população com distribuição de forma teórica conhecida. A suposição de que os dados seguem uma distribuição normal é assumida para os métodos estatísticos mais conhecidos. Este fato somado a resultados teóricos fundamentais (teorema do limite central) faz com que a distribuição normal seja a distribuição teórica mais importante em estatística. Neste trabalho, para efeito prático, assumiu-se que os tempos de viagem de uma linha dentro de uma mesma faixa horária seguem distribuição normal. Apesar de se ter ciência da necessidade de realização de uma análise estatística

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

aprofundada das variáveis, admitiu-se esta simplificação, pois neste trabalho foi dado maior enfoque à metodologia de determinação da matriz.

TABELA 4 - Média dos tempos de viagem, por faixa horária de uma linha

Faixa horária	Média do Tempo de Viagem
4:00	00:54:44
5:00	01:12:05
6:00	01:31:38
7:00	01:32:50
8:00	01:34:56
9:00	01:22:57
10:00	01:29:21
11:00	01:27:41
12:00	01:34:09
13:00	01:36:23
14:00	01:25:48
15:00	01:23:21
16:00	01:35:40
17:00	01:52:39
18:00	01:20:23
19:00	00:57:08
20:00	00:57:36
21:00	01:04:25
22:00	00:48:31

O GRÁFICO 4 e a TABELA 5 exemplificam a análise estatística feita para as linhas. O gráfico mostra a distribuição normal dos tempos de viagem de uma linha na faixa horária de 6:00h. As barras verticais representam os intervalos de probabilidade. A probabilidade de um ponto x estar entre as barras maiores, por exemplo, é de 70% (100% - 15% - 15%) e é representada graficamente pela área hachurada. A probabilidade de um ponto x estar entre as barras intermediárias é de 80% (100% - 10% - 10%) e entre as barras menores é de 90% (100% - 5% - 5%).

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

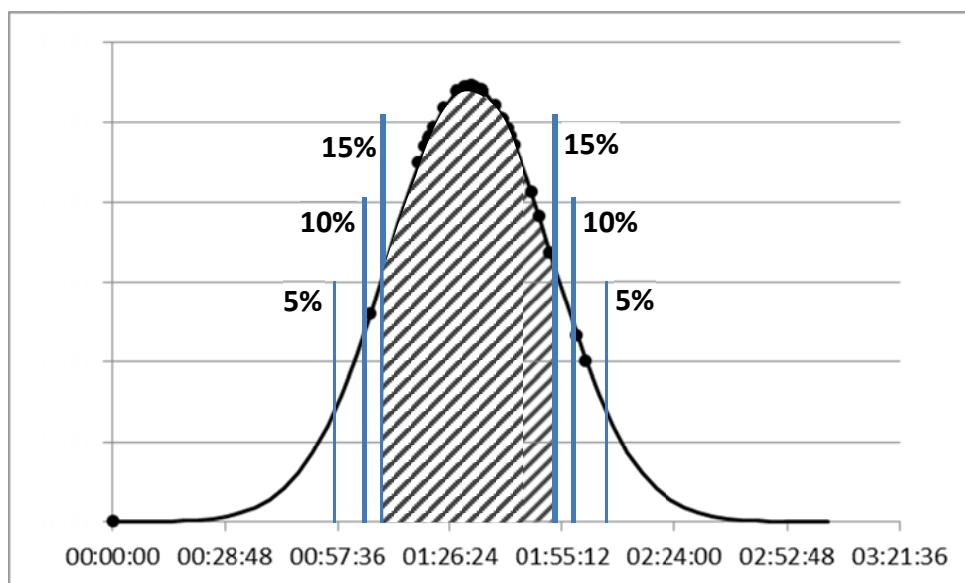


GRÁFICO 4 - Exemplo de distribuição normal dos tempos de viagem de uma linha para a faixa horária de 6:00h

TABELA 5 - Variação da probabilidade

Ponto	TV	TV médio	Diferença	90%	80%	70%
1	0:00:20	1:31:38	1:31:18	0	0	0
2	1:05:59	1:31:38	0:25:39	1	1	0
3	1:18:32	1:31:38	0:13:06	1	1	1
4	1:20:11	1:31:38	0:11:27	1	1	1
5	1:21:02	1:31:38	0:10:36	1	1	1
6	1:21:19	1:31:38	0:10:19	1	1	1
7	1:22:20	1:31:38	0:09:18	1	1	1
8	1:24:54	1:31:38	0:06:44	1	1	1
9	1:28:20	1:31:38	0:03:18	1	1	1
10	1:30:19	1:31:38	0:01:19	1	1	1
11	1:30:42	1:31:38	0:00:56	1	1	1
12	1:30:44	1:31:38	0:00:54	1	1	1
13	1:31:45	1:31:38	0:00:07	1	1	1
14	1:32:17	1:31:38	0:00:39	1	1	1
15	1:32:44	1:31:38	0:01:06	1	1	1
16	1:34:20	1:31:38	0:02:42	1	1	1
17	1:34:44	1:31:38	0:03:06	1	1	1
18	1:34:50	1:31:38	0:03:12	1	1	1
19	1:37:57	1:31:38	0:06:19	1	1	1
20	1:39:47	1:31:38	0:08:09	1	1	1
21	1:39:58	1:31:38	0:08:20	1	1	1
22	1:40:07	1:31:38	0:08:29	1	1	1
23	1:41:12	1:31:38	0:09:34	1	1	1
24	1:41:58	1:31:38	0:10:20	1	1	1
25	1:42:55	1:31:38	0:11:17	1	1	1
26	1:47:26	1:31:38	0:15:48	1	1	1
27	1:49:28	1:31:38	0:17:50	1	1	1
28	1:52:19	1:31:38	0:20:41	1	1	1
29	1:59:09	1:31:38	0:27:31	1	0	0
30	2:01:28	1:31:38	0:29:50	1	0	0

A tabela anterior apresenta, para cada ponto do gráfico, o valor do eixo x (tempo de viagem), o valor da média e a diferença entre estas duas variáveis. As três últimas colunas

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

mostram, para cada uma das probabilidades mostradas anteriormente (90%, 80% e 70%), os pontos que ficaram dentro de cada intervalo (representados pelo número 1) e os que ficaram fora (representados pelo número 0). Observa-se que para a probabilidade de 70% ficaram fora do intervalo os pontos 1, 2, 29 e 30, todos eles muito distantes da média. Pode-se notar que os quatro pontos tiveram uma diferença superior a 25 minutos em relação à média. Sendo assim, optou-se por trabalhar a favor da segurança, portanto, com uma probabilidade de 70%.

O total de registros eliminados do dia 16, ou seja, aqueles cujos tempos de viagem ficaram fora do intervalo estipulado, foi de 784, o que representa cerca de 20% do total.

4.2.2.2 Arquivo de Cartões

No arquivo de cartões, foram registradas 172.260 transações de 82.614 cartões no dia 16 de junho. Verifica-se uma média de 2,08 validações por cartão. Para este estudo, por se estar montando a matriz OD do pico da manhã (PM), foram utilizados apenas os cartões dos quais pelo menos um registro tenha ocorrido entre 5:00h e 7:00h. Na TABELA 6 são mostrados quatro exemplos: o primeiro (de código 2310000010678) foi utilizado quatro vezes no dia 16, o cartão 2310000010728 e o 2310000010799, três vezes e o cartão 2310000010804, duas vezes. A primeira validação de todos eles ocorreu entre 5:00h e 7:00h. No total foram 51.164 transações referentes a cartões que foram validados pelo menos uma vez no pico da manhã (todas as utilizações destes cartões inclusive as que ocorreram fora do PM). Foram 23.011 cartões com 24.917 utilizações dentro do PM e 51.164 registros no total. Nota-se que 28% dos usuários de cartão realizaram viagens no período de pico da manhã.

TABELA 6 - Exemplos de cartões com registro no pico da manhã

Linha	Carro	Viagem	Cartão	Data	Hora
24	1613	14517788	2310000010678	16/06/2010	06:51:13
33	1149	14517094	2310000010678	16/06/2010	07:04:05
46	6302	14521043	2310000010678	16/06/2010	07:49:19
24	1902	14517569	2310000010678	16/06/2010	18:43:58
42	4402	14521598	2310000010728	16/06/2010	05:42:50
42	4400	14521156	2310000010728	16/06/2010	13:38:49
42	4278	14521235	2310000010728	16/06/2010	16:12:07
57	7146	14518853	2310000010799	16/06/2010	05:57:58
57	7275	14518465	2310000010799	16/06/2010	14:17:50
58	7011	14518129	2310000010799	16/06/2010	18:27:00
102	7206	14518282	2310000010804	16/06/2010	06:50:55
102	7181	14518783	2310000010804	16/06/2010	18:59:05

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Para os objetivos atuais de determinação de uma matriz OD para o período de pico da manhã, foram levados em conta apenas dois registros de cada cartão, o primeiro, localizado dentro do PM, e o registro subsequente – no caso dos passageiros que não realizam transbordo – ou o posterior ao subsequente – no caso dos que realizam transbordo. Dessa forma, os demais registros foram descartados a fim de se reduzir a base de dados e melhorar o tempo de processamento. Restou apenas um par de registros para cada cartão. Neste processo, de um total de 51.164 registros restaram 42.274.

Conforme descrito no item 0, foi dado um tratamento especial aos cartões que tiveram apenas um registro na base de dados e àqueles em que um de seus registros ocorreu em viagem com erro de abertura e fechamento. Conforme descrito na metodologia, esses registros foram desconsiderados da base de dados no momento inicial de determinação dos locais de origem e destino, mas posteriormente foram incorporados à matriz.

A FIGURA 34 mostra esquematicamente o processo descrito neste item. Nota-se que de um total de 24.917 embarques ocorridos com cartão eletrônico, dentro do horário de pico da manhã, foram utilizados 13.911 para a determinação da matriz OD semente, ou seja, 56%. Conforme mostrado no início deste item, como os usuários de cartão representam 58% do total de usuários do sistema fica demonstrado que a amostra representa 32% (GRÁFICO 5).

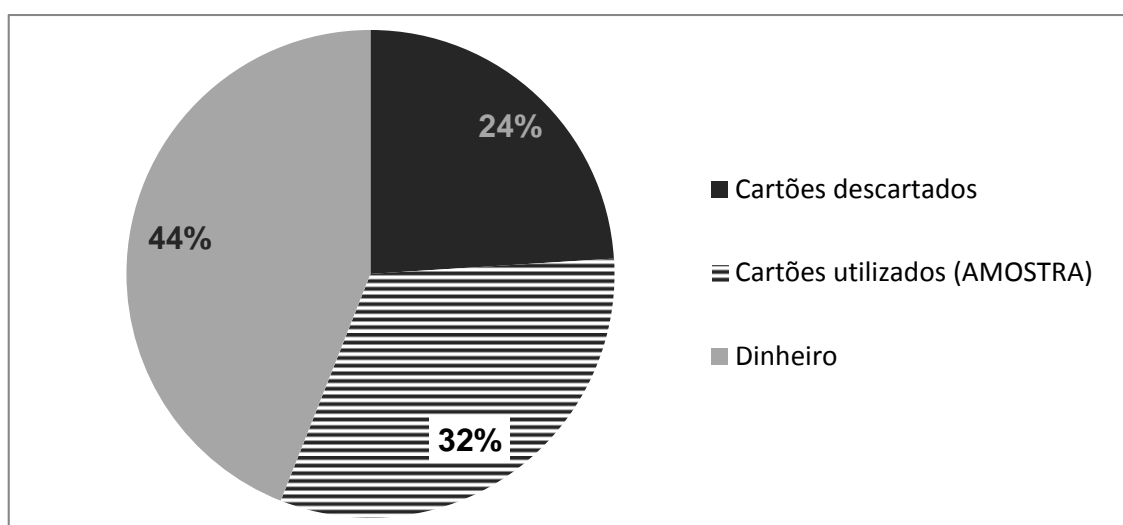


GRÁFICO 5 - Percentual da amostra

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

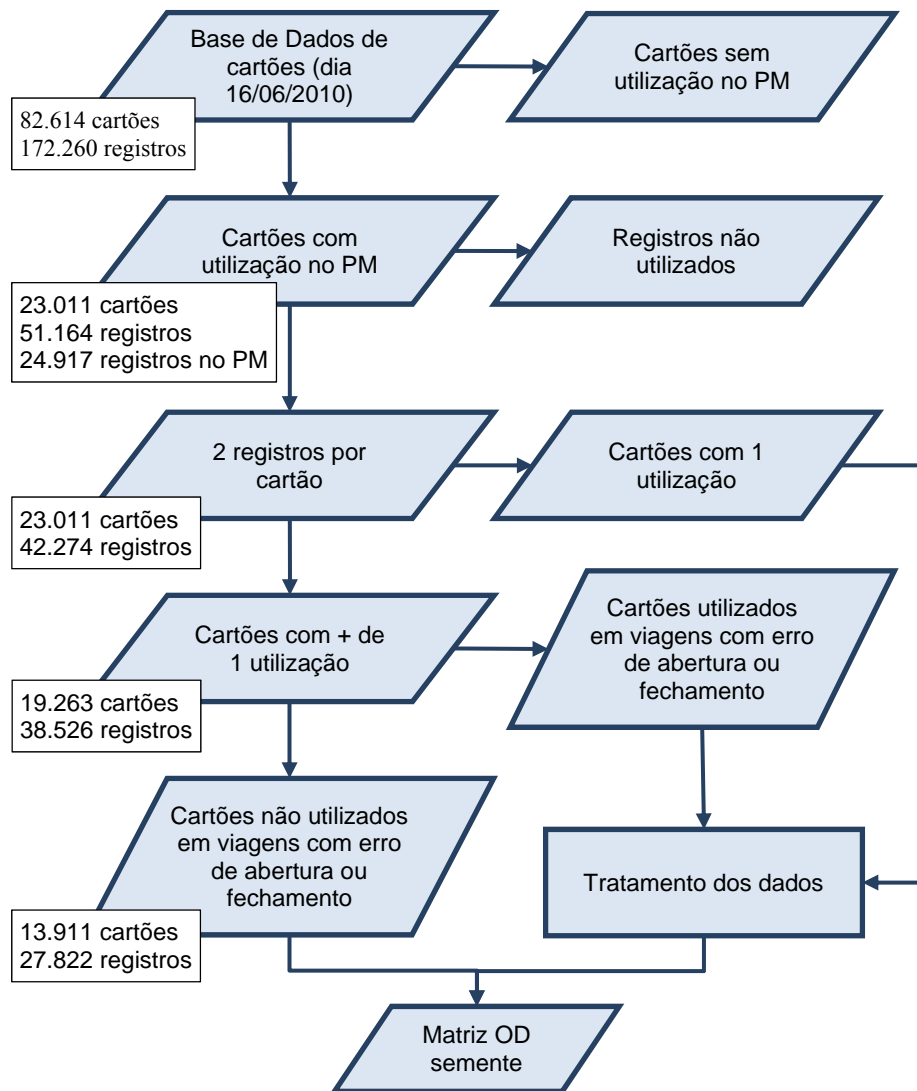


FIGURA 34 - Fluxograma do processo de tratamento dos dados de cartão

Apesar dos cartões com apenas uma utilização e dos utilizados em viagens com erro de abertura e fechamento terem sido incluídos na matriz semente ao final do processo, eles não fizeram parte do cálculo da amostra, pois não foram calculados de forma direta como os demais.

4.2.2.3 Ocorrências Especiais na Base de Dados de Cartões

Algumas situações corriqueiras do transporte coletivo podem ser identificadas através da base de dados de cartões, e devem ser tratadas a fim de se evitar erros no processo de determinação da matriz semente. Essas situações são: a utilização de um mesmo cartão para dois usuários e a utilização de dois ônibus para se realizar uma viagem completa.

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Alguns usuários do transporte coletivo, quando estão viajando acompanhados, utilizam apenas um cartão para ele e para o(s) acompanhante(s). Este tipo de ocorrência pode ser detectado na base de dados, conforme mostrado na TABELA 7.

TABELA 7 - Utilização de um cartão para mais de uma pessoa

Linha	Carro	Viagem	Cartão	Data	Hora
711	7009	14518097	2310000010974	16/06/2010	06:27:07
711	7009	14518097	2310000010974	16/06/2010	06:27:13
711	7057	14518201	2310000010974	16/06/2010	08:10:31
711	7057	14518201	2310000010974	16/06/2010	08:10:41

O cartão 2310000010974 teve dois pares de utilizações que ocorreram quase simultaneamente cada um, com apenas alguns segundos de diferença. Neste caso é considerado que duas pessoas embarcam na linha 711 próximo de 6:27h, e depois embarcam na mesma linha por volta de 8:10h. A ocorrência de mais de um registro de um único cartão em uma mesma viagem identifica este tipo de situação.

Conforme descrito na metodologia foram tratados também os casos em que o passageiro precisa utilizar duas linhas de ônibus para completar seu deslocamento. No exemplo da TABELA 8 o usuário embarca na linha 52 e, em seguida, na linha 407 com um espaço de 22 minutos. Por se tratar de um intervalo de tempo curto, pode-se supor que o passageiro realizou um transbordo para chegar ao seu destino final. O local do transbordo foi apenas um destino temporário onde ocorreu a troca entre linhas. Neste caso, o segundo registro foi eliminado restando o primeiro e o terceiro.

TABELA 8 - Exemplo de passageiro que faz duas viagens seguidas

Linha	Carro	Viagem	Cartão	Data	Hora
52	5038	14524597	2310000011904	16/06/2010	06:31:00
407	8975	14520233	2310000011904	16/06/2010	06:53:16
52	5088	14521587	2310000011904	16/06/2010	17:02:47

A FIGURA 35 mostra o mapa com as linhas 52 e 407. Através das informações constantes na tabela, supõe-se que o passageiro utilizou ambas as linhas no percurso de ida e apenas a linha 52 no percurso de volta.

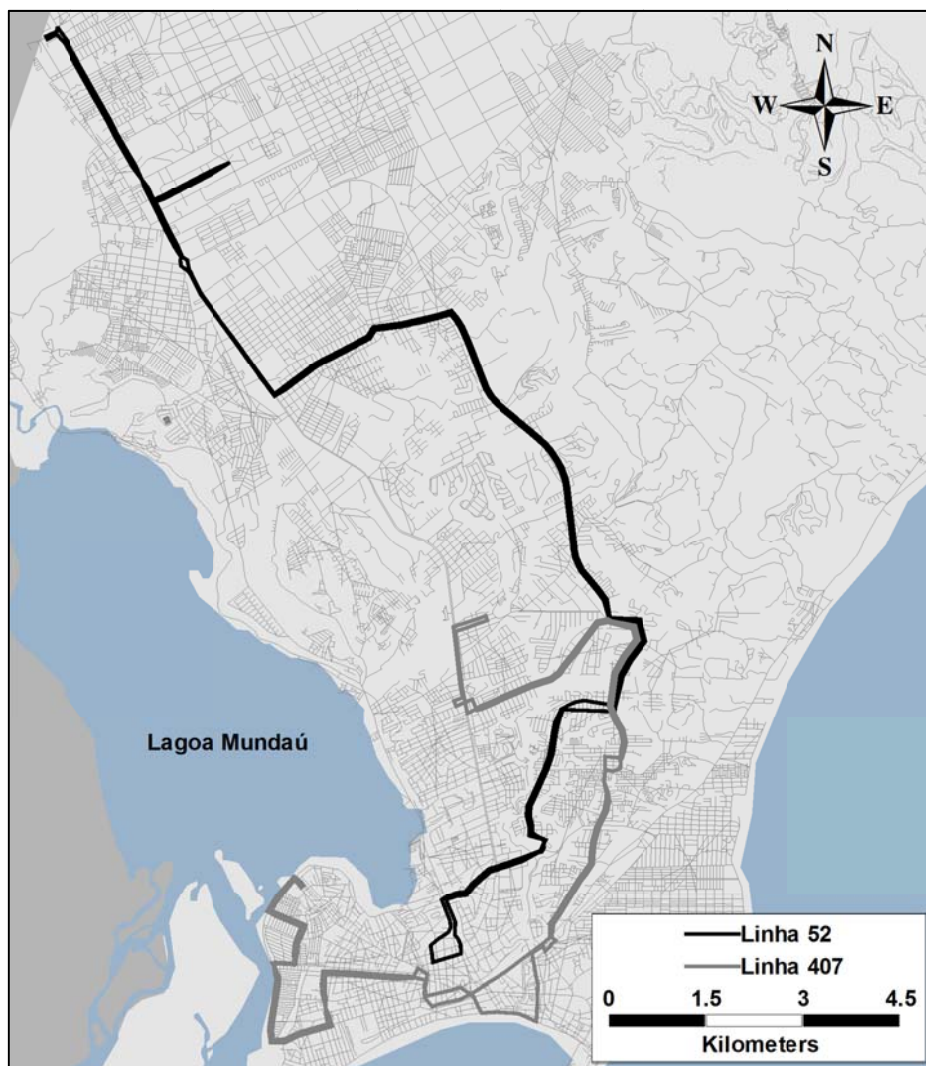


FIGURA 35 - Linhas 52 e 407

4.3 Determinação da Matriz Semente

A matriz OD estimada neste trabalho contemplou apenas os deslocamentos realizados no pico da manhã, período em que ocorrem os níveis mais altos de demanda. Como pode ser visto no GRÁFICO 3 do item 4.1.2, o sistema de transporte de Maceió transporta quase 20% de toda a demanda no período entre 05:00h e 07:00h.

Para construir a matriz Origem/Destino as bases de dados, que foram preparadas conforme descrito nos itens anteriores, foram reunidas. Através da base de dados do SIG, é possível saber o tempo de permanência de uma linha em cada uma das zonas por onde se estende seu itinerário. Com a base de dados do SBE, determina-se o momento em que foram realizadas as transações de cada passageiro usuário de cartão eletrônico. A união das duas

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

informações possibilita definir os locais (zona de tráfego) onde ocorreram as transações e, assim, determina-se a origem e o destino de cada um.

A FIGURA 36 mostra o mapa da linha 51. Seu itinerário inicia-se na zona 42, passa, em seguida, pelas zonas 43 e 45, daí em diante segue pelo corredor formado pelas avenidas Durval de Góes Monteiro e Fernandes Lima chegando até a área central. Nas zonas 1 e 2 o veículo retorna e faz seu itinerário de volta até chegar novamente à zona 42.

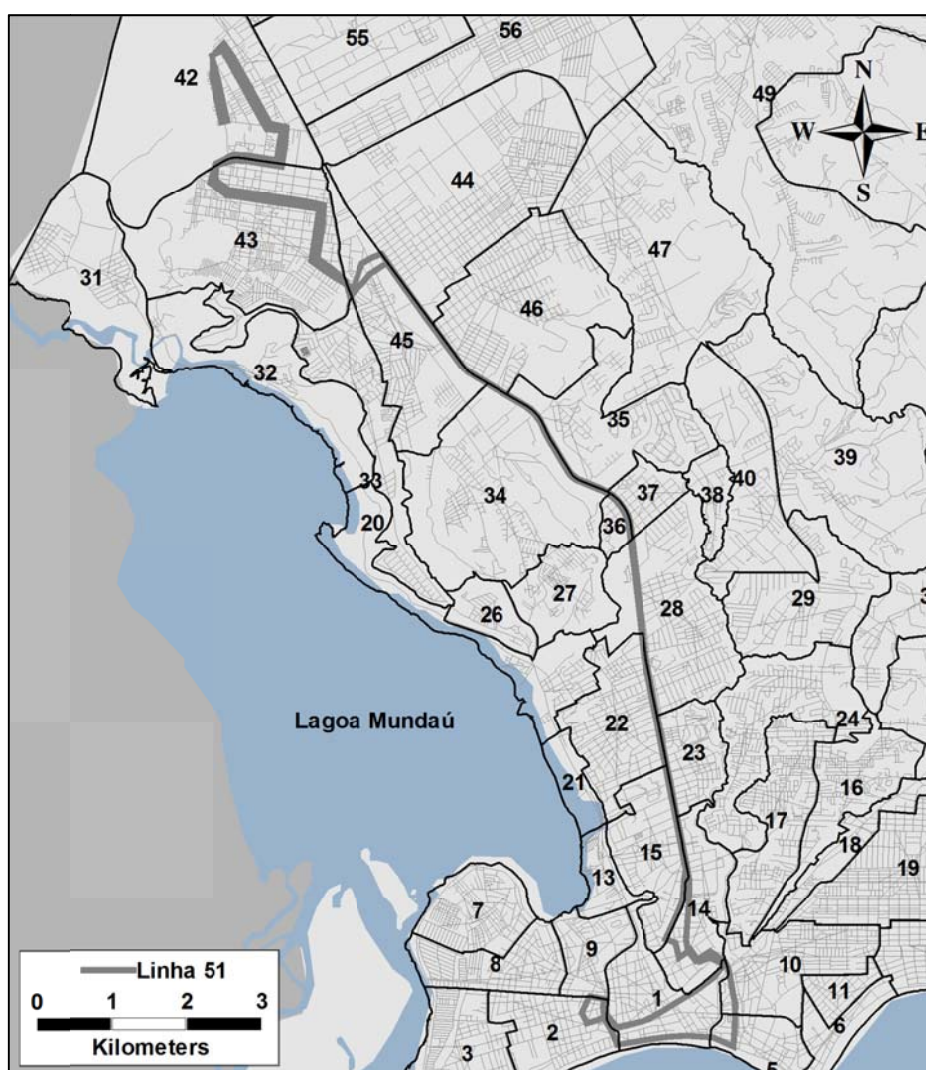


FIGURA 36 - Mapa da linha 51 com as zonas de tráfego

A TABELA 9 mostra o tempo de viagem da mesma linha ao atravessar cada uma das zonas de tráfego. No exemplo mostrado, com 7,53 minutos a linha percorre toda a zona 42, onde completa 6,9% de seu itinerário. Em seguida ela passa pela zona 43 cujo atravessamento dura 9,71 minutos. No final desta zona a linha tem 17,24 minutos de viagem,

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

tendo percorrido 15,82% do seu itinerário. Ao final do trajeto, quando percorreu 100% de sua extensão, o tempo de viagem total foi de 109 minutos.

TABELA 9 - Percentual do itinerário por zona

Zona	Tempo de viagem	% tempo	Zona	Tempo de viagem	% tempo
42	7,53	6,90%	5	64,83	59,47%
43	17,24	15,82%	10	66,59	61,09%
45	26,96	24,74%	1	66,87	61,34%
34	31,48	28,88%	14	70,86	65,01%
36	35,03	32,13%	23	73,30	67,24%
28	37,60	34,50%	28	78,97	72,45%
22	41,57	38,14%	37	81,32	74,60%
15	47,46	43,54%	35	84,73	77,73%
14	49,97	45,84%	46	85,74	78,65%
1	55,26	50,70%	45	92,18	84,57%
2	61,12	56,07%	43	101,48	93,10%
1	63,19	57,97%	42	109,00	100,00%

Na TABELA 10 estão os registros de um usuário da linha 51. A primeira utilização do cartão aconteceu às 5:54h na viagem que se iniciou às 5:51h e terminou às 7:55h. No momento em que houve a transação, o veículo completava 2,69% de seu trajeto, sendo assim, pode-se dizer que o veículo encontrava-se dentro da zona 42. No registro seguinte a validação do cartão ocorreu às 11:18h durante a viagem que teve início às 9:55h e fim às 12:24h, o que corresponde a 56% do itinerário. Logo, conclui-se que ele pagou a passagem quando o veículo estava dentro da zona 2.

TABELA 10 - Definição das zonas de origem e de destino

Linha	Carro	Viagem	Cartão	Data	Hora	Início viagem	Fim viagem	% viagem	Zona
51	5301	14521197	2310000011020	16/06/2010	05:54:27	05:51	07:55	2,69%	42
51	5013	14521909	2310000011020	16/06/2010	11:18:51	09:55	12:24	56,00%	2

Supondo que o embarque ocorreu dentro da mesma zona onde ocorreram os pagamentos de tarifa, e que o passageiro inicia sua próxima viagem na estação de destino (ou na mais próxima) da viagem anterior (item 2.3), pode-se dizer que a origem do deslocamento da manhã deste usuário é a zona 42 e o destino, a zona 2.

4.4 Determinação da Matriz Final

A determinação da matriz final consistiu em um processo híbrido composto pela expansão da matriz e calibração da rede. O processo ocorreu conforme esquematizado no fluxograma da FIGURA 37.

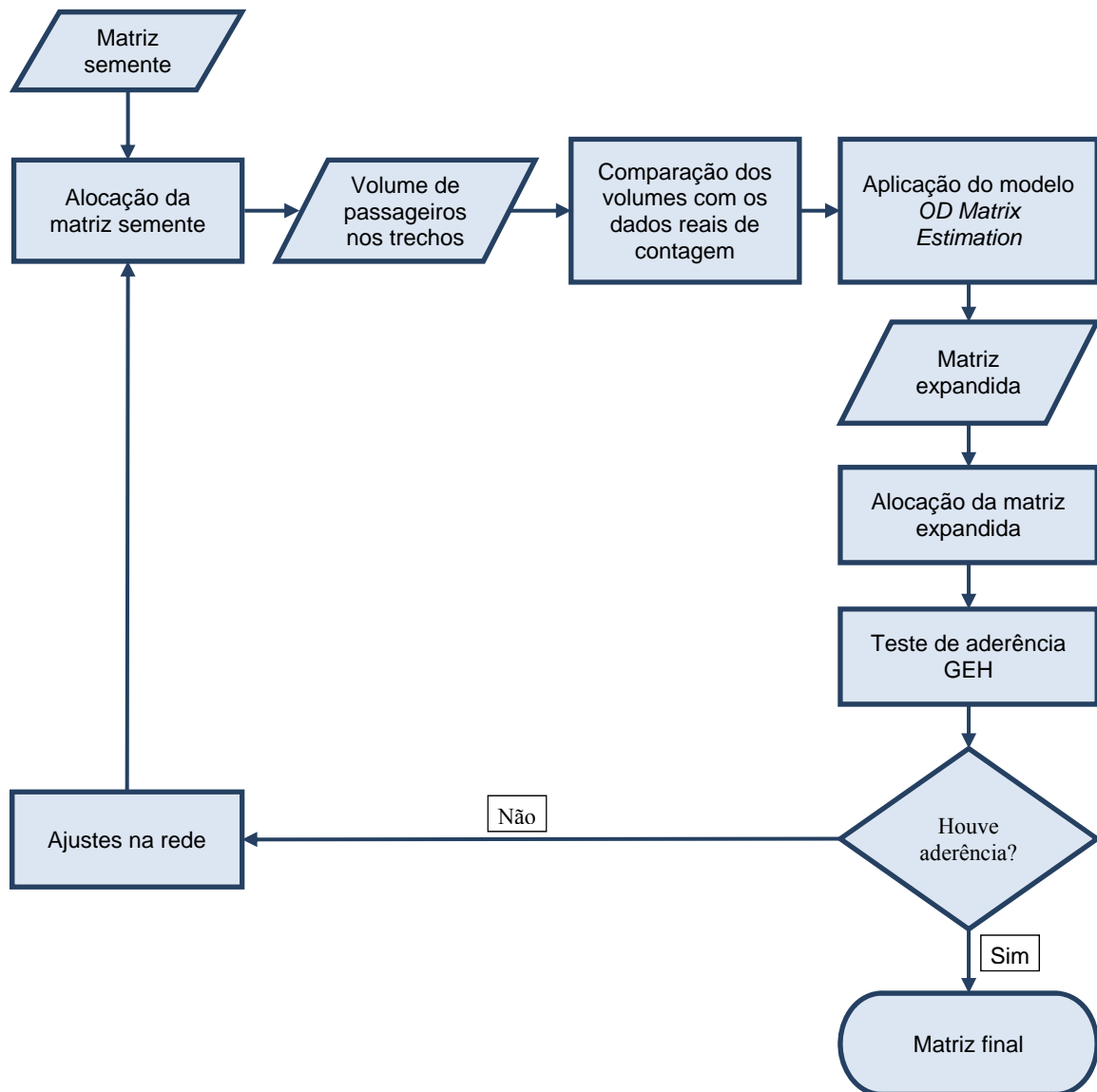


FIGURA 37 - Fluxograma do processo de determinação da matriz final

O primeiro passo consistiu na alocação da matriz semente na rede de transporte. Conforme mencionado no item 3.4.3 neste estudo foi utilizado o modelo *Pathfinder* do TransCAD, por ser de simples aplicação – necessita de um menor número de parâmetros de entrada e é executado com rapidez quando comparado ao SUE – e fornecer bons resultados.

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

No passo seguinte foram comparados os resultados da alocação com as contagens de volume de passageiros em pontos específicos da rede. Foram escolhidos 28 pontos em diferentes trechos da rede (FIGURA 38). A localização dos pontos seguiu critérios como quantidade de linhas no trecho e abrangência do território. Para a definição dos primeiros pontos procurou-se atingir grande extensão da rede em trecho onde houvesse um grande número de linhas. Em seguida novos pontos foram escolhidos em função da necessidade, ou seja, em casos onde algumas linhas não estavam sendo contempladas.

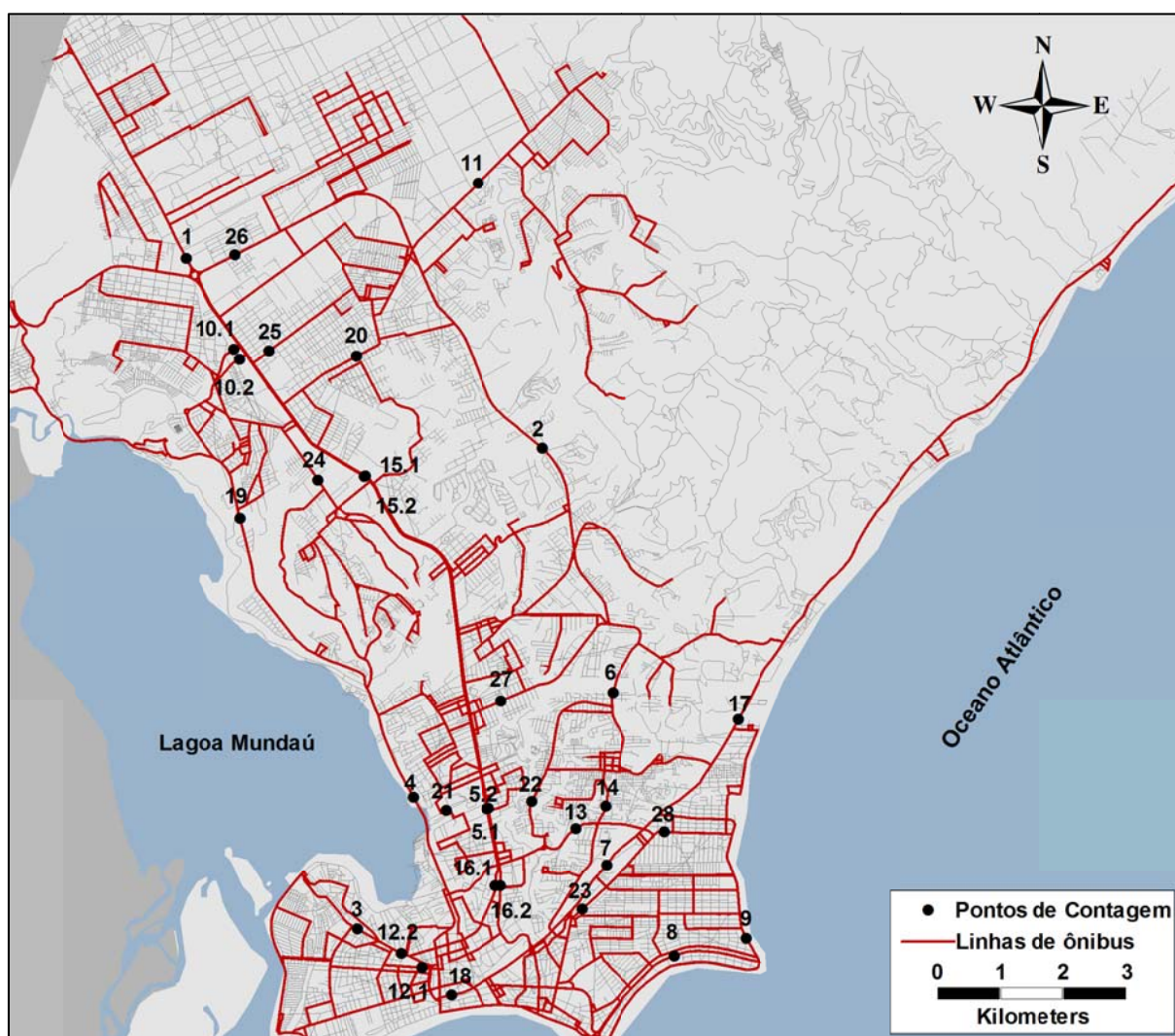


FIGURA 38 - Pontos de contagem de volume de passageiros

Entretanto, alternativamente à realização de pesquisas de campo, os dados foram obtidos por outra forma, determinando o carregamento “real” da linha com base no carregamento obtido da alocação do TransCAD. A FIGURA 39 mostra um exemplo hipotético em que no gráfico superior estão as informações resultantes da alocação feita no TransCAD. Neste caso, são conhecidos a demanda total e o perfil de carregamento da linha

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

(ocupação do veículo em cada trecho da linha). Na situação real, representada pelo segundo gráfico da FIGURA 39 (gráfico em branco), é conhecida apenas a demanda total das linhas. Não se tem conhecimento da ocupação nos trechos da linha. Sendo assim, para se determinar esta ocupação, foi calculada a proporção entre os dados obtidos do TransCAD e a demanda real da linha. No exemplo fictício, no 3º trecho da linha (apontado pela seta preta), encontram-se nove passageiros no interior do veículo. No total, 23 pessoas embarcaram na linha. Se este fosse o resultado de uma alocação do TransCAD e a demanda real da linha fosse de 50 pessoas, o cálculo para determinação do carregamento “real” da linha no 3º ponto de parada seria conforme a EQUAÇÃO 9, a seguir.

$$C_r = \frac{D_r}{D_a} \times C_a = \frac{50}{23} \times 9 = 2,17 \times 9 = 19,6 \text{ pessoas} \quad 9)$$

Onde: C_r = carregamento real

D_r = demanda real

D_a = demanda da alocação

C_a = carregamento da alocação

Optou-se por não realizar as pesquisas de campo devido às complexidades envolvidas com a longa distância entre a área de estudo e o local onde esta dissertação foi produzida como, principalmente, dificuldade de recrutamento de equipe e elevado dispêndio financeiro. A adoção do carregamento do TransCAD como demanda real do sistema, em alternativa às contagens reais mostrou-se uma opção de rápida execução e de baixo custo.

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

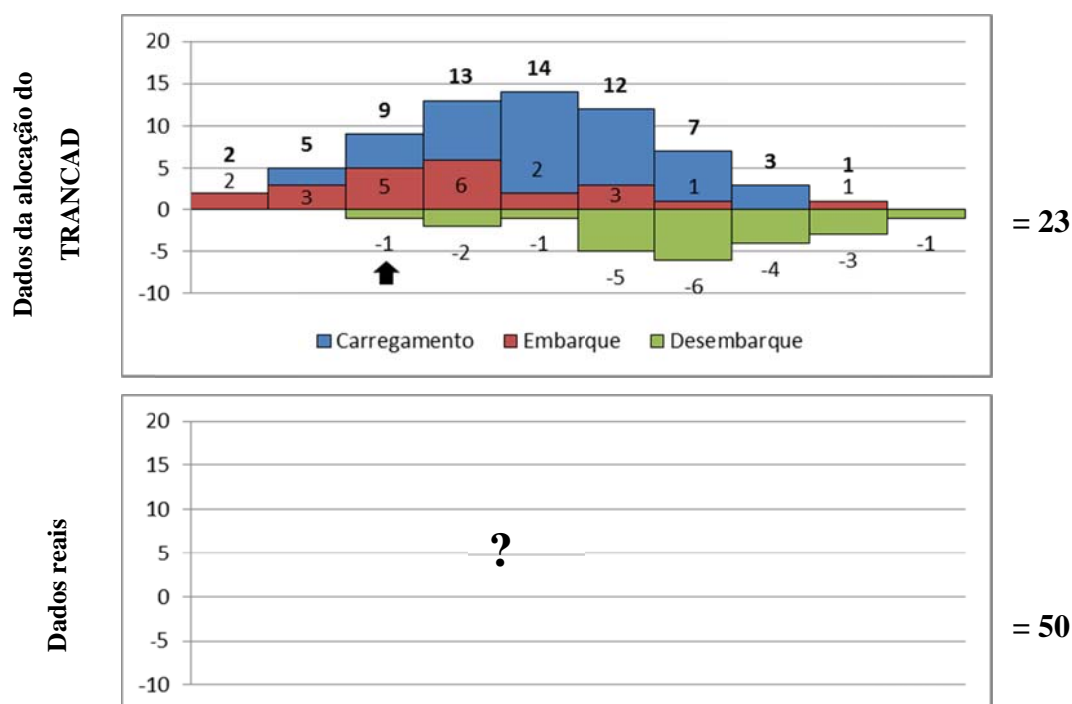


FIGURA 39 - Perfil de carregamento de uma linha fictícia

No terceiro passo foi aplicado o modelo de determinação de Matriz OD por contagem de fluxo, utilizando a ferramenta do TransCAD, *OD Matrix Estimation*. Ao final do processo, a matriz semente, com um total de 22.085 pessoas, foi expandida chegando, em cada iteração a um total da ordem de 49.000 passageiros. No resultado final, o total da matriz foi de 49.392 passageiros.

No quarto passo, o mesmo processo, aplicado à matriz semente foi aplicado à matriz expandida para alocação na rede de transporte. A alocação da matriz gerou uma demanda no sistema de 50.412 passageiros.

O quinto passo equivale ao teste de aderência entre a demanda alocada final e a demanda real das linhas. Nas etapas anteriores, quando foram aplicados a EQUAÇÃO 9 e o modelo de estimação da matriz OD, a demanda da matriz passou a abranger todos os passageiros das viagens iniciadas dentro do período de pico da manhã. Sendo assim, a comparação deve ser feita entre variáveis que tenham a mesma representação. A ferramenta utilizada para avaliar a semelhança entre as variáveis foi o teste GEH, que leva o nome de seu desenvolvedor Geoffrey E. Havers.

O GEH é uma fórmula utilizada em engenharia de tráfego e de transportes para comparar dois conjuntos de demanda. Consiste em uma forma do teste estatístico qui-

quadrado que, segundo Chaudhry e Ranjitkar (2009), foi desenvolvida para ser tolerante às maiores diferenças em baixos fluxos e segue a seguinte forma (EQUAÇÃO 10):

$$GEH = \sqrt{\frac{2(D_m - D_r)^2}{(D_m + D_r)}} \quad (10)$$

Onde: D_m = demanda modelada

D_r = demanda real

Os valores recomendados do GEH são os seguintes:

- Pelo menos 60% das linhas devem ter GEH menor que 5;
- Pelo menos 95% das linhas devem ter GEH menor que 10;
- Todas as linhas devem ter GEH menor que 12.

Quando o teste não acusa aderência, a rede é ajustada e todo o processo é repetido. O processo só acaba quando há aderência entre os dois conjuntos de variáveis.

A aplicação da metodologia segundo as etapas de determinação da matriz semente e de determinação da matriz final – sendo esta última executada através dos seguintes passos: alocação da matriz semente, comparação dos fluxos alocados *versus* fluxos contados, aplicação do modelo *OD Matrix Estimation*, alocação da matriz expandida, teste de aderência – permitiu a obtenção da matriz OD dos usuários do sistema de transporte público coletivo. Os resultados obtidos através da aplicação da metodologia proposta serão analisados no próximo capítulo.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Matriz Semente

A matriz semente, apesar de ser uma amostra da matriz final, pode fornecer diversas informações sobre o deslocamento dos passageiros de transporte público na cidade. A FIGURA 40 mostra o mapa de atração e produção das zonas de tráfego e as principais linhas de desejo, obtidas a partir da matriz semente.

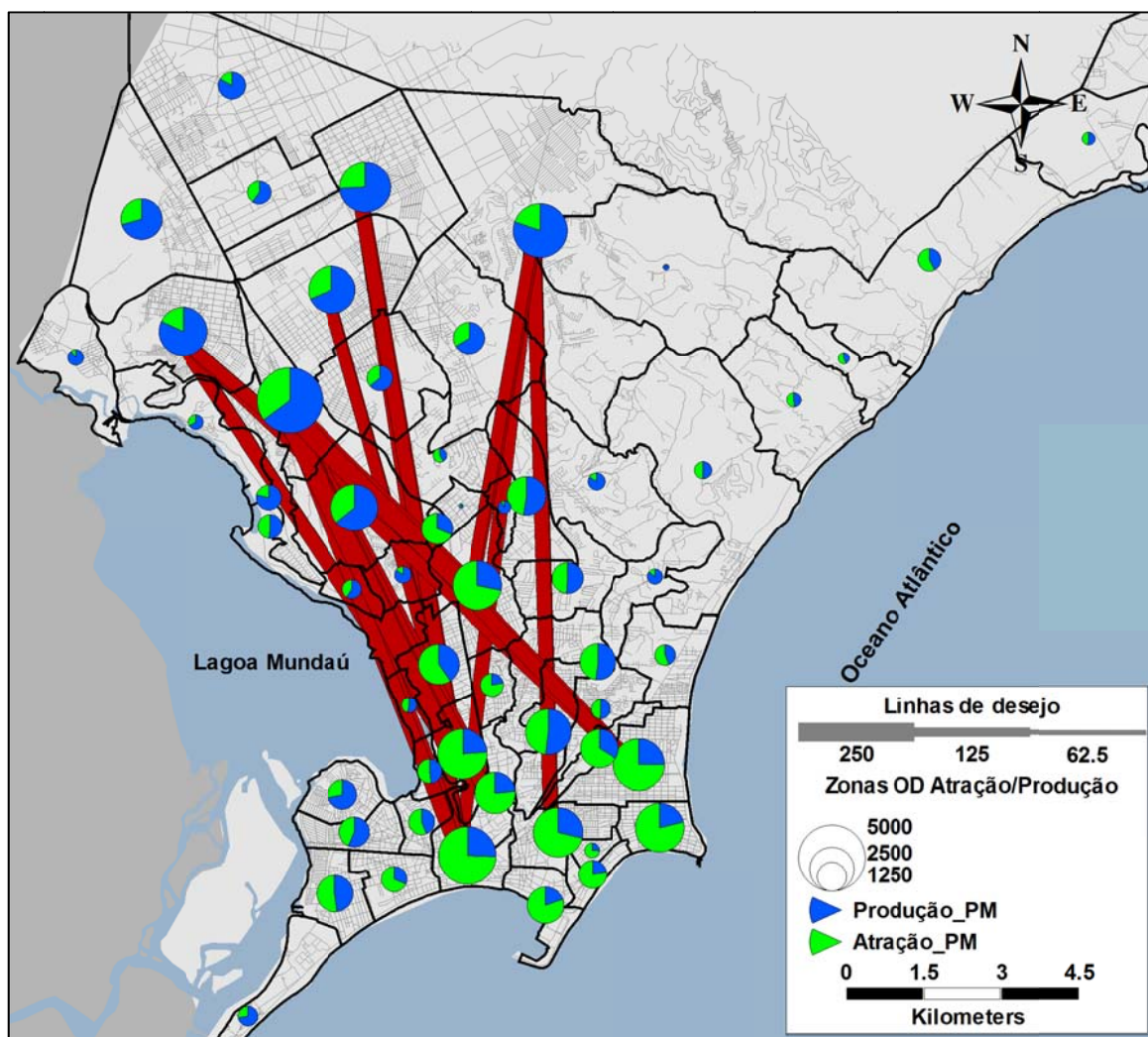


FIGURA 40 - Mapa de atração e produção das zonas e linhas de desejo – matriz semente

Neste mapa os gráficos do tipo pizza representam a geração de demanda, ou seja, a demanda (passageiros) que cada zona atrai e produz. A dimensão do gráfico diz respeito ao número de pessoas e a divisão do gráfico, a proporção entre a produção e a atração. As linhas, chamadas de linhas de desejo, representam a demanda de troca entre duas zonas. Quanto

ANÁLISE DOS RESULTADOS

maior a espessura, maior o fluxo de pessoas entre as zonas. Neste mapa são mostradas apenas as linhas de desejo mais expressivas.

Pode-se dizer que a caracterização da área de estudo apresentada no item 4.1.1 corrobora os resultados apresentados neste mapa. Os bairros que mais atraem viagens no período de pico da manhã estão na área central (Centro, Jaraguá, Poço e Farol) e na região turística (Pajuçara, Ponta Verde, Jatiúca e Mangabeira). Na primeira região se concentram estabelecimentos comerciais e de serviço, além de colégios e instituições públicas. Na segunda região, estão as principais praias, grandes redes hoteleiras e o maior *shopping center* da cidade.

A área com maior produção de viagens é a região do Tabuleiro dos Martins onde se situam os bairros que concentram unidades residenciais com a presença, em menor escala de estabelecimentos comerciais, de serviços e institucionais. São eles Clima Bom, Petrópolis, Tabuleiro, Santa Lucia, Antares e Cidade Universitária, além dos conjuntos habitacionais Benedito Bentes I e II.

Outras áreas da cidade geram expressiva demanda por transporte público, mas não se definem como sendo prioritariamente de atração ou de produção, como é o caso da região dos bairros Serraria, Barro Duro, Feitosa e Jacintinho e da região da planície lagunar, com exceção do bairro Vergel do Lago que se caracteriza como produtor de viagens.

5.2 Matriz Final

Os resultados referentes à matriz final, cuja produção foi descrita no item 4.4, serão apresentados nesta seção. Conforme antecipado anteriormente, ao aplicar o modelo de expansão, a matriz passou de um total de 22.085 (matriz semente) para um total de 49.392 passageiros. Quando alocada à rede de transporte, a matriz final gerou ao sistema uma demanda de 50.412. Este valor ficou muito próximo do valor real, representando 92% da demanda do sistema no período de pico da manhã que tem um valor de 54.967 passageiros.

O teste GEH, quando aplicado aos resultados da alocação da matriz final, apresentou resultados estatisticamente significativos, ou seja, mostrou aderência entre a demanda total das linhas no modelo e suas demandas reais. A TABELA 11 mostra a demanda real, a demanda obtida no modelo e o GEH calculado para cada linha. Observa-se que, conforme os valores de referência mostrados na

ANÁLISE DOS RESULTADOS

TABELA 12, nenhuma linha apresentou o GEH maior que 12, e ainda:

- 95% delas teve um GEH menor que 10, igual ao valor limite;
- 73% delas teve um GEH menor que 5, enquanto que o valor limite é de 60%.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

TABELA 11 - Demanda real, demanda do modelo e GEH das linhas

Linha	Sublinha	Demanda Real	Demanda Modelo	GEH	Linha	Sublinha	Demanda Real	Demanda Modelo	GEH
12	1	152	68	8,05	210	1	337	300	2,05
13	1	248	216	2,08	213	1	407	335	3,75
17	1	623	511	4,70	214	1	711	637	2,85
22	1	275	296	1,24	216	1	32	15	3,49
24	1	745	686	2,20	217	1	304	371	3,65
25	1	183	141	3,30	221	1	54	86	3,87
27	1	29	17	2,51	223	1	547	526	0,92
30	1	375	323	2,78	223	2	824	810	0,48
32	1	283	305	1,28	230	1	1.684	1.576	2,67
33	1	660	559	4,10	407	1	696	694	0,09
35	1	392	381	0,55	500	1	111	202	7,25
36	1	302	208	5,89	503	1	389	386	0,14
37	1	1.006	1.156	4,56	600	1	122	156	2,87
39	1	514	486	1,27	602	1	1.499	1.516	0,43
41	1	227	133	7,03	603	1	823	920	3,28
42	1	1.421	1.554	3,44	604	1	985	866	3,91
46	1	843	906	2,12	605	1	446	339	5,38
48	1	1.107	1.129	0,65	606	1	1.102	999	3,16
49	1	405	326	4,15	607	1	1.901	1.419	11,84
51	1	667	679	0,46	608	1	259	223	2,34
52	1	853	806	1,65	609	1	91	62	3,31
53	1	1.120	827	9,40	611	1	570	382	8,61
55	1	28	18	2,04	700	1	638	621	0,69
56	1	328	188	8,75	703	1	230	262	2,05
57	1	557	446	4,96	703	2	894	967	2,39
58	1	273	244	1,81	703	3	385	312	3,91
59	1	280	249	1,92	704	1	511	407	4,86
60	1	202	110	7,34	704	2	506	305	9,97
64	1	373	318	2,93	704	3	162	77	7,82
65	1	684	527	6,36	704	4	78	109	3,20
66	1	110	94	1,61	704	5	127	80	4,59
69	1	842	773	2,42	704	7	343	166	11,12
70	1	267	136	9,20	704	11	124	84	3,96
71	1	161	107	4,68	704	12	204	222	1,26
72	1	503	521	0,81	706	1	1.309	923	11,55
102	1	433	448	0,74	706	2	737	508	9,18
103	1	415	283	7,05	707	1	1.783	1.906	2,87
104	1	265	329	3,72	708	1	447	351	4,82
105	1	456	413	2,06	709	1	810	758	1,88
107	1	947	1.146	6,15	710	1	1.239	1.365	3,48
108	1	260	194	4,35	711	1	1.601	1.861	6,25
108	2	276	274	0,13	712	1	387	199	10,99
108	3	403	403	0,02	713	1	701	446	10,65
110	1	775	770	0,17	715	1	270	368	5,51
201	1	460	540	3,57	715	2	261	313	3,06
201	2	897	631	9,63	716	1	1.071	1.364	8,39
202	1	475	332	7,13	716	2	570	562	0,32
202	2	361	342	1,02	802	1	48	61	1,71
204	1	95	67	3,07	806	1	70	121	5,24
204	2	65	61	0,53	903	1	99	53	5,34
208	1	367	344	1,22	906	1	451	450	0,03
					906	2	352	343	0,48

ANÁLISE DOS RESULTADOS

TABELA 12 - Resultados do GEH

Critério	Valores obtidos	Valores de referência
GEH < 5	73%	60%
GEH < 10	95%	95%
GEH < 12	100%	100%
GEH ≥ 12	0%	0%

Assim como feito para a matriz semente, foi produzido um mapa (FIGURA 41) para a matriz final com as linhas de desejo principais e os gráficos mostrando a proporção entre atração e produção de cada zona de tráfego.

Analisando primeiramente os gráficos de atração/produção, é possível observar grande semelhança em relação ao mapa da FIGURA 40. Houve maior concentração de zonas atratoras de viagem próximo à área central e à região turística e de zonas produtoras de viagem na região do Tabuleiro. A proporção entre atração e produção de cada zona, de uma maneira geral, se manteve similar à do mapa da FIGURA 40, no entanto, como esperado, houve aumento da dimensão da geração de viagem (dimensão dos gráficos) nas zonas.

A maior diferença ocorreu na distribuição das linhas de desejo. Observa-se que, no geral, assim como ocorreu no mapa da matriz semente, as linhas tendem a se direcionar sobre o eixo norte-sul com sentido à área central e à região das praias. Entretanto, alguns destes deslocamentos perderam importância e outros, principalmente em direção transversal ganharam maior relevância. Este fato pode ser explicado pela presença de menor amostra de cartões nas regiões onde apareceram esses deslocamentos mais significativos. A FIGURA 42 mostra que há uma maior concentração de linhas com baixo uso de cartão próximo à área central da cidade. Nesta região existem 30 linhas que possuem o índice C/D (cartão sobre dinheiro) menor do que 1,30 e apenas 14 com o índice maior do que 1,30. No caso das linhas longas, 23 têm C/D menor que 1,30 e se concentram sobre a via litorânea e 35 têm C/D maior que 1,30 e se concentram sobre os três principais corredores de transporte da cidade que fazem a ligação norte-sul.

Não se pode afirmar que o fato citado anteriormente seja o único motivo da diferença existente entre o mapa da FIGURA 40 e o da FIGURA 41. Como não foi feita a contagem de passageiros em campo, o processo adotado para a determinação dos fluxos de

ANÁLISE DOS RESULTADOS

passageiros descrito no item 4.4, pode ter contribuído para a mudança na configuração espacial das linhas de desejo.

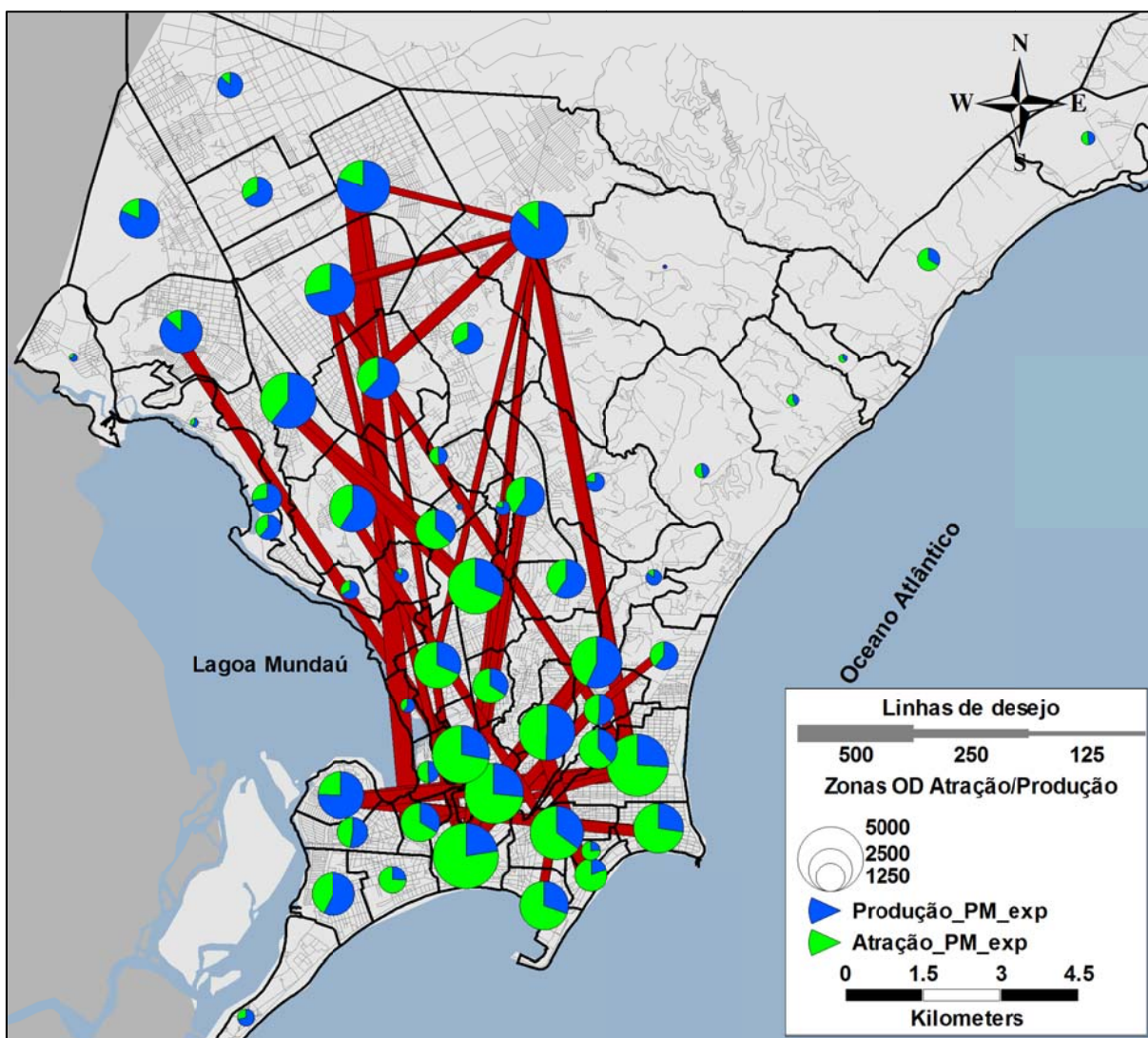


FIGURA 41 - Mapa de atração e produção das zonas e linhas de desejo - matriz final

De fato, não há como medir com precisão a qualidade dos resultados. Se houvesse uma matriz OD recente no município feita a partir de um método já consolidado poderia ser feito um teste de aderência entre as duas matrizes. No entanto, a análise feita com o uso do solo e o resultado positivo do teste GEH aplicado à demanda total das linhas são um indicativo de se ter obtido uma matriz próxima aos deslocamentos reais.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

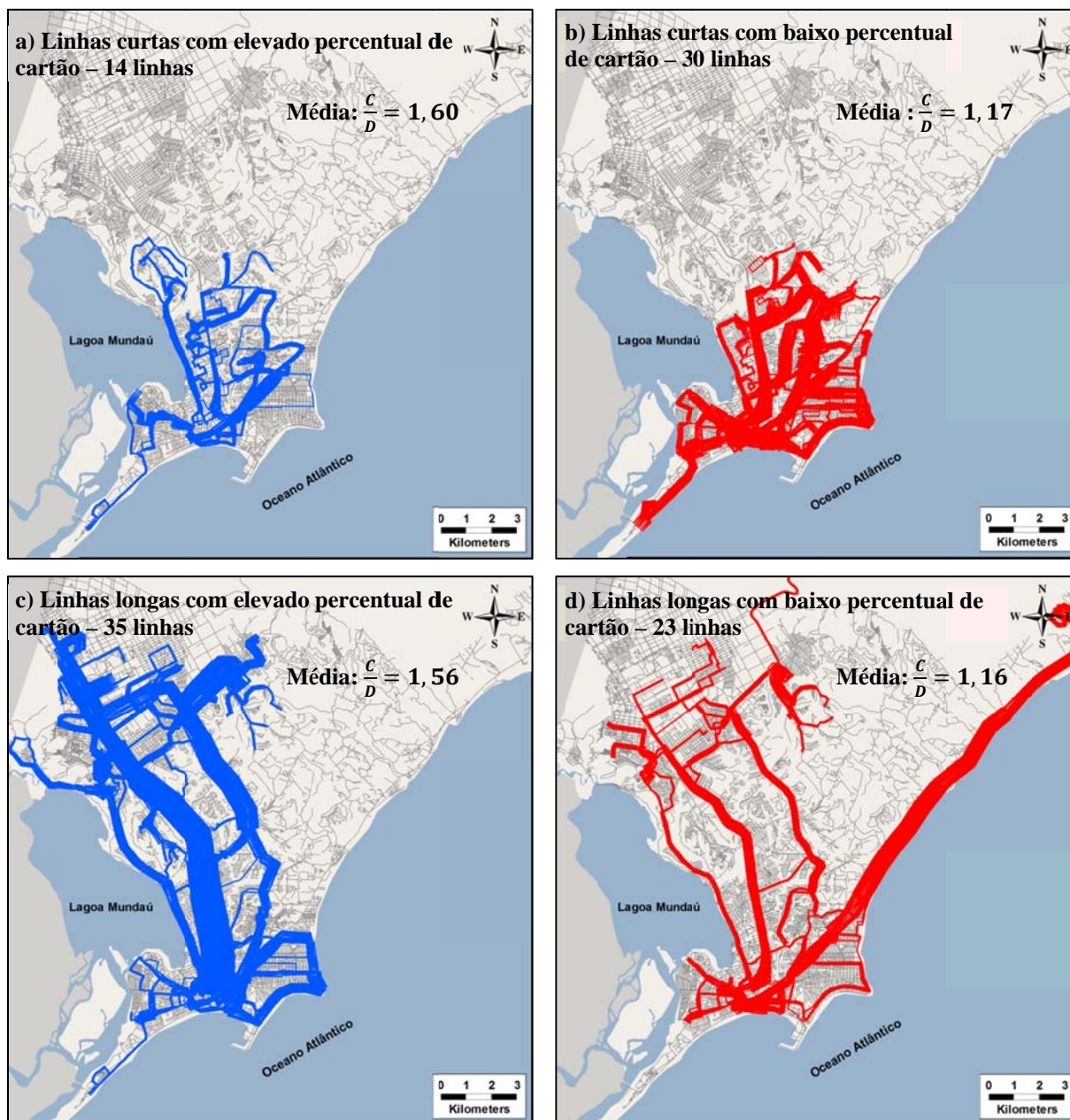


FIGURA 42 - Conjuntos de linhas segundo uso dos cartões

O mapa da FIGURA 43 mostra o resultado gráfico da alocação, ele permite uma boa visualização do carregamento da rede. Observa-se que, como era de se esperar, seu perfil mostrou-se bastante similar ao perfil da oferta de lugares do sistema (FIGURA 30). O resultado da alocação é um retrato dos deslocamentos realizados no pico da manhã pela população de Maceió.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

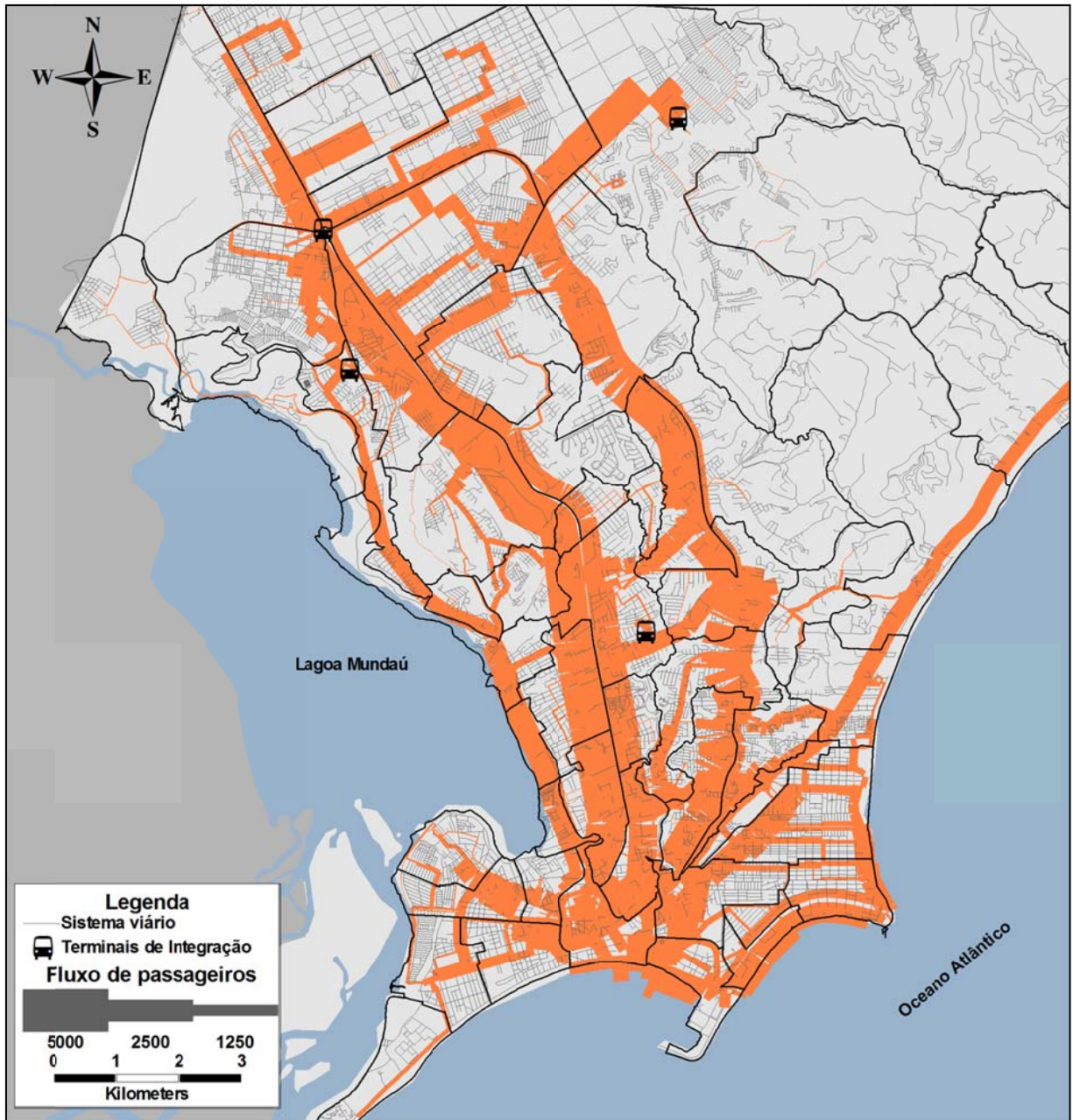


FIGURA 43 - Carregamento da rede de transporte

6 CONCLUSÃO

Os dados do Sistema de Bilhetagem Eletrônica fornecem uma infinidade de informações importantes para os estudos relativos ao transporte público. Conforme mostrado neste trabalho o SBE é uma fonte de dados que pode ser utilizada na determinação de uma matriz OD de passageiros.

As principais vantagens dos métodos que se baseiam em dados do SBE sobre os métodos tradicionais são as seguintes:

- O custo de obtenção da matriz é significativamente reduzido;
- A matriz produzida é baseada em uma amostra grande;
- O processo é mais adaptado à automatização o que o torna mais rápido e capaz de ser feito com maior frequência;
- Este método pode ser combinado com um método de entrevistas mais efetivo e específico.

Apesar de o tamanho da amostra ser maior quando se utilizam os métodos baseados em dados do SBE, não se pode afirmar que neste caso o universo é mais bem representado. O critério de escolha da amostra é fundamental na qualidade do resultado final. Diante disso, recomenda-se que seja estudado o perfil dos usuários de cartão eletrônico a fim de se caracterizar a amostra trabalhada.

Diversas metodologias já foram propostas e todas elas se diferem em função das informações disponibilizadas. Quando os ônibus dispõem de sistema AVL, podem ser encontrados resultados mais precisos, no entanto, este trabalho mostrou que é possível estimar uma matriz OD utilizando um SIG.

Neste trabalho foi elaborada uma metodologia para estimação de uma matriz OD de passageiros utilizando os dados de um Sistema de Bilhetagem Eletrônica. A metodologia é dividida em duas etapas. Na primeira é determinada uma matriz amostral que contempla apenas os passageiros usuários de cartão eletrônico, denominada matriz semente. Na etapa seguinte, a matriz semente é expandida através de um processo que utiliza contagens de fluxos de passageiros. Pode-se dizer, portanto, que os objetivos propostos foram alcançados.

CONCLUSÃO

Na metodologia proposta, o processo utilizado para expansão da matriz semente se baseia em contagens de passageiros feitas em campo. Isso traz as seguintes vantagens:

- Determina-se o número total de passageiros incluindo aqueles que não são contabilizados pelo SBE;
- Os deslocamentos representados pela matriz final não ficam condicionados ao comportamento típico dos usuários de cartão eletrônico.

A metodologia proposta é simples, conveniente e prática. Ela pode ser utilizada por órgãos públicos, empresas de consultoria, instituições de pesquisa, operadores de transporte, dentre outros, em diversos estudos relacionados a transporte público. Para a aplicação da metodologia são necessários os seguintes dados:

- Base de dados do SBE de, pelo menos, um dia completo de operação;
- Rede de transporte em SIG;
- Contagem dos fluxos de passageiros em trechos distintos da rede.

As rotinas computacionais são simples e não exigem cálculos avançados, são feitos apenas cruzamento de informações entre os distintos bancos de dados. Uma vez que a rotina foi construída, as matrizes podem ser produzidas com a frequência que se desejar. A grande vantagem disso é que as frequentes mudanças ocorridas nas cidades podem ser mais bem avaliadas. Para a aplicação em sistemas de transporte distintos, as rotinas computacionais devem ser modificadas em função das particularidades de cada banco de dados. Sugere-se que num próximo trabalho seja desenvolvido um programa computacional para automatizar o tratamento dos dados da bilhetagem e a construção da matriz semente.

Na aplicação prática da metodologia apresentada neste estudo, não foram feitas pesquisas de campo. Assim, os fluxos de passageiros foram determinados através de relações matemáticas feitas com dados de demanda internos ao modelo. Este procedimento adotado pode ter impactado negativamente no resultado encontrado, porém não foi possível medir suas consequências. É recomendado que nos próximos estudos seja feita pesquisa de contagem de passageiros para o cálculo dos fluxos.

Com relação aos resultados finais obtidos, não foi possível medir sua qualidade com exatidão. O teste GEH e a caracterização de uso do solo permitiram indicar que há uma aproximação com a realidade.

CONCLUSÃO

É recomendado aos órgãos públicos e aos operadores que se utilizem mecanismos que garantam a eficácia da operação do SBE. O registro adequado das viagens é importante não só para a metodologia proposta, mas também para o controle dos serviços prestados.

No que diz respeito à metodologia, as limitações deste trabalho estão relacionadas à simplificação da análise estatística feita sobre os dados do SBE – tanto no tocante à definição da amostra quanto no tocante à eliminação de registros inconsistentes do banco de dados – e à falta de um processo para medir com maior exatidão a qualidade da matriz final, e ao pressuposto de que todos os deslocamentos diários dos passageiros são realizados pelo modo ônibus. Esta suposição foi feita no momento de se determinar a origem e o destino dos deslocamentos. Com relação à aplicação da metodologia, a limitação está ligada ao fato de não terem sido feitas pesquisas de campo para determinação dos fluxos de passageiros.

Recomenda-se que nos trabalhos futuros seja feita uma avaliação estatística mais aprofundada sobre o banco de dados do SBE e que seja mais bem investigada a questão da avaliação dos resultados. Para a primeira recomendação, sugere-se que seja verificada a normalidade da distribuição dos tempos de viagem e, caso seja constatado que a distribuição normal não possa ser assumida, deve-se estudar qual a melhor alternativa a ser adotada. Para a segunda recomendação, sugere-se que sejam feitos testes comparativos entre a matriz obtida e a matriz OD produzida através de uma metodologia já consolidada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHAMSSON, T. Estimation of Origin-Destination Matrices Using Traffic Counts – A Literature Survey. **International Institute for Applied Systems Analysis**, Laxemburg, maio 1998.

BAEK, S.; LIM, Y.; RHEE, S.; CHOI, K. Method for Estimating Population OD Matrix Based on Probe Vehicles. **KSCE Journal of Civil Engineering**, 14, n. 2, março 2010. 231-235.

BARBOSA, R. V. R.; FERNANDES, M. F.; MORAIS, C. S. DE; BARBIRATO, G. M. A influência da proximidade de massa d'água em ambiente climático urbano de Maceió - Alagoas. **VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído**, São Pedro, novembro 2001.

BARROS, A. P. B. G. **Estudo exploratório da síntese espacial como ferramenta de alocação de tráfego**. Universidade de Brasília. Brasília, p. 153. 2006.

BELO HORIZONTE. SECRETARIA MUNICIPAL DE POLÍTICAS URBANAS. **Edital de Concorrência Pública n 131/2008 - Concessão dos Serviços Públicos de Transporte de Passageiros por Ônibus de Belo Horizonte**. Belo Horizonte. 2008.

BERNHARDSEN, T. **Geographic Information Systems - an introduction**. 3rd Edition. ed. New York: John Wiley & Sons, 2002.

BERTONCINI, B. V. **Uma proposta de carregamento incremental de fluxos veiculares para estimação de matrix O-D sintética**. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos. 2007.

CACERES, N.; WIDEBERG, J. P.; BENITEZ, F. G. Deriving origin-destination data from a mobile phone network. **IET Intelligent Transport System**, I, march 2007. 15-26.

CACERES, N.; WIDEBERG, J. P.; BENITEZ, F. G. Review of traffic data estimations extracted from cellular networks. **IET Intelligent Transport Systems**, 2, Janeiro 2008. 179-192.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALIPER. **TransCAD Transportation Planning Software - Travel Demand Modeling with TransCAD 5.0 - User's Guide**. [S.l.]: [s.n.], 2008.

CHAPLEAU, R.; TRÉPANIER, M.; CHU, K. K. The Ultimate Survey for Transit Planning: Complete Information with Smart Card Data and GIS. **8th International Conference on Survey Methods in Transport: Harmonization and Data Comparability**, Annecy, Maio 2008.

CHAUDHRY, M. S.; RANJITKAR, P. Capacity Analysis of Signalised Intersection using Micro-simulation. **32nd Australian Transport Research Forum**, 2009.

COSTA, J. D. A.; RAMOS, V. A. O espaço urbano de Maceió - Ambiente físico e organização sócio-econômica. In: ARAUJO, L. M. D. **Geografia: espaço, tempo e planejamento**. Maceió: UFAL, 2004.

CUI, A. **Bus Passenger Origin-Destination Matrix Estimation Using Automated Data Collection Systems**. Massachusetts Institute of Technology. [S.l.], p. 134. 2006.

CUNHA, C. A. **Relações entre as Características de Linhas de Transporte Coletivo Urbano e de Áreas Urbanas**. Universidade de Brasília. Brasília, p. 104p. 2005.

DAVIS, B. E. **GIS: A Visual Approach**. 2nd Edition. ed. [S.l.]: Thomson Learning, 2001.

FARIA, G. M. G.; CAVALCANTI, V. R. Sistema de Espaços Livres da Cidade de Maceió. **Paisagem Ambiente**, São Paulo, 26, 2009. 7-27.

FARZIN, J. M. Constructing an Automated Bus Origin–Destination Matrix Using Farecard and Global Positioning System Data in São Paulo, Brazil. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, Washington, n. 2072, 2008. 30-37.

FERRAZ, A. C. P.; TORRES, I. G. E. **Transporte Público Urbano**. São Carlos: Rima, 2004.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FERREIRA, E. A. **Um método de utilização de dados de pesquisa embarque/desembarque na calibração de modelos de distribuição do tipo gravitacional.** Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 110. 1999.

GORDILLO, F. **The Value of Automated Fare Collection Data for Transit Planning: An Example of Rail Transit OD Matrix Estimation.** Massachusetts Institute of Technology. [S.l.]. 2006.

HONG, Y. **Transition to Smart Card Technology: How Transit Operators Can Encourage the Take-Up of Smart Card Technology.** Massachusetts Institute of Technology. [S.l.]. 2005.

HUA-LING, R. Origin-Destination Demands Estimation in Congested Dynamic Transit Networks. **International Conference on Management Science & Engineering (14th)**, Harbin, Agosto 2007.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 26 janeiro 2011.

LAM, W. H. K.; WU, Z. X.; CHAN, K. S. Estimation of Transit Origin-Destination Matrices from Passenger Counts Using a Frequency-Based Approach. **Journal of Mathematical Modelling and Algorithms**, 2, 2003. 329-348.

LIANFU, Z. et al. Study on the Method of Constructing Bus Stops OD Matrix Based on IC Card Data. **International Conference on Wireless Communications, Networking, and Mobile Computing**, Shanghai, Setembro 2007. 3147-3150.

MCNALLY, M. G. The four-step model. In: A. HENSHER, D.; J. BUTTON, K. **Handbook of Transport Modelling**. 1a. ed. [S.l.]: Pergamon, v. I, 2000. Cap. 3.

MILLER, H. J.; SHAW, S.-L. **Geographic Information Systems for Transportation - Principles and Applications**. New York: Oxford University Press, 2001.

MUNIZAGA, M.; PALMA, C.; FISCHER, D. Estimation of a Disaggregate Multimodal Public Transport OD Matrix from Passive Smart Card Data from Santiago, Chile. **TRB 2011 Annual Meeting**, Washington, 2011. 15.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MUNIZAGA, M.; PALMA, C.; MORA, P. Public Transport OD Matrix Estimation from Smart Card Payment System Data. **12th World Conference on Transport Research**, Lisboa, Julho 2010.

NIELSEN, O. A. Two New Methods for Estimating Trip Matrices from Traffic Counts. In: ORTÚZAR, J. D. D.; HENSHER, D. A.; JARA-DIAZ, S. **Travel Behaviour Research: Updating the State of Play**. Oxford: Elsevier Science Ltd., 1998. Cap. 13, p. 221-250.

NOETHER, G. E. **Introdução à Estatística: uma Abordagem Não-paramétrica**. Tradução de Flávio Wagner Rodrigues e Lisbeth Kaiserlian Cordani. 2a. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.

NTU - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS. **Novas Tendências em Política Tarifária**. Brasília. 2005.

NTU - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS. **Pesquisa Anual Vale-transporte 2010 - Comemoração dos 25 anos da criação do VT**. [S.l.]. 2010.

NUZZOLO, A.; CRISALLI, U. Estimation of transit origin/destination matrices from traffic counts using a schedule-based approach. **Association for European Transport**, 2001.

ORTÚZAR, J. D. D. **Modelos de Demanda de Transporte**. 2ª. ed. [S.l.]: Alfaomega, 2000.

PAES, A. T. O que fazer quando a distribuição não é normal? **Einstein**, São Paulo, v. 7, p. 3-4, 2009.

PELLETIER, M.-P.; TRÉPANIER, M.; MORENCY, C. Smart Card Data in Public Transit Planning: A Review, Novembro 2009.

RICHARDSON, A. J.; AMPT, E. S.; MEYBURG, A. H. **Survey Methods for Transport Planning**. 1a. ed. [S.l.]: Eucalyptus Press, 1995. Disponível em< <http://www.transporturveymethods.com.au>>. Acesso em: 08 de março de 2011.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

RIOS, M. F. **Metodologia para Localização de Terminais do Sistema de Transporte Público Coletivo Urbano**. Universidade de Brasília. Brasília, p. 89. 2007.

ROSE, A. **Uma Avaliação Comparativa de Alguns Sistemas de Informação Geográfica Aplicados aos Transportes**. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos. 2001.

TACOM. **Tacom**. Disponível em: <<http://www.tacom.com.br>>. Acesso em: 03 fevereiro 2011.

TRANSPAL. Bilhetagem Eletrônica - TRANSPAL - Associação dos Transportadores de Passageiros do Estado de Alagoas. Disponível em: <<http://www.transpal.com.br>>. Acesso em: 03 fevereiro 2011.

TRÉPANIER, M.; MORENCY, C.; BLANCHETTE, C. Les systèmes de paiement par cartes à puces: un complément aux enquêtes origine-destination? **43e congrès de l'Association québécoise du transport et des routes**, Abril 2008.

VAN AERDE, M.; RAKHA, H.; PARAMAHAMSAN, H. Estimation of O-D Matrices: The Relationship between Practical and Theoretical Considerations. **82nd Transportation Research Board Annual Meeting**, 2003.

VITI, F. State-of-art of O-D Matrix Estimation Problems based on traffic counts and its inverse Network Location Problem: perspectives for application and future developments, 2008.

WONG, S. C.; TONG, C. O. Estimation of time-dependent origin-destination matrices for transit networks. **Transportation Research Part B: Methodological**, 32, 1998. 35-48.

WU, Z. X.; LAM, W. H. K. Transit passenger origin-destination estimation in congested transit networks with elastic line frequencies. **Annals of Operations Research**, 144, 2006. 363-378.

YUANQING, W. et al. OD Matrix Estimation for Urban Expressway. **Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology**, 10, Abril 2010. 83-87.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ZHAO, J. **The Planning and Analysis Implications of Automated Data Collection System: Rail Transit OD Matrix Inference and Path Choice Modeling Examples**. Massachusetts Institute of Technology. [S.l.]. 2004.