

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

**METODOLOGIA PARA IDENTIFICAÇÃO DA  
CONFIABILIDADE TOPOLÓGICA DA REDE DE  
TRANSPORTE PÚBLICO URBANO**

**MIGUEL ANGELO PRICINOTE**

**ORIENTADOR: PASTOR WILLY GONZALES TACO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES**

**PUBLICAÇÃO: T.DM – 007A/2008**

**BRASÍLIA/DF: JULHO – 2008**

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

**METODOLOGIA PARA IDENTIFICAÇÃO DA CONFIABILIDADE  
TOPOLÓGICA DA REDE DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO**

**MIGUEL ANGELO PRICINOTE**

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

**APROVADA POR:**

---

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

---

**Prof. José Matsuo Shimoishi, Dr (UnB)**  
**(Examinador Interno)**

---

**Prof. Fabiana Serra Arruda, Dr (ALTRAN/TCBR)**  
**(Examinador Externo)**

**BRASÍLIA/DF, 2 de Julho de 2008**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

PRICINOTE, MIGUEL ANGELO

Metodologia para Identificação da Confiabilidade Topológica da Rede de Transportes Público Urbano [Distrito Federal] 2008.

xvii, 92p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Transportes, 2008).

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

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Rede de Transporte Público Urbano

2. Confiabilidade

3. Espaço Urbano

4. Planejamento de Transportes

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

PRICINOTE, M. A (2008) Metodologia para Identificação da Confiabilidade Topológica da Rede de Transportes Público Urbano. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação T.DM - 007A/2008, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 92p.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

AUTOR: Miguel Angelo Pricinote.

TÍTULO: Metodologia para Identificação da Confiabilidade Topológica da Rede de Transportes Público Urbano.

GRAU: Mestre

ANO: 2008

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

---

Miguel Angelo Pricinote

Rua GV 5 Qd 12 Lt10 Residencial Granville.

74366-018 Goiânia – GO – Brasil.

mpricinote@gmail.com

*“Pedi, e dar-se-vos-á; buscai e encontrareis; batei, e abrir-se-vos-á/ Porque aquele que pede recebe; e o que busca encontra; e, ao que bate, se abre”. (Mt 7:7 e 8)*

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a Deus, pois sem Ele nada seria possível – “No principio era o Verbo, e o Verbo estava com Deus, e o Verbo era Deus./ Ele estava no principio com Deus./ Todas as coisas foram feitas por ele, e sem ele nada do que foi feito se fez” (Jo 1: 1-3)*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pois Tu és Majestoso, és Criador, Tremendo e Constante. Tu estás ao nosso alcance, és Generoso e Capaz!

À minha mãe Maria Ângela, ao meu pai Miguel, minhas irmãs Marcella e Michelle e ao meu cunhado Rafael.

A Igreja Monte da Santidade do Senhor e em especial a minha grande pequena amiga/ irmã Silvia pelo apoio e principalmente por causa das broncas.

Aos meus irmãos de coração: Victor, Thiago, Leandro, Amaral e em especial ao Rodolfo que dividiu a sua morada comigo apesar da minha “cabeça-dura”.

Ao meu querido orientador professor Pastor que foi além da orientação acadêmica e me ajudou a crescer como homem e principalmente como cristão.

Aos demais professores do Programa de Pós- Graduação em Transportes, em especial a professora Yaeko pela sugestão do tema e apoio nos momentos em que precisei e ao professor Ricardo pela atenção e pelas adoráveis conversas.

Ao incrível Júlio, ou melhor, Super Júlio. Um amigo que carregarei para todo o sempre no coração.

Aos colegas de sala: Lílian e Denise pela paciência e pelos doces. Aos colegas de turma: Fernando, Arley, Rodriguinho e em especial a Ângela por tudo que fizeram por mim. Aos demais colegas de curso em especial ao Artur.

Ao Alexandre Henrique pelo apoio e sugestões acerca do trabalho.

A minha mais nova irmã Luciany que dividiu comigo todos os sentimentos vividos durante o mestrado. Que Deus te abençoe minha irmã.

Ao CNPq pela bolsa.

## RESUMO

Este trabalho se propõe a contribuir com desenvolvimento de uma abordagem conceitual com objetivo de elaborar uma metodologia que possibilite identificar a confiabilidade topológica da rede de transporte público urbano. Para tal, o ferramental teórico-conceitual relativo à rede de transporte - a confiabilidade – e, em especial, a rede de transporte público, são utilizados para a compreensão do objeto de estudo. Como metodologia, apresenta-se, inicialmente, o referencial teórico e a revisão da literatura, incluindo o ferramental teórico-conceitual. A partir dessas referências é desenvolvida a metodologia para identificação da confiabilidade da rede de transporte público urbano com base na relação existente entre a função exercida pela rede e seus atributos. Por fim, a abordagem desenvolvida é aplicada ao estudo de caso feito nas redes do Distrito Federal e na cidade de Manaus-AM. Esse estudo foi feito a partir da função conectiva da rede por meio de quatro atributos: integração; acessibilidade; conectividade e a eficiência das conexões. O estudo de caso mostra a aplicabilidade da metodologia desenvolvida, assim como fornece indícios para identificar que existe uma relação entre a confiabilidade da rede de transporte público urbano e a formação e apropriação do espaço urbano no qual a mesma está inserida.

*Palavras chave:* Rede de transporte público urbano; confiabilidade; espaço urbano.

## ABSTRACT

This work aims at contributing through the development of a conceptual approach with objective elaborating a methodology that it makes possible to identify the topological reliability of urban transportation network. For such, relative the theoretician-conceptual tools about transportation network, reliability and urban transportation network are used for understanding the study object. As methodology, it is presented, initially, the theoretical and the revision of literature. From these references is developed the methodology for identification the reliability of the urban transportation network on the basis of enters the function exerted for the network and its attributes. Finally, the developed approach is applied to the study of case made in the networks of Federal District and in the city of Manaus-AM. This study it was made from the connective function of the network through four attributes of the net: integration; accessibility; connectivity and the efficiency of the connections. The case study it shows the applicability of the developed methodology, as well as it supplies indications to identify that a relation exists between reliability of urban transportation network and the formation and appropriation of the urban space in which the same one is inserted.

**Keywords:** *Urban transportation network; reliability; urban space*

# SUMÁRIO

|  |             |
|--|-------------|
| <b>LISTA DE TABELAS E QUADROS .....</b>                                | <b>XII</b>  |
| <b>LISTA DE FIGURAS.....</b>   | <b>XIII</b> |
| <b>LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES.....</b>             | <b>XV</b>   |
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>1</b>    |
| 1.1. APRESENTAÇÃO .....  | 1           |
| 1.2. HIPÓTESE.....   | 4           |
| 1.3. JUSTIFICATIVA.....  | 4           |
| 1.4. OBJETIVOS.....  | 5           |
| 1.5. METODOLOGIA .....   | 6           |
| <b>2. REDE DE TRANSPORTE .....</b>                                     | <b>9</b>    |
| 2.1. APRESENTAÇÃO .....  | 9           |
| 2.2. SISTEMA DE TRANSPORTES .....                                      | 10          |
| 2.3. REDES DE TRANSPORTE .....   | 13          |
| 2.3.1. <i>Teoria dos grafos no estudo da rede de transporte</i> .....  | 14          |
| 2.3.2 – <i>Representação gráfica de uma rede de transporte</i> .....   | 15          |
| 2.3.3. <i>Elementos de uma rede de transporte</i> .....                | 15          |
| 2.4. CONFIABILIDADE DA REDE DE TRANSPORTE.....                         | 22          |
| 2.4.1. <i>Medidas de Confiabilidade</i> .....                          | 24          |
| 2.5. VULNERABILIDADE DA REDE DE TRANSPORTE.....                        | 26          |
| 2.5.1. <i>Medidas de Vulnerabilidade</i> .....                         | 29          |
| 2.6. VULNERABILIDADE X CONFIABILIDADE DA REDE DE TRANSPORTE...         | 30          |
| 2.7. TÓPICOS CONCLUSIVOS .....   | 32          |
| <b>3. CONFIABILIDADE DA REDE DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO .....</b>    | <b>35</b>   |
| 3.1. APRESENTAÇÃO .....  | 35          |
| 3.2. ELEMENTOS CONSTITUINTES DA REDE DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO..... | 36          |
| 3.2.1. <i>Arcos da rede de transporte público urbano</i> .....         | 36          |
| 3.2.2. <i>Nós da rede de transporte público urbano</i> .....           | 38          |
| 3.2.3 <i>Tecnologia Veicular</i> .....                                 | 40          |
| 3.3. CARACTERÍSTICAS DAS REDES DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO...         | 40          |
| 3.4. CONFIABILIDADE DA REDE DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO.....          | 42          |
| 3.5. TÓPICOS CONCLUSIVOS .....   | 43          |
| <b>4. METODOLOGIA.....</b>   | <b>45</b>   |
| 4.1. INTRODUÇÃO .....  | 45          |
| 4.2. ETAPAS DA METODOLOGIA .....                                       | 46          |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.2.1. Etapa I – Delimitação e caracterização da área de estudo .....   | 48        |
| 4.2.2. Etapa II – Definição das variáveis e atributos da RTPU;.....   | 48        |
| 5.2.3. Etapa III – Formulação do modelo para identificação da confiabilidade da RTPU .....                                      | 52        |
| 4.2.4. Etapa IV – Aplicação do modelo e análise exploratória da confiabilidade da RTPU .....                                    | 54        |
| <b>5. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA: ESTUDO DE CASO .....</b>  | <b>56</b> |
| 5.1. APRESENTAÇÃO .....   | 56        |
| 5.2. DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO.....  | 56        |
| 5.2.1. Aspectos Gerais do Distrito Federal .....  | 56        |
| 6.2.2. Sistema de Transporte Público do Distrito Federal.....   | 59        |
| 5.2.3. Sistema Metroviário do Distrito Federal.....   | 60        |
| 5.2.3. Aspectos gerais da cidade de Manaus .....  | 62        |
| 5.2.4. Sistema de Transporte Público da cidade de Manaus.....   | 62        |
| 5.3. DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS E ATRIBUTOS DA REDE DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO DE MANAUS .....                                   | 64        |
| 5.3.1. Escolha do atributo da RTPU-DF e da RTPU-MAO a ser estudado.....   | 64        |
| 5.3.2. Definição das variáveis .....  | 65        |
| 5.4. FORMULAÇÃO DO MODELO PARA IDENTIFICAÇÃO DA CONFIABILIDADE DA RTPU-DF E DA RTPU-MAO.....                                    | 65        |
| 5.5. APLICAÇÃO DOS MODELOS DA CONFIABILIDADE E DA RTPU-DF E DA RTPU-MAO .....   | 67        |
| 5.5.1. Aplicação do modelo para identificação da confiabilidade da RTPU-DF .....  | 67        |
| 5.5.2. Aplicação do modelo para identificação da confiabilidade da RTPU-MAO.....  | 71        |
| <b>6. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>  | <b>74</b> |
| 6.1. APRESENTAÇÃO .....   | 74        |
| 6.2. ANÁLISE GERAL DA CONFIABILIDADE DA RTPU-DF .....   | 74        |
| 6.2.1. A Evolução do tecido urbano do Distrito Federal e a constituição da RTPU-DF .....  | 75        |
| 6.2.2. Análise da integração entre a rede de transporte sobre pneus e a rede de transporte metroviária do Distrito Federal..... | 76        |
| 6.2.3. Análise da acessibilidade dos centróides das zonas de tráfego em relação a RTPU-DF.....                                  | 77        |
| 6.2.4. Análise da conectividade da RTPU-DF.....   | 78        |
| 6.2.5. Análise da eficiência das conexões da RTPU-DF .....  | 78        |
| 6.3. ANÁLISE GERAL DA CONFIABILIDADE DA RTPU-MAO .....  | 81        |
| 6.3.1. A Evolução do tecido urbano de Manaus e a constituição da RTPU-MAO.....  | 81        |
| 6.3.2. Análise da acessibilidade dos centróides das zonas de tráfego em relação a RTPU-MAO .....                                | 83        |
| 6.3.3. Análise da conectividade da RTPU-MAO .....   | 84        |
| 7.3.4. Análise da eficiência das conexões da RTPU-MAO.....  | 84        |
| 6.4. COMPARAÇÃO ENTRE O ÍNDICE DE CONFIABILIDADE DA RTPU-DF E A RTPU-MAO .....  | 86        |
| <b>7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>  | <b>87</b> |

|                           |           |
|---------------------------|-----------|
| <b>BIBLIOGRAFIA .....</b> | <b>89</b> |
|---------------------------|-----------|

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

|  |    |
|--|----|
| Quadro 2.1. Elementos utilizados na representação gráfica de uma rede .....            | 16 |
| Quadro 2.2. Representação dos Tipos de Grafos.....                                     | 17 |
| Quadro 2.3. Tipologia das redes de transportes.....                                    | 20 |
| Quadro 2.4. Exemplos de trabalhos acerca da confiabilidade da rede de transporte ..... | 25 |
| Quadro 3.2. Exemplos de estudos acerca da vulnerabilidade da rede de transporte .....  | 29 |
| Quadro 3.1. Tipos de via .....   | 36 |
| Quadro 4.1. Relação entre Função da RTPU/ Atributo/ Confiabilidade.....                | 49 |
| Quadro 4.2. Relação entre Atributo da RTPU/ Confiabilidade/ Variáveis .....            | 50 |
| Quadro 5.1. Siglas referentes as estações do Metrô-DF.....                             | 61 |
| Quadro 5.2. Valor da Integração de cada estação do Metrô-DF .....                      | 67 |
| Quadro 5.3. Valor da acessibilidade de cada centróide da RTPU-DF .....                 | 68 |
| Quadro 5.4. Valor da conectividade da RTPU-DF.....                                     | 70 |
| Quadro 5.5. Valor da eficiência das conexões da RTPU-DF .....                          | 70 |
| Quadro 5.6. Valor da acessibilidade dos centróides da RTPU-MAO .....                   | 71 |
| Quadro 5.7. Valores da conectividade da RTPU-MAO .....                                 | 72 |
| Quadro 5.9. Valores da eficiência das conexões da RTPU-MAO.....                        | 73 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1.1. Rede Semântica dos Transportes, adaptado Ministério dos Transportes (2007).                       | 3  |
| Figura 1.2. Estrutura Metodológica da Dissertação .....   | 7  |
| Figura 2.1. Rede Semântica do Sistema de Transporte – adaptado (CEFTRU, 2007).....                            | 11 |
| Figura 2.2. Sistema de Transportes (Rodrigue et al, 2006). .....  | 12 |
| Figura 2.3. Exemplo de nó global (3a) e nó local (3b).....  | 12 |
| Figura 2.4. Mapa da região central do estado de Goiás (a) representado graficamente por nós e arcos (b).....  | 15 |
| Figura 2.5. Mapa de distribuição do aeroporto de Girona na Espanha (a); Representação gráfica do Hub (b)..... | 18 |
| Figura 2.6. Mapa da linha turística do Peru (a); Representação gráfica da Linha (b).....                      | 18 |
| Figura 2.7. Mapa do Metrô de Brasília (a); Representação gráfica do Metrô em forma de árvore (b) .....        | 19 |
| Figura 2.8. Estrutura em série da rede de transporte .....  | 21 |
| Figura 2.9. Estrutura em paralelo da rede de transporte.....  | 21 |
| Figura 2.10. Estrutura Mista da rede de transporte.....   | 22 |
| Figura 2.11. Relação entre a Confiabilidade (c) e Vulnerabilidade (v) da Rede de transporte .....             | 31 |
| Figura 2.12. Vulnerabilidade/Confiabilidade x Custo/Benefícios (Husdal, 2004).....                            | 32 |
| Figura 3.1. Elementos constituintes da Rede de Transporte Público Urbano .....                                | 35 |
| Figura 4.1. Estrutura Metodológica.....   | 47 |
| Figura 4.2. Estrutura esquemática da etapa II .....   | 48 |
| Figura 4.3. Estrutura Esquemática da Sub-etapa 2.1 .....  | 49 |
| Figura 4.4. Estrutura esquemática da sub-etapa 2.2 .....  | 51 |
| Figura 4.5. Estrutura esquemática da sub-etapa 2.3 .....  | 51 |
| Figura 4.6. Modelo Esquemático da etapa III .....   | 54 |
| Figura 4.7. Estrutura esquemática da etapa V .....  | 55 |
| Figura 5.1. Divisão administrativa do Distrito Federal no ano 2000 .....                                      | 57 |
| Figura 5.2. Distribuição da população no Distrito Federal. Fonte: Distrito Federal (2007). .....              | 58 |
| Figura 5.3. Distribuição dos postos de trabalho no Distrito Federal. Fonte: Distrito Federal (2007). .....    | 58 |
| Figura 5.4. Rede de transporte Público Urbano do Distrito Federal .....                                       | 59 |
| Figura 5.5. Rede Metroviária do Distrito Federal .....  | 60 |
| Figura 5.6. Zonas de Tráfego do Distrito Federal .....  | 61 |
| Figura 5.7. Terminais de Integração da cidade de Manaus .....   | 63 |
| Figura 5.8. Classificação das Linhas da RTPU-MAO quanto ao tipo (CEFTRU, 2006)....                            | 63 |
| Figura 5.9. Zonas de Tráfego da cidade de Manaus.....   | 64 |
| Figura 5.10. Acessibilidade da RTPU-DF.....   | 69 |
| Figura 5.11. Acessibilidade dos centróides da RTPU-MAO.....   | 72 |
| Figura 6.1. Esquema demonstrativo da polarização da RTPU-DF.....  | 76 |
| Figura 6.2. Estações do Metrô-DF .....  | 77 |
| Figura 6.3. Zonas de Trafego com centróide acessível – Distrito Federal .....                                 | 78 |
| Figura 6.4. Eficiência da conexão entre os centróides 321 e 323 da RTPU-DF .....                              | 79 |
| Figura 6.5. Eficiência da conexão entre os centróides 286 e 323 da RTPU-DF .....                              | 79 |
| Figura 6.6. Eficiência da conexão entre os centróides 240 e 288 da RTPU-DF .....                              | 80 |
| Figura 6.7. Eficiência da conexão entre os centróides 321 e 288 da RTPU-DF .....                              | 80 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 6.8. Relação entre o Centro de Manaus de a RTPU-MAO .....              | 82 |
| Figura 6.9. Zonas de Trafego com centróide acessível – Distrito Federal ..... | 83 |
| Figura 6.10. Eficiência da conexão entre os centróides 4 e 24.....            | 84 |
| Figura 6.11. Eficiência da conexão entre os centróides 40 e 72.....           | 85 |
| Figura 6.12. Eficiência da conexão entre os centróides 45 e 51.....           | 85 |
| Figura 6.13. Eficiência da conexão entre os centróides 51 e 70.....           | 86 |

## **LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES**

CEFTRU – Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes

CODEPLAN – Companhia de Planejamento do Planalto Central

DFTRANS - Transportes do Distrito Federal

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPK – Índice de Passageiros por quilômetro

Metrô-DF – Companhia do Metropolitano do Distrito Federal

NTU – Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos

O/D – Origem e Destino

RA – Região Administrativa

RMDF – Rede Metroviária do Distrito Federal

RT – Rede de Transporte

RTPU – Rede de Transporte Público Urbano

RTPU-DF – Rede de Transporte Público Urbano do Distrito Federal

RTPU-MAO – Rede de Transporte Público Urbano de Manaus

SIG – Sistema de Informação Geográfica

STPA – Sistema de Transporte Público Alternativo

STPR-DF – Sistema de Transporte Público Rodoviário do Distrito Federal

VLT – Veículo Leve sob trilhos

UnB – Universidade de Brasília

ZT – Zona de Tráfego

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. APRESENTAÇÃO

Qual a relação existente entre a apropriação e reprodução do espaço urbano e a rede de transporte nele inserida? Muito se fala do sistema de transporte e seus componentes como indutor do desenvolvimento, como elemento transformador do espaço ou simplesmente como conector de pelo menos dois pontos no espaço. Segundo Vanconcellos (1996), as mudanças simultâneas de utilização dos meios de transportes e a reorganização das cidades transformam o espaço, de uma forma drástica, causando impactos de grande abrangência.

Esses impactos, ao alterarem o espaço, modificam também o próprio problema de transporte. É assim que uma mudança, por exemplo, na configuração da rede de transporte público urbano (RTPU) - por meio de investimentos e com conseqüentes alterações de padrões de acessibilidade - pode gerar ou fortalecer vetores de desenvolvimento, consolidar ou desaparecer padrões espaciais e promover densificações populacionais que reestruturam o espaço urbano, alterando a vida do homem e gerando, finalmente, novos interesses e necessidades de transporte (Silveira *et al*, 2007). É nesse contexto que se apresenta o seguinte questionamento: quais são as funções exercidas pelas redes do transporte público no meio urbano?

Ao se atentar apenas aos problemas específicos, como o do atendimento de demanda, sem uma visão mais ampla das conseqüências dessas ações e da função da RTPU, o planejador recria o espaço e assim recria o seu problema, podendo até mesmo agravá-lo (Silveira *et al*, 2007). É nessa linha de raciocínio que Silva *et al* (2007) apresenta que exclusão social é uma situação de privação não só individual, mas coletiva, caracterizando-se por insuficiência de renda, discriminação social, a segregação espacial, a não-equidade fruto do distanciamento das áreas de emprego e renda e da baixa oportunidade referente ao acesso a RTPU. Nesse sentido a RTPU passa a ter a função de garantir a equidade na oferta de serviço a todos os seus usuários, isto é, que todos usuários possam ter condições iguais para acessar o transporte público urbano.

Mas como se adquirir uma visão amplificada da realidade, se não se sabe ao certo, qualitativa e quantitativamente, como se dão às relações da RTPU com as suas funções? É nesse sentido que se apresenta esta pesquisa. Trata-se de um esforço inicial para a compreensão das relações entre a RTPU, suas funções e sua confiabilidade, entretanto, são

poucos os autores, como por exemplo os citados abaixo, que se dedicam a explorar a função da RTPU. O que se verifica, em grande parte das vezes, é a explicação do conceito em função do sistema de transporte e da sua importância para a sociedade, o que foge ao escopo de uma definição que caracterize o termo.

Fazendo referência a passageiros e a cargas, Ferraz e Torres (2001) definem a função do transporte como sendo o deslocamento de pessoas e de produtos. A principal função do transporte é, sem dúvida, a do deslocamento, mas será a única? Manhein (1979) lembra que o transporte não é um fim em si mesmo e a sua finalidade é satisfazer objetivos públicos ou privados mais abrangentes. Não se transporta pelo simples fato de querer se deslocar, ou de deslocar algo: há que se ter uma necessidade maior que fundamente tal decisão. Quando Khisty e Lall (1998) definem o objetivo do transporte como sendo o de unir a residência ao local de trabalho e os produtores de bens e serviços a seus usuários, ratificam essa idéia. O transporte, assim entendido, passa a ser uma ferramenta para se atender a necessidades maiores, sejam essas de caráter pessoal, social ou econômico e a função da RTPU passa a ser a de conectar pontos distribuídos ao longo do espaço urbano.

Pricinote *et al* (2007) apresenta a proposta de usar o sistema de transporte estando nele inserido a RTPU como uma ferramenta para o planejamento estratégico urbano. Para Sánchez (1999): “os planos estratégicos propõem atuações integradas em longo prazo, dirigidas à execução de grandes projetos que combinam objetivos de crescimento econômico e desenvolvimento urbano, com um sistema de tomada de decisões que comporta riscos, com a identificação de cursos de ação específica, formulação de indicadores de seguimento e envolvimento de agentes sociais e econômicos ao longo do processo”. Neste caso, a RTPU passa a ter a função de indutor do desenvolvimento no espaço urbano.

Segundo CEFTRU (2007), para que o Transporte possa ser realizado são necessários um sujeito, um meio e um objeto. O sujeito, conforme descrito anteriormente, é o agente, o ser dotado de racionalidade, que intenciona deslocar o objeto e aciona o meio para a realização do transporte. O objeto, conforme as interpretações anteriores, são as cargas e as pessoas. O meio de transporte, por sua vez, é aquilo que efetivamente realiza o transporte do objeto e para isso necessita-se de um sistema de transporte e, contido neste sistema, a rede de transporte público urbano.

Para o Ministério do Transportes (2007) o principal objetivo do transporte é a sua eficiência, (determinada pela eficiência de mercado e a eficiência de produção do transportes), sua eficácia é a mobilidade pela acessibilidade do meio pelo objeto e pela acessibilidade do meio pelo sujeito como apresentado na Figura 1.1.

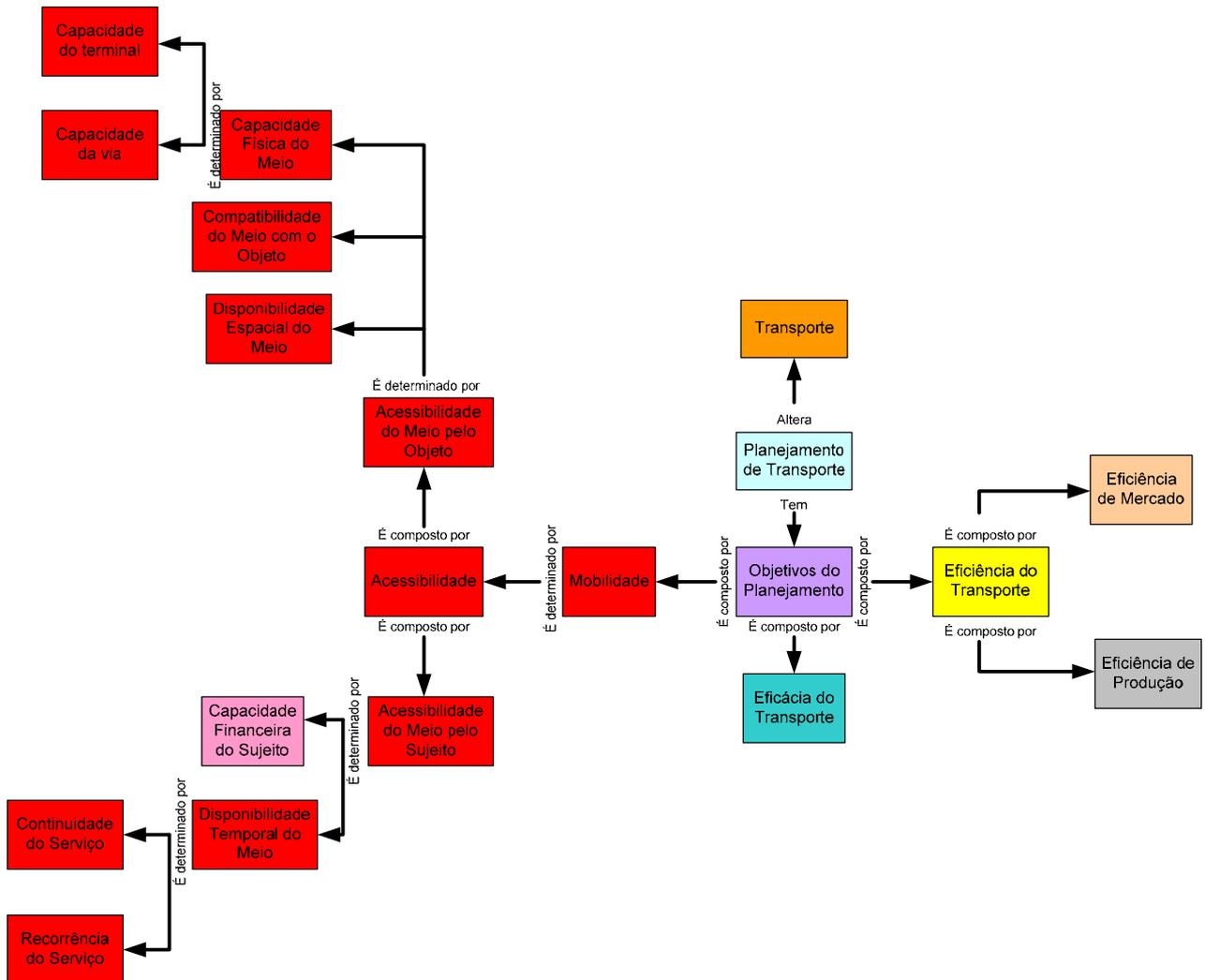


Figura 1.1. Rede Semântica dos Transportes, adaptado Ministério dos Transportes (2007).

Com o desenvolvimento tecnológico em conjunto com um significativo crescimento da demanda por transportes, nota-se que a análise da RTPU, não somente ao estudo do fluxo concernido na rede, mas também em relação à reação da rede ao fluxo e em relação da rede com o espaço no qual ela se insere (Rodrigue *et al*, 2006). Essa reação da RTPU ao fluxo pode ser mensurada pelo o estudo da confiabilidade da rede de transporte que é um enfoque sistemático para o planejamento e gerenciamento das redes de transporte (Nicholson, 2003).

Os objetivos desta técnica são: assegurar que a RTPU continue a realizar as suas funções requeridas, e avaliar a estabilidade da qualidade do serviço oferecido, tanto para uma situação normal quanto em eventos anormais, como por exemplo; desastres, acidentes graves, construções ou reparos na rede de transporte.

A confiabilidade da rede de transporte pode ser obtida pela a análise das conseqüências de suas falhas funcionais, sob os seguintes pontos de vista: i) ambiental (ex. desastres naturais), ii) qualidade do serviço, iii) custos, iv) segurança e v) operação (Bell e Cassir, 2000). A confiabilidade da rede de transporte pode ser entendida como a probabilidade da rede executar sua função desejada a um nível aceitável de desempenho, para um dado período de tempo (Bell e Lida, 1997).

Entretanto, em relação a RTPU, como já visto no início da seção, nem a função desejada nem o seu nível aceitável correspondente ao desempenho resultam em uma simples definição. Existem várias funções ou objetivos associados a uma rede de transporte, sendo a mais básica, o deslocamento de pessoas ou bens de um ponto a outro no espaço (função de conectividade). E dependendo do ponto de vista dos atores concernidos (planejadores, gestores, usuários da rede, etc.), a função da rede pode ser descrita pela da acessibilidade, equidade, custos, etc. Logo, funções diferentes conduzem a medidas de desempenho diferentes resultando em diferentes abordagens quanto à confiabilidade da mesma (Bell e Lida, 1997).

Nesse contexto, é necessário identificar quais são os elementos necessários para a identificação da confiabilidade da rede de transporte público urbano.

## **1.2. HIPÓTESE**

A partir da identificação da função exercida pela rede de transporte público urbano e dos seus atributos elaborar uma metodologia para identificação da confiabilidade da rede de transporte.

## **1.3. JUSTIFICATIVA**

A rede de transporte público urbano é o principal meio de circulação das pessoas nos países em desenvolvimento. Entretanto, percebe-se um declínio progressivo do número de usuário (Silva *et al* 2007). Com isso a rede de transporte público urbano representa a estrutura principal da cidade, constituindo assim, um de seus mais importantes elementos.

É essa rede que determina a conveniência e a facilidade com a qual o cidadão se locomove através da cidade. Enfim, nenhum outro elemento da composição material urbana é tão permanente quanto a sua rede de transporte.

A transferência de usuários do transporte público urbano para o individual não só compromete a viabilidade do serviço público como também implica numa utilização ineficiente do espaço viário (Vasconcellos, 2002). Esses fatores externos compõem ameaças à qualidade do serviço e requerem medidas para torná-la mais atrativa. Com isso, técnica como a confiabilidade torna-se necessária.

A confiabilidade da RTPU tem sido considerada como um fator importante que afeta a atratividade do sistema de transporte (Nicholson e Kong, 2000), e várias medidas da engenharia (pistas exclusivas para o transporte público, prioridade semafórica – sendo esta operacional - entre outras) e as medidas operacionais são executadas para auxiliar na melhoria do serviço prestado pela RTPU.

De todas as principais funções da rede de RTPU, fornecer acesso e garantir a circulação de seus usuários, são sem dúvida as mais importantes. Estudar e desenvolver alternativas que consigam minimizar impactos, prejuízos e desconfortos torna-se, atualmente, tarefa fundamental para os planejadores urbanos. Para isso, a RTPU deve ser planejada e trabalhada de maneira a diminuir qualquer risco de falhas (de quaisquer natureza) que podem ser exercidas sobre a sua topologia, pela demanda sobre a oferta, ou sobre a capacidade de escoamento do mesmo. Para compreender qual é a situação da rede em relação às falhas é necessário, *a priori*, identificar qual é a confiabilidade da mesma.

#### **1.4. OBJETIVOS**

O objetivo principal é desenvolver uma metodologia para identificar a confiabilidade com base na função da rede de transporte público urbano e dos seus atributos. Dentro desse objetivo geral situam-se três outros objetivos específicos do trabalho:

- a) Esta pesquisa visa desenvolver uma metodologia para identificar a confiabilidade topológica da RTPU utilizando os atributos referentes a função conectiva da mesma;
- b) Identificação da função exercida pela RTPU;

- c) Identificação da confiabilidade da RTPU em relação aos atributos oriundos da função exercida pela rede;
- d) Realização de estudo de caso a partir da metodologia proposta.

## **1.5. METODOLOGIA**

O método de abordagem adotado nesta pesquisa foi o hipotético-dedutivo que, segundo Piaget e Inhelder (1976), é o raciocínio que implica deduzir conclusões de premissas que são hipóteses (apresentado na seção 1.2), em vez de deduzir de fatos que o sujeito tenha realmente verificado. Com o intuito de comprovar a hipótese descrita anteriormente e atingir os objetivos propostos, foram delimitadas cinco fases metodológicas, detalhadas a seguir e apresentadas no fluxograma da figura 1.2;

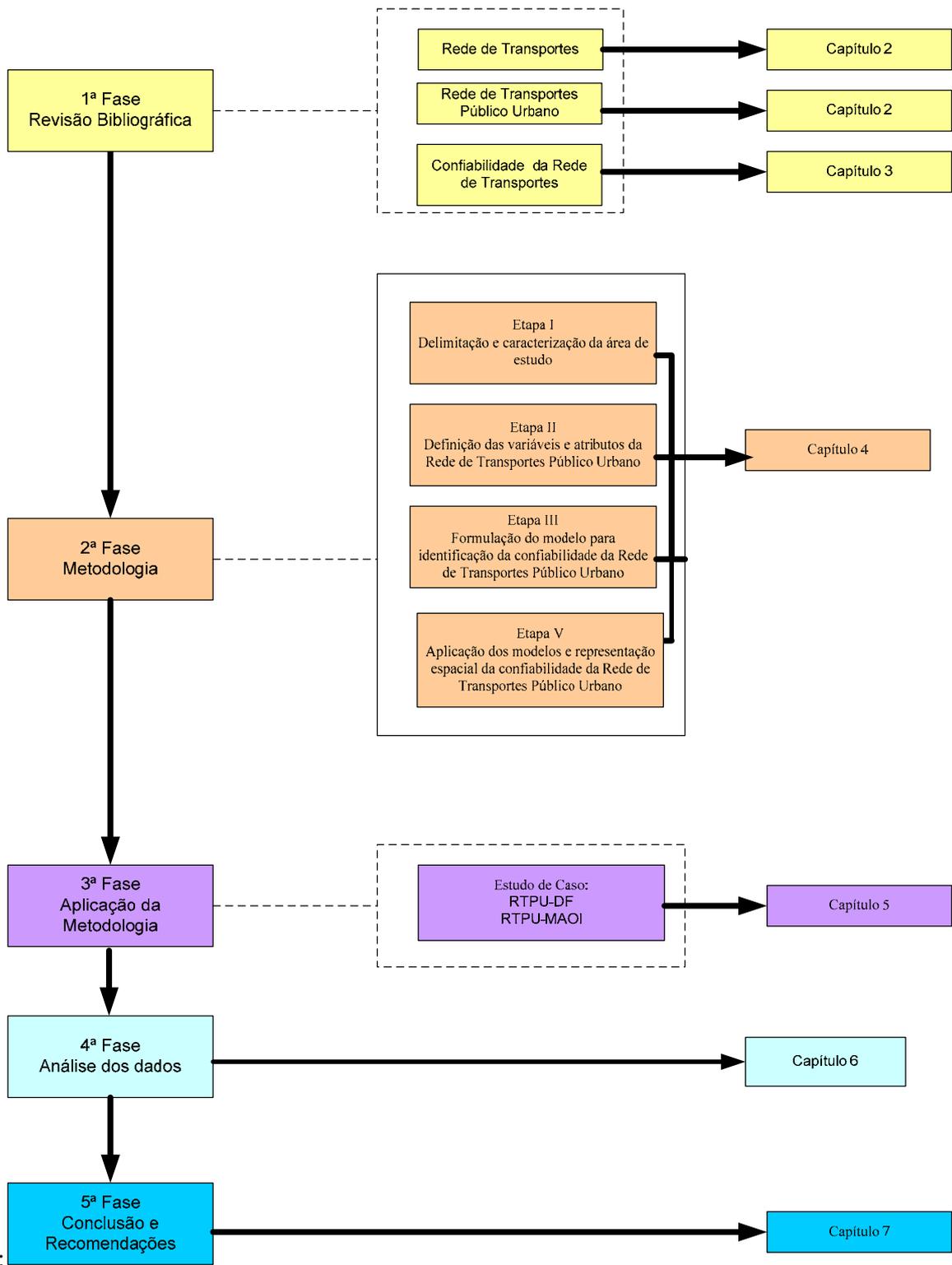


Figura 1.2. Estrutura Metodológica da Dissertação

Na primeira fase realizou-se uma revisão da literatura, mediante consulta em livros e artigos científicos, com intuito de adquirir a base teórica para o desenvolvimento e execução da pesquisa. São apresentados conceitos bases acerca de: rede de transporte, confiabilidade da rede de transporte e rede de transporte público urbano.

A segunda fase da pesquisa correspondeu ao desenvolvimento da Metodologia de identificação da confiabilidade topológica da RTPU a serem usadas pela pesquisa dividida nas seguintes etapas:

- Etapa I – Delimitação e caracterização da área de estudo;
- Etapa II – Definição das variáveis e atributos da Rede de Transporte Público Urbano;
- Etapa III – Formulação do modelo para identificação da confiabilidade da Rede de Transporte Público Urbano;
- Etapa IV – Aplicação da metodologia e representação espacial da confiabilidade topológica da Rede de Transporte Público Urbano.

Na terceira fase a metodologia foi avaliada por meio da sua aplicação no estudo de caso no Distrito Federal e na cidade de Manaus.

Na quarta fase foi feita a análise dos resultados obtidos no estudo de caso. Com a aplicação da metodologia é identificada a confiabilidade da RTPU do Distrito Federal e da cidade de Manaus. As informações geradas possibilitaram identificar a confiabilidade da rede na sua totalidade. Esses elementos são fundamentais no planejamento dos transportes uma vez que retratam a atual situação da RTPU em relação a sua confiabilidade.

Na quinta fase foram feitas a conclusão e as recomendações para pesquisas futuras tendo como base os resultados obtidos na quarta fase em relação à hipótese e aos objetivos levantados no capítulo 1 desta dissertação.

## **2. REDE DE TRANSPORTE**

### **2.1. APRESENTAÇÃO**

A rede de transporte público urbano, na visão sistêmica, é um conjunto de unidades reciprocamente relacionadas, inseridas em dois conceitos: o de propósito (ou objetivo) inerente à função da RTPU e o de globalismo (ou de totalidade) (Bertalanffy adaptado, 1956). O conceito de propósito refere-se ao fato que a rede tem um ou mais objetivos dentro de uma função específica. As unidades ou os elementos, bem como os relacionamentos, definem um arranjo que visa sempre alcançar a função desejada. A identificação da função da RTPU é de suma importância para a concepção e o planejamento da mesma. As medições que visam tanto a eficácia como a confiabilidade, regulam o grau em que se satisfazem os objetivos da rede e, por consequência, a sua função.

Já o globalismo ou totalidade refere-se ao fato que toda rede tem uma natureza orgânica. Isto é, uma ação que provoca mudança em um dos elementos da rede, provavelmente desencadeará alterações em todos os outros elementos. Em outras palavras, qualquer estímulo em qualquer elemento da rede afetará os demais, devido ao relacionamento existente entre eles. A definição da rede de transporte pode ser explicada de forma sistêmica em relação aos seus elementos constituintes e seus objetivos. Através dos objetivos dos elementos da rede é possível analisar a sua função

O aspecto mais importante da visão sistêmica da RTPU é a idéia de um conjunto de elementos interligados para formar um todo. Esse todo apresenta propriedades e características próprias que não são encontradas em nenhum dos elementos isolados. É o que se denomina de emergente sistêmico: uma propriedade ou característica que existe na rede como um todo e não em seus elementos em particular.

A rede de transporte tem como objetivo básico o deslocamento de pessoas e bens. Já o globalismo da rede de transporte refere-se ao fato que qualquer alteração em uma das partes integrantes do sistema poderá produzir alterações nas outras partes. Como, por exemplo, uma alteração nas vias pode proporcionar alterações em toda rede.

Como base na visão sistêmica da rede de transporte, este capítulo tem como objetivo apresentar os conceitos acerca da rede de transporte que serão utilizados no decorrer deste trabalho. Para isso ele foi dividido em outras três seções além desta: a segunda apresenta uma breve definição de sistema de transporte. Na terceira são apresentadas as definições acerca da rede de transporte. Sendo que na quarta e última seção são apresentados os tópicos conclusivos referentes ao capítulo.

## **2.2. SISTEMA DE TRANSPORTES**

O sistema de transporte, segundo Setti e Widmer (1997), é um conjunto de elementos que possuem a função de permitir que pessoas e bens se movimentem. Essa definição, em essência, é semelhante à de Morlok (1978), quando assume que o sistema de transporte possibilita que um objeto seja movimentado de um local para outro ao longo de uma trajetória, por meio de uma tecnologia. Tanto em uma como em outra definição, a idéia central é a de que o sistema de transporte é um elemento, ou conjunto de elementos, que permite o deslocamento.

Essa possibilidade vem necessariamente do fato desses elementos estarem organizados funcionalmente. Motivada pelas necessidades sociais mais amplas, que geram a necessidade ou demanda pelo transporte, a sociedade, ao agir, cria e altera a estrutura desses elementos de transporte, organizando-os, funcionalizando-os e dando a eles um caráter sistêmico. A idéia de sistema de transporte de Bruton (1979), como um conjunto de facilidades e instituições organizados que tem como objetivo distribuir seletivamente uma qualidade de acesso em uma área urbana, corrobora essa linha de pensamento.

Mas, quais são esses componentes ou elementos? Morlok (1978) apresenta em sua definição a idéia da tecnologia e da trajetória como alguns dos componentes do sistema. Setti e Widmer (1997), ao tratarem de transporte urbano, destacam como elementos do sistema de transporte os veículos, as vias, os terminais e os planos de operação. Khisty e Lall (1998) acrescentam a essa listagem os técnicos que constroem, operam, gerenciam e mantêm as vias, os veículos e os terminais. Meyer e Miller (1984) incluem os itens infraestrutura, veículos, rotas, motoristas, procedimentos para operação do sistema e custos. Já Manheim (1979), estabelece ainda as pessoas e os bens transportados como componentes do sistema de transporte, nesse caso se distanciando da idéia dos autores, que os consideram objeto do transporte.

Conclui-se, da diversidade de elementos apresentados, que para se permitir o transporte por meio de elementos coordenados, esses não podem ser simplesmente físicos, há que se tê-los, também, em uma dimensão lógica, que auxilie na organização do deslocamento. Os elementos físicos, de forma geral, referem-se à rede e aos entes de infra-estrutura e equipamentos, necessários ao deslocamento. Já os componentes lógicos dizem respeito à estrutura normativa (regras de funcionamento do transporte, incluindo-se as legislações, leis, contratos), da estrutura funcional, de gestão, de produção e institucional, essenciais para a consecução do deslocamento conforme a Figura 2.1 (CEFTRU, 2007).

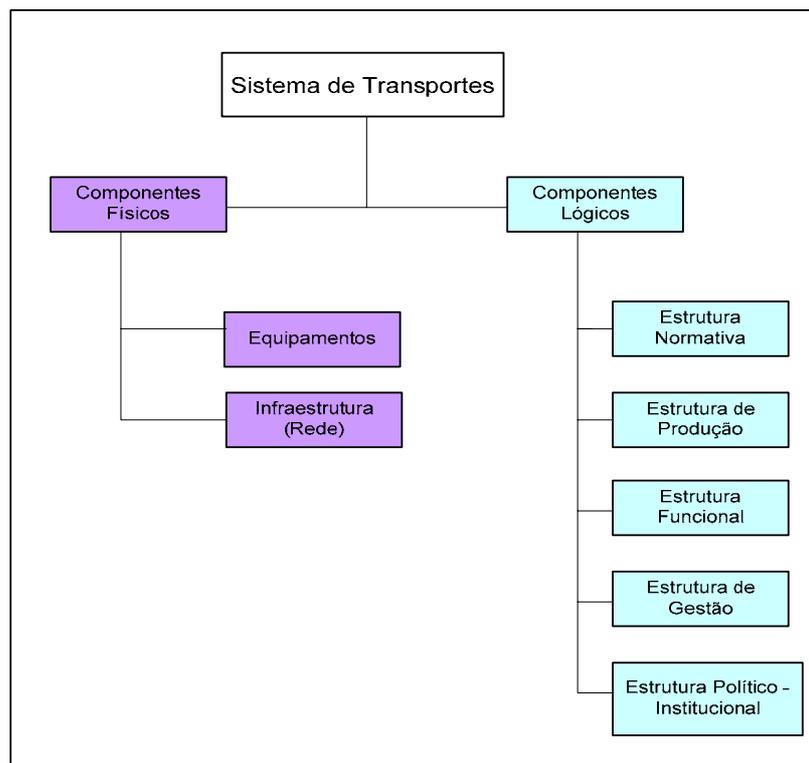


Figura 2.1 - Rede Semântica do Sistema de Transporte – adaptado (CEFTRU, 2007)

A Figura 2.1 faz uma síntese das abordagens apresentadas no início dessa seção na qual o sistema de transportes é definido a partir dos seus elementos físicos e operacionais. Por outro lado, seguindo uma outra abordagem, conclui-se que um sistema de transportes é definido como um conjunto de elementos tais como: demanda (objeto), nó (localidade), infra-estrutura (rede), com o propósito de executar uma dada função (não necessariamente a função de deslocamento). A inter-relação deste conjunto de elementos permite que pessoas, mercadorias e bens se movimentem e vençam as impedâncias (fricção) do espaço geográfico de forma eficaz e eficiente, para participar em alguma atividade desejada (Rodríguez *et al*, 2006) como exemplificada pela Figura 2.2;

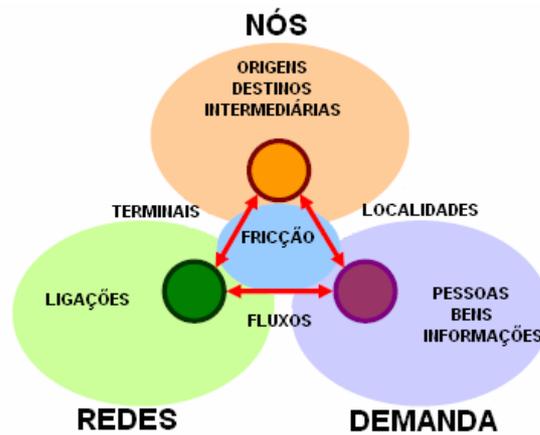


Figura 2.2- Sistema de Transportes (Rodrigue et al, 2006).

Observa-se na Figura 2.2 a abordagem apresentada por Rodrigue *et al* (2006) que traz novos elementos em relação à abordagem exemplificada pela Figura 2.1 como, por exemplo, a demanda e a fricção (impedância). Ao relacionar a interação entre esses dois elementos em relação à rede proporciona-se uma forma mais robusta para compreender a rede de transporte.

Logo os componentes funcionais básicos de todo sistema de transporte são:

a) Demanda (passageiro ou carga) que precisa ser movimentado.

b) Os nós são as localidades onde os deslocamentos são originados, terminados ou simplesmente transferidos. O conceito de nó modifica de acordo com a escala geográfica considerada, variando entre o local e o global. Um nó local seria uma interseção na rede viária de uma cidade e o nó global poderia ser uma cidade no contexto de uma rede regional, como exemplificado da Figura 2.3

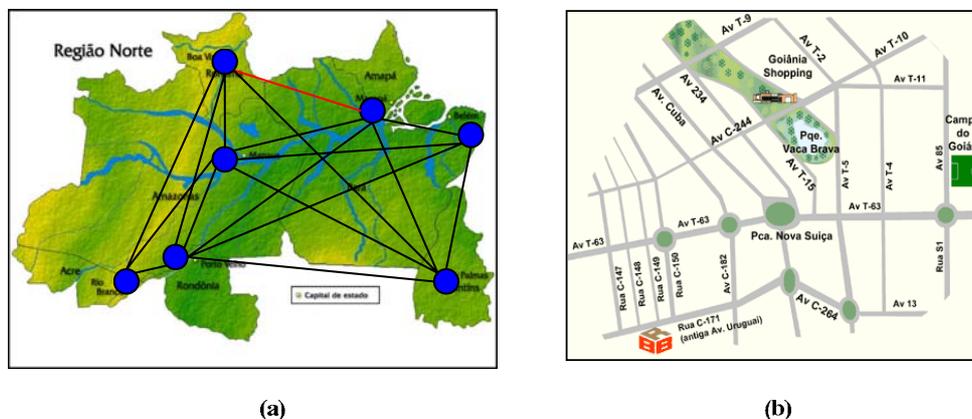


Figura 2.3- Exemplo de nó global (3a) e nó local (3b)

c) A rede (infra-estrutura), representa os componentes físicos do sistema de transportes construídos no espaço geográfico sobre o qual o veículo transita, flui ou é proporcionado. Esta rede é constituída pelas diferentes formas de ligações (vias) e nós (pontos de união de duas ou mais ligações), formas de intercâmbios, terminais e facilidades de manutenção. As vias possibilitam a acessibilidade, a mobilidade e controle ao próprio objeto.

Já os terminais são componentes cujo propósito é a transferência do fluxo de passageiros ou de carga de uma tecnologia de transporte à outra e proporcionar um local apropriado para que o objeto (passageiro ou carga) possa entrar, transferir ou sair do sistema.

As interseções são vias que se cruzam e que necessitam de algum tipo de controle de fluxo de veículos, tais como: cruzamento de vias urbanas, desvios de estradas de ferro de via simples e áreas terminais de redes aeroviárias. Assim as interseções são componentes do sistema de transporte com forma de rede de vias interligando vários pontos.

### **2.3. REDES DE TRANSPORTE**

A palavra ‘rede’ provém do latim “retis” e durante o século XII era empregada para designar o conjunto de fios entrelaçados, linhas e nós (Luz, 2006). O conceito de rede está ligado ao conceito de sistemas, uma vez que os elementos de uma rede estão interligados com o propósito de alcançar o mesmo objetivo.

Vale ressaltar que até o início do século XX o sistema de transportes era planejado mais em função de linhas com objetivo de atender às demandas do que em rede. A idéia de rede de transporte surgiu com base na expansão das redes de comunicação e energia, no início do século passado, (Luz, 2006).

As redes de transporte nem sempre são definidas apenas pela existência de infra-estrutura física, mas por uma visão mais ampla, e é justamente essa visão que se pretende apresentar (Dupuy, 1998). Desta forma, neste trabalho, assume-se uma rede de transporte como sendo uma estrutura física constituída pelos elementos de um sistema de transporte, e por elementos abstratos como são as relações existentes entre a infra-estrutura de transporte e o espaço no qual esta infra-estrutura se insere. Neste caso, o grau do relacionamento entre estes dois atores definirá qual será a função exercida pela rede de transporte.

Para uma melhor interpretação desta relação é de suma importância uma definição precisa da topologia e tipologia da rede em questão.

### **2.3.1. Teoria dos grafos no estudo da rede de transporte**

Esta teoria pode ser utilizada em estudos morfométricos de rede e constituem um tipo de análise explicativa que permite conhecer, em função de dados parciais, quais aspectos a estrutura de uma determinada rede ou seu desenvolvimento possuem.

Outra forma de conceituar a rede é por sua estrutura. A rede é denominada como uma “rede pura” se somente é considerada a sua topologia e conectividade. Quando a rede é caracterizada pela sua topologia e as propriedades do fluxo concernido (demandas de origem-destino, capacidade, custos e escolha da rota) é denominada de “rede de fluxo” (Du e Nicholson, 1993).

A rede de transporte é uma rede de fluxo que representa o movimento das pessoas, veículos e bens. Qualquer rede de transporte pode ser representada pela teoria dos grafos, constituindo de um conjunto de nós e arcos. Os arcos representam os movimentos entre os nós e também podem representar um específico modo de transportes (ônibus, metrô, bicicleta, etc). Já os nós representam a estrutura espacial da rede (Bell e Lida, 1997).

No que se refere à aplicação de tal teoria às análises de transporte, Rodrigue *et al* (2006) afirma que a teoria dos grafos permite, em função das propriedades topológicas e de sua conectividade, identificar problemas a partir das relações existentes entre o espaço e a rede de transporte.

Os métodos derivados da teoria dos grafos permitem a representação da estrutura básica dos fluxos em uma rede urbana, bem como a distribuição espacial dos equipamentos urbanos. Sua aplicação exige a associação de um grafo a esses equipamentos, considerando-se as unidades espaciais como vértices e associando os fluxos e as distâncias às ligações entre estes, permitindo a visualização da estrutura física da área a ser estudada (Puebla, 1986).

Os termos da teoria dos grafos usados no campo do transporte podem ser relacionados facilmente com objetos geográficos reais, onde os elementos da rede tais como nós e arcos, podem representar características específicas desses objetos. Por exemplo, terminais e

portos podem ser representados por nós, assim como rodovias, hidrovias, ferrovias por arcos, conforme a representação gráfica de uma determinada rede de transporte.

A teoria dos grafos, neste contexto, destaca-se como uma importante ferramenta para auxiliar na representação, abstração e na solução de problemas existente entre a rede de transporte e suas funções tais como a sua confiabilidade.

### 2.3.2 – Representação gráfica de uma rede de transporte

A representação de um determinado sistema de transporte sob o enfoque da teoria dos grafos é associada com o conceito usual atribuído à rede de transporte, expressa pela visão técnica apresentada por Rodrigue *et al* (2006). Neste caso, os autores explicam que rede de transporte é uma representação matemática do fluxo de veículos, pessoas e objetos, realizado entre pontos dentro de um determinado sistema de transporte, isto é, uma rede básica é constituída por nós e arcos, onde os nós são considerados importantes pontos no espaço e os arcos são ligações físicas entre os nós (Figura 2.4).



Figura 2.4 - Mapa da região central do estado de Goiás (a) representado graficamente por nós e arcos (b).

A Figura 2.4 exemplifica uma rede construída a partir do mapa da região central do estado de Goiás onde os nós são a representação dos principais municípios dessa região e os arcos são a representação das ligações existentes entre os mesmos municípios.

### 2.3.3. Elementos de uma rede de transporte

As terminologias e notações usadas neste estudo não são estritas ou excludentes. As notações mais utilizadas no campo do transporte foram selecionadas. O símbolo  $G [N; L]$ , a qual designa uma rede de transporte contendo um grupo de nós definidos por  $N$  e um grupo de arcos entre esses nós, definidos por  $L$ . No Quadro 2.1 são apresentados de forma

básica, alguns elementos utilizados na representação gráfica de uma rede segundo Netto (1996).

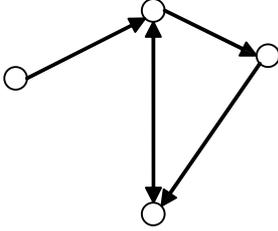
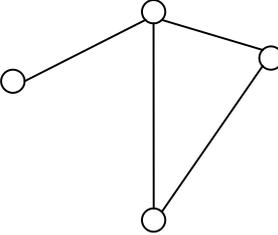
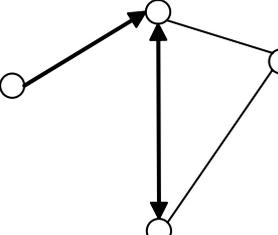
Quadro 2.1- Elementos utilizados na representação gráfica de uma rede

| Terminação                               | Definição   | Representação |
|--|---|---------------|
| Arcos (ou <i>links</i> )                 | Os arcos em uma rede são a ligação existente entre dois pontos, matematicamente são chamados <i>links</i> , e a notação $(n_i, n_j)$ representa o link que conecta o nó $n_i \in N$ ao nó $n_j \in N$   |               |
| Aresta                                   | Ligação entre dois nós pertencente ao um grafo não orientado.   |               |
| Nós (ou vértices ou pontos)              | Os nós representam meramente a interseção de arcos ( <i>links</i> ) e não são associados com nenhuma impedância.  |               |
| Nós centróides e conectores de centróide | Os nós centróides são formados pelos nós: “fonte” e “destino”, onde estão a origem das viagens e os respectivos destinos do tráfego.  |               |
| Cadeia ou ciclo                          | Em determinadas rotas através da rede é importante distinguir entre aquelas pelas quais a direção dos arcos devem ser seguidos e aquelas pelas quais as direções não são necessárias.   |               |
| Caminho                                  | Um caminho é a seqüência de arcos diretos conduzidos de um determinado nó a outro.  |               |
| Árvore e aboresence                      | Um grafo é considerado como “árvore”, segundo se e somente se todo par de distintos nós é conectado por precisamente um caminho. Quando as direções dos arcos devem ser consideradas, a árvore que consiste de cadeias de um nó início para todos os outros nós é chamada de “arborescência”. |               |

### 2.3.3.1 – Tipos de grafos (Redes)

A orientação de um grafo determina um tipo de relação entre seus arcos, que é justamente a relação de acessibilidade (Ferreira, 2006). Os grafos, segundo a orientação de seus arcos, são classificados em: diretos ou orientados, indiretos ou não-orientados, e mistos, como representado no Quadro 2.2.

Quadro 2.2- Representação dos Tipos de Grafos

| Tipos de Grafos                          | Definição  | Representação   |
|--|--|---|
| Grafos diretos<br>(rede orientada)       | Um “grafo direto” $G [N; L]$ é definido como um grupo finito $N$ de elementos não ordenados e um grupo $L$ de pares ordenados de elementos de $N$ . Pode-se de igual forma denotar um grafo direto por $n$ e $l$ os números de elementos nos conjuntos $N$ e $L$ , respectivamente (Potts & Oliver, 1972). |    |
| Grafos Indiretos<br>(rede não-orientada) | Em um “grafo indireto” $[N; L]$ , os elementos de $L$ são pares não ordenados de elementos de $N$ , e são denotados por $(i, j)$ ou $(j, i)$ . Nos grafos indiretos os arcos são chamados indiretos e setas não são necessárias em suas representações geométricas (Potts & Oliver, 1972).                 |  |
| Grafos Mistos                            | Quando um determinado grafo ou rede possui arcos diretos e indiretos é chamado “grafo misto” ou rede mista.  |  |

### 2.3.4. Topologia e tipologia das redes de transportes

Para compreender a visão de rede de transporte proposta neste trabalho e, em consequência, identificar as relações entre a estrutura de tal rede e o espaço envolto, torna-se necessário identificar alguns fatores relevantes, como a topologia e tipologia das redes de transportes.

### 2.3.4.1. Topologia das redes de transportes

A topologia das redes de transportes é definida de acordo com seu arranjo e a sua conectividade. Logo, cada rede do transporte tem, conseqüentemente, um tipo específico de topologia. Entre os elementos mais fundamentais de tal estrutura destacam-se a geometria da rede e o nível de conectividade da mesma (Rodrigue *et al*, 2006). A seguir serão exemplificadas algumas topologias das redes de transportes.

a) *Hub and Spoke*: Bastante usado no transporte aéreo ou na logística com o objetivo de otimizar a distribuição de cargas, o *Hub* é caracterizado por um nó central de onde são distribuídas as pessoas ou cargas ao longo da rede (Rodrigue *et al*, 2006), como exemplificado na Figura 2.5.

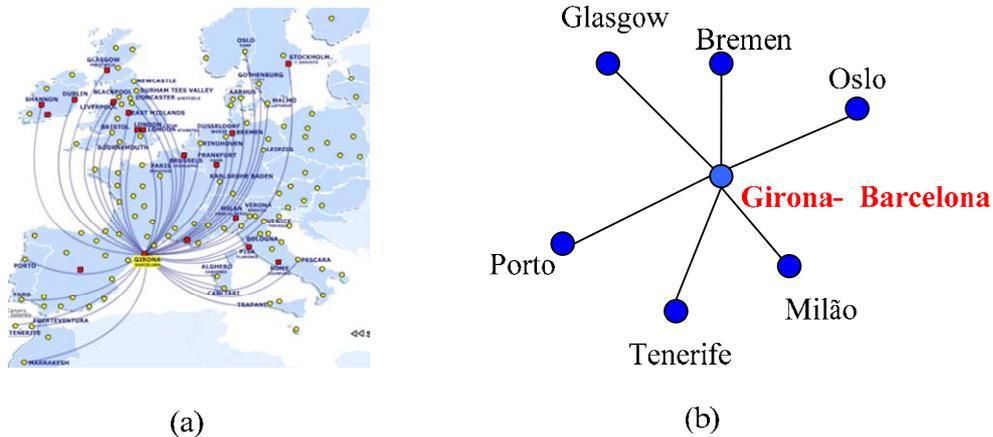


Figura 2.5- Mapa de distribuição do aeroporto de Girona na Espanha (a); Representação gráfica do Hub (b)

b) *Linear*: Utilizado na representação de linhas na qual existe um único caminho (Bell e lida, 2000), como exemplificado na Figura 2.6.

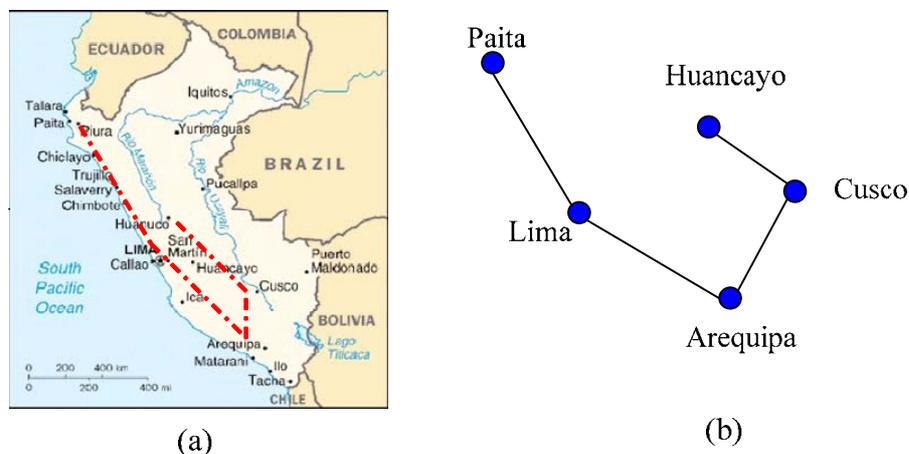


Figura 2.6 - Mapa da linha turística do Peru (a); Representação gráfica da Linha (b)

c) *Árvore*: Utilizado na representação de linhas na qual existem mais de um caminho (Bell e Lida, 2000), como exemplificado na Figura 2.7.

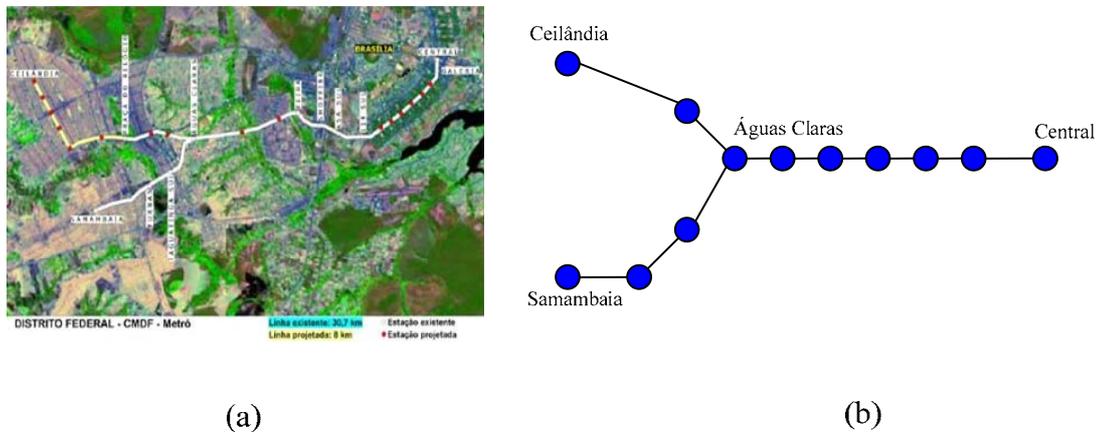


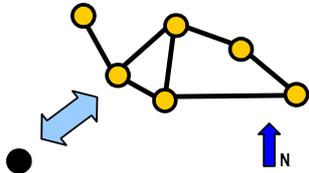
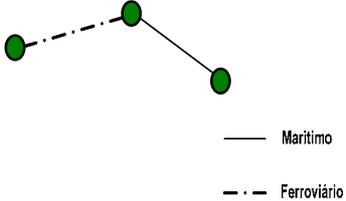
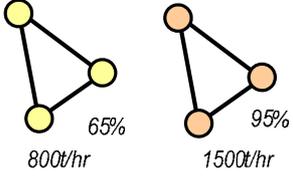
Figura 2.7- Mapa do Metrô de Brasília (a); Representação gráfica do Metrô em forma de árvore (b)

Já para Dupuy (1998) o que caracteriza a topologia de uma rede é a busca do ideal onipresente e das suas relações imediatas. Uma vez que a topologia deve assegurar a relação com o entorno, a conexão máxima direta ou múltipla acima das diferentes barreiras e limites que existem. A rede, assim, favorecerá a abertura do espaço, quer seja urbano quer seja regional, e conseqüentemente, proporcionará a descentralização. Ao fim desta pesquisa a confiabilidade da rede de transporte público urbano será calculada de acordo com a função conectiva da RTPU e das características topológicas da mesma.

### 2.3.3.2. Tipologia das redes de transportes

As redes do transporte podem ser classificadas em categorias específicas dependendo de um conjunto de atributos topológicos que as descrevem. Sendo assim, é possível estabelecer uma tipologia básica de redes do transporte divididas em três categorias principais (Rodrigue *et al*, 2006) representadas no Quadro 2.3:

Quadro 2.3 – Tipologia das redes de transportes

| Tipologia das Redes de Transportes | Definição  | Exemplo   |
|------------------------------------|--|---|
| Atributo Locacional                | Constituído pelo ajuste geográfico da rede representado pelo tamanho, forma, posição, orientação e número de arcos e nós. No exemplo pode ser observada a figura que reapresenta uma rede com tipologia relacionada ao atributo locacional, pois demonstra a posição de um elemento frente a rede.                               | <p>Posição</p>       |
| Atributo Modal                     | Constituído pelas características modais da rede quanto à sua infra-estrutura e aos veículos que nela circulam. Inclui também atributos tais como o tipo de tráfego, o volume e o sentido. O exemplo mostra uma rede com tipologia relacionada ao atributo modal uma vez que representa os diferentes modais existentes na rede. | <p>Modal</p>        |
| Atributo Estrutural                | Constituídos pelas características estruturais da rede tais como os padrões que possam existir e a dinâmica representada pela rede. No exemplo pode ser observada uma rede com tipologia relacionada ao atributo estrutural, uma vez que ele representa a capacidade da rede.  | <p>Capacidade</p>  |

### 2.3.5. Atributos da rede de transporte

Nesta seção serão apresentadas algumas medidas capazes de mensurar os principais atributos de uma rede de transporte:

- i) Conectividade - As medidas de conectividade, também chamadas medidas de coesão, permitem determinar o grau de comunicação entre vértices de um grafo;
- ii) Acessibilidade - As medidas de acessibilidade são usadas para identificar a hierarquia dos vértices de uma rede. Isto é, qual vértice proporciona mais acesso que outro;

iii) Eficiência das conexões - Esta medida relaciona o quanto as conexões da rede estão sendo eficientes para ligar os seus vértices. Cox (1972) aponta a relação entre a distância do menor caminho no grafo que liga dois vértices e a distância em linha reta entre estes dois vértices como a principal medida adotada

### 2.3.5. Estrutura Funcional da rede de transporte

Nesta seção serão apresentadas as três estruturas funcionais da rede de transporte segundo Bel e Lida (1997). Para os autores a mesma possui as seguintes estruturas funcionais:

i) Estrutura em série: Os elementos pertencentes a rede de transportes são interdependentes, isto é, se um dos elementos entrar em colapso, toda a rede também entrará (Figura 2.8.)

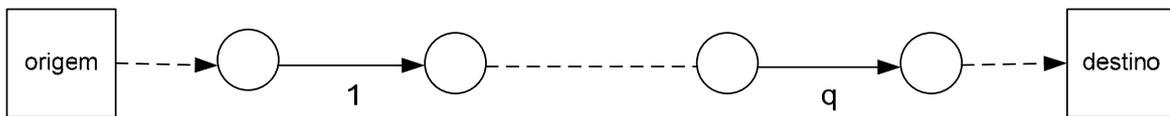


Figura 2.8. Estrutura em série da rede de transporte

ii) Estrutura em paralelo: Em todos os elementos pertencentes a rede de transporte são interdependentes, isto é, se um dos elementos entrar em colapso não significa que a rede como um todo entrará (Figura 2.9.).

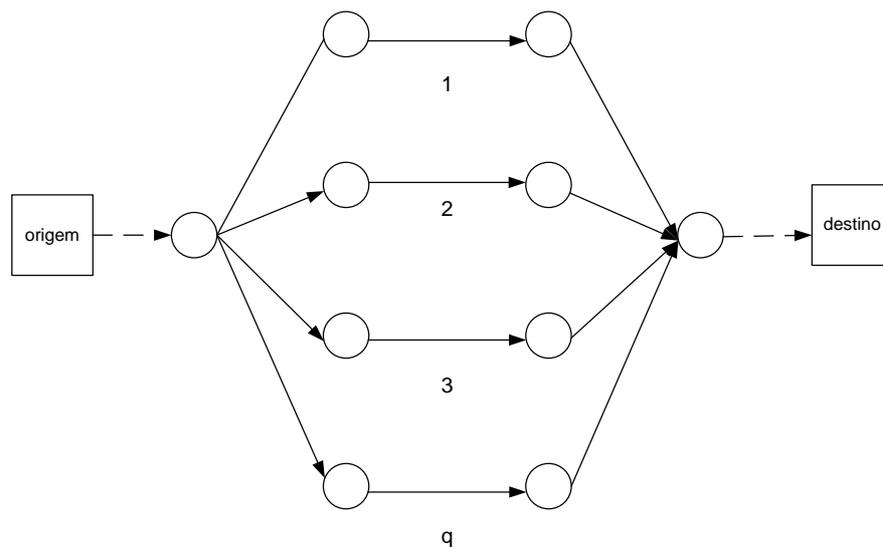


Figura 2.9. Estrutura em paralelo da rede de transporte

iii) Estrutura Mista: Os elementos estão dispostos na rede de transporte tanto na forma em paralelo quanto em série (Figura 2.10.).

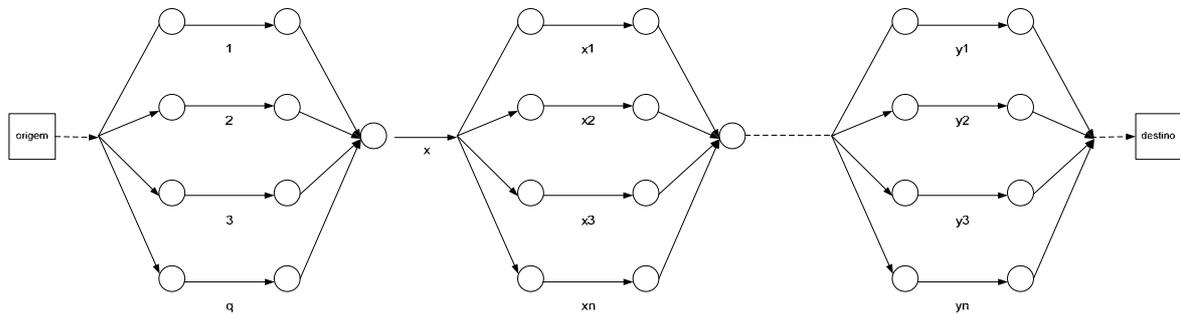


Figura 2.10. Estrutura Mista da rede de transporte

## 2.4. CONFIABILIDADE DA REDE DE TRANSPORTE

Como já apresentado nos capítulos anteriores, uma das medidas utilizadas para mensurar a reação da rede de transporte público urbano em relação ao fluxo existente e a sua função é a confiabilidade. O estudo acerca da confiabilidade da RTPU surgiu pela necessidade de planejar as redes para exercerem a sua função tanto em situações com fluxos normais quanto os oriundos de circunstâncias anormais tais como, grandes eventos (Copa do Mundo de Futebol, Olimpíadas, etc).

Existem diversas abordagens em relação a qual seja a função da RTPU. Por um lado alguns autores a tratam a partir de aspectos operacionais, por outro lado a tratam a partir da situação da mesma com o ambiente externo. A seguir serão apresentados quatro grupos de confiabilidade da RTPU em relação à função conectiva da rede a partir do atributo que está sendo analisado:

a) O primeiro grupo compreende os métodos acerca da confiabilidade da conectividade da rede de transporte (Bell e Lida, 1997), definida como a probabilidade dos nós da rede permanecerem conectados. Para cada par O/D, a rede é considerada confiável se ao menos um trajeto é operacional sendo caracterizado pelas variáveis 0 (zero) e 1 (um) que denota o estado de cada arco, se é falho ou não respectivamente.

Os estudos acerca da capacidade nos arcos não são explicados ao encontrar a confiabilidade da conectividade. Este tipo de análise da confiabilidade pode ser apropriado para situações anormais, tais como terremotos, mas existe uma deficiência inerente no sentido que permite somente dois estados: quando operar terá que fazer uso da sua

capacidade total ou em estado de falha com capacidade zero. Esta aproximação binária do estado impede a aplicação às situações diárias onde os arcos estão operando entre estes dois extremos.

b) O segundo grupo consiste em métodos da confiabilidade em relação aos tempos de viagens (Du e Nicholson, 1997; Bell et al., 1999), por meio de um procedimento baseado na análise da variação dos tempos de viagens obtidos pelas flutuações diárias da demanda (Bell *et al* 1999). A confiabilidade do tempo de viagem é obtida em função da relação dos tempos de viagens analisados sob condições normais e anormais (Asakura, 1996). Este tipo de confiabilidade pode ser usado como um critério visando definir o nível do serviço que deve ser mantido apesar da deterioração de determinadas ligações na rede. Quando a relação é próximo de 1 (um), está operando essencialmente na capacidade ideal, visto que quando aproxima de 0 (zero), o destino não é alcançado, pois determinadas ligações da rede estão severamente degradadas. Neste caso existe uma aproximação com a confiabilidade da conectividade da rede.

c) O terceiro grupo abrange os métodos relacionados com a confiabilidade da capacidade da rede de transporte. Para Chen *et al.* (2000) o problema consiste em determinar o multiplicador global máximo da matriz O/D, tais que os fluxos resultantes dos arcos quando alocados estejam dentro das capacidades dos respectivos arcos. Já em Chen *et al.* (2002), as noções da confiabilidade são examinadas no contexto das variações existentes em relação às capacidades da ligação, usando a análise da sensibilidade para estimar o impacto de uma perturbação nos fluxos no estado de equilíbrio.

d) O quarto grupo consiste nos métodos comportamentais da confiabilidade que, por meio de uma alteração no desempenho médio da rede de transporte, são presumidas as mudanças comportamentais em relação ao comportamento médio dos usuários, alterando assim sua atitude frente à variação e/ou aos riscos percebidos. A questão é então como representar, em uma estrutura de equilíbrio, o impacto desses comportamentos na escolha da rota típica utilizada, ou em outras respostas tais como a escolha do tempo de partida

Em sentido mais amplo, a confiabilidade da rede de transporte está associada à operação bem sucedida da rede, na ausência de quebras ou falhas de acordo com a função predeterminada. Isto é, a confiabilidade da rede de transporte corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente a sua função, por um determinado período

de tempo e sob condições pré-determinadas. Neste contexto, a qualidade do serviço que a rede oferece está intimamente ligada à ocorrência ou não de falhas nos elementos constituintes da rede (Bell e Cassir, 2000).

A RTPU deve, portanto, buscar potencializar a qualidade de seus serviços de maneira global garantindo um nível mínimo de qualidade de serviço que variam de acordo com os atores envolvidos, sejam eles: planejadores, gestores, usuários da rede de transporte, etc para que a sua função seja exercida (Bell e Cassir adaptado, 2000).

A literatura internacional sobre confiabilidade de redes de transportes é diversificada, onde se destacam os trabalhos elaborados por Bell e Lida (1997), no qual a confiabilidade da rede do transporte é focalizada na confiabilidade da função conectividade (denominada também confiabilidade terminal) e na confiabilidade do tempo de viagem. Já Nicholson (2003), discute a confiabilidade da rede de transporte com base na capacidade da rede e no decréscimo do fluxo na rede.

Vale lembrar que a confiabilidade da RTPU tem como interesse principal o estudo acerca da ocorrência de falhas da rede que comprometam a sua função e a previsão das mesmas. Já os impactos ou as conseqüências das falhas são o foco principal dos estudos relacionados à vulnerabilidade da rede de transporte.

#### **2.4.1. Medidas de Confiabilidade**

A confiabilidade fornece então uma medida acerca da estabilidade da qualidade do serviço, que a rede pode oferecer aos seus usuários dentro de uma determinada função. Isto deve ter implicações importantes para o planejamento, construção e gerência das redes de transporte. Existem duas maneiras para inserir a confiabilidade. Uma é a partir dos componentes da rede. Por exemplo, uma ponte poderia ser feita mais forte do que necessitaria ser. O outro é construir em um grau de redundância, por exemplo, onde bastaria ser construído um cruzamento entre um rio seriam construídos dois (Bell e Cassir, 2000).

No Quadro 3.1 serão apresentados dois estudos acerca da confiabilidade na rede de transporte.

Quadro 2.4 - Exemplos de trabalhos acerca da confiabilidade da rede de transporte

| Autor (es)              | Temática/ Função da rede/<br>Atributo da rede/ Variáveis  | Formulação   |
|-------------------------|---|--|
| Wong e Bell (2006)      | <p>Temática: Qualidade do Serviço de Táxi</p> <p>Função da rede: Conectividade</p> <p>Atributo: Eficácia da rede</p> <p>Variáveis: demanda; tempo de viagem; nível de ocupação dos táxis.</p>   | $Z = \sum_{a \in A} \int_0^{v_a} t_a(\omega) d\omega + \frac{1}{\theta} \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} T_{ji}^v (\ln T_{ji}^v - 1) - \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \int_0^{T_{ij}^o} D_{ij}^{-1}(\omega) d\omega \quad (3.1)$ <p>Onde:</p> <p><math>I ; J</math> - o conjunto de usuários das zonas de origem e destino, respectivamente;</p> <p><math>O_i</math> e <math>D_j</math> - o total da demanda de usuários com a zona de origem e com zona de destino</p> <p><math>t_a(v_a)</math> - o tempo de viagem no arco <math>a \in A</math>.</p> <p><math>N</math> - o número de táxi operando na rede,</p> <p><math>T_{ji}^o</math> - ocupação dos táxis em movimento (veh/h) da zona <math>i</math> para a zona <math>j</math>.</p> <p><math>T_{ji}^v</math> - vacância dos táxis em movimento (veh/h) da zona <math>j</math> para zona <math>i</math>,</p> <p><math>\omega_i, i \in I</math> - o tempo de espera do táxi na zona <math>i</math></p> |
| Nicholson e Kong (2006) | <p>Temática: Análise do efeito do congestionamento na confiabilidade do serviço de ônibus.</p> <p>Função da rede: Conectividade</p> <p>Atributo: Eficácia da rede</p> <p>Variáveis: tempo de viagem; taxa de renovação do veículo; atraso do primeiro ônibus.</p> | $t_{mm} = (m + nk)\tau + nT + \alpha \frac{(n + m - 2)!}{(n - 1)!(m - 1)!} \left[ \frac{1}{1 - k} \right]^{n-1} \left[ \frac{k}{k - 1} \right]^{m-1} \quad (3.2)$ <p>Onde:</p> <p><math>T</math> - tempo de viagem do ônibus entre as sucessivas paradas;</p> <p><math>k</math> - a relação da taxa de embarque dos passageiros à taxa de carregamento do ônibus (<math>0 \leq k \leq 1</math>);</p> <p><math>t</math> - o <i>headway</i> programado entre os ônibus;</p> <p><math>\alpha</math> - o atraso do primeiro ônibus na primeira parada (<math>\alpha \geq 0</math>).</p>  |

Percebe-se que tanto nos trabalhos de Wong e Bell (2006) como no de Nicholson e Kong (2006) a qualidade do serviço está ligada com o tempo de viagem. No primeiro o estudo é acerca da qualidade do serviço de táxi na qual as variáveis são relacionadas com a demanda no par origem-destino, o tempo de viagem nos arcos, o número de táxi na rede, o

número de táxis ocupados, o número de vacância e o tempo de espera do táxi. Já no trabalho de Nicholson e Kong é feita à análise do efeito do congestionamento na confiabilidade do serviço de ônibus para isso utilizaram-se as seguintes variáveis: o tempo de viagem do ônibus entre as sucessivas paradas; a relação entre a taxa de embarque e a taxa de carregamento do ônibus, o *headway* programado entre os ônibus e o atraso do primeiro ônibus na primeira parada.

Tanto no primeiro quanto no segundo estudo a função da rede analisada é a conectiva (ou terminal) e por se tratar de uma análise acerca da qualidade de serviço o principal atributo analisado foi referente a eficácia da rede. Entretanto um fator difere os dois estudo: no primeiro a confiabilidade é estudada através da análise endógena da operação, já o segundo análise o efeito de um evento exógeno, no caso o congestionamento, na qualidade do serviço.

## **2.5. VULNERABILIDADE DA REDE DE TRANSPORTE**

Uma ferramenta de análise que muito se aproxima do estudo acerca da confiabilidade da rede é o estudo da vulnerabilidade da mesma. Segundo Husdal (2004) existe pouca pesquisa dirigida explicitamente à vulnerabilidade da rede de transporte. Não existe uma definição padrão para o termo nem de uma base teórica para construí-lo. D'Este e Taylor (2003) sugeriram que o melhor ponto para começar a investigação sobre o termo é provavelmente o corpo teórico existente na pesquisa sobre confiabilidade da rede de transporte e nos estudos sobre avaliação de risco, principalmente referente à conectividade ou a acessibilidade da rede.

Existem muitos estudos diagnosticando as fraquezas da rede de transporte, contemplando avaliações do risco, e assim formulando a melhor resposta, tal como reduzir o potencial de degradação da rede em um dado incidente, reduzindo assim sua probabilidade de acontecer ou as suas conseqüências se o incidente ocorrer.

Uma definição utilizada considera a vulnerabilidade da conexão entre uma origem e um destino particular; ou o acesso de uma posição particular a outras partes da rede; ou à rede como um todo. A presente definição leva ao seguinte conceito: um nó de rede é vulnerável se a perda (ou a degradação substancial) de um número pequeno das ligações diminuir significativamente a acessibilidade do nó, medido por um índice padrão de acessibilidade. Conseqüentemente a vulnerabilidade pode ser definida nos termos da quantidade total do

acesso de um dado nó a outras partes da rede (D'Este e Taylor, 2003). Uma segunda definição refere-se nos termos da conectividade da rede e no custo generalizado do percurso. Porém a definição acima é mais abrangente, porque o custo pode ser usado como uma medida de dificuldade do acesso.

Berdica (2002) forneceu um modelo conceitual para os estudos da vulnerabilidade relacionado com desempenho da segurança das estradas. Este modelo fornece uma base útil para uma aproximação de sistemas globais à análise da vulnerabilidade para redes de transporte. Assim a vulnerabilidade deve ser identificada e avaliada com base nas variações no desempenho dos elementos (arcos e nós) pertencentes à rede de transporte que podem experimentar variações em seu desempenho.

Como já relatado anteriormente a vulnerabilidade pode ser entendida, a partir de três componentes: (1) a existência de um evento potencialmente adverso, representado pelos fatores de risco que podem ser endógenos ou exógenos que podem afetar a função da rede; (2) capacidade de responder à situação, seja por causa da eficiência de suas defesas, seja pela existência de recursos que lhe dêem suporte; (3) habilidade de se adaptar à situação gerada pela materialização do risco (Cepal, 2002). Por isso pode-se definir a vulnerabilidade pela equação 3.4:

$$V = f(\rho, \beta, \alpha) \quad (3.3)$$

Onde:

$V$  = Vulnerabilidade da Rede de transporte;

$\rho$  = Risco de falha;

$\beta$  = Capacidade de resposta;

$\alpha$  = Habilidade de adaptação.

Essas etapas colocam a dinâmica em três momentos distintos: (1) há um evento potencial que poderá causar dano; (2) diante desse risco, as pessoas procuram os meios de se protegerem e percebem que são incapazes de fazer isso, porque não há recursos ou meios para defendê-las; (3) quando o evento ocorre, ou materializa-se, as pessoas enfrentam o perigo e sofrem pela falta de habilidade para adaptar-se a ele, sofrendo danos e perdas.

A Capacidade de Resposta da rede pode ser entendida como a forma na qual o objeto vai se comportar perante a um fenômeno. Ela pode ser expressa pela seguinte equação:

$$\beta = (P_d; \rho) \quad (3.4)$$

Onde:

$\beta$  = Capacidade de resposta da rede;

$P_d$  = probabilidade de defesa;

$\rho$  = Risco.

A Habilidade de adaptação da rede de transporte é formada em função da sua capacidade de absorção em relação ao risco  $\rho$ . Pode ser expressa pela seguinte expressão:

$$\alpha = f(\rho; C_a) \quad (3.5)$$

Onde:

$\alpha$  = Habilidade de adaptação

$\rho$  = Risco

$C_a$  = Resiliência e capacidade de absorção

A resiliência é a capacidade de um objetivo a retornar ao seu estado original após receber uma ação. E a capacidade de absorção é entendida pela quantidade da ação exercida pelo fenômeno que o objeto consegue absorver.

Já o risco é, uma fração matemática expressa por um índice, que varia de 0,0 (impossibilidade de ocorrência) a 1,0 (absoluta certeza de ocorrência). Geralmente o risco é determinado pela série histórica no qual o fenômeno ocorreu (Husdal, 2004).

Como já foi dito no item a respeito da confiabilidade, a análise da vulnerabilidade para a rede de transporte é importante, uma vez que com ela podem-se prever quais são as vias que correm mais risco de ocorrência de falhas.

### 2.5.1. Medidas de Vulnerabilidade

O estudo da vulnerabilidade é importante uma vez que ela aponta as variações e indicam o desempenho fora de um estado aceitável e quais são os riscos associados com o estado inaceitável. Este diagnóstico pode ser aplicada em vários níveis do planejamento. Essa pesquisa procura os métodos baseados nesta aproximação a análise sistêmica da rede de transporte, incluindo as ferramentas analíticas que ajudarão a identificar a vulnerabilidade da rede de transporte.

O método considera a avaliação da vulnerabilidade nos termos dos sistemas que planejam o processo em que o desempenho dos componentes da rede é testado de encontro aos critérios estabelecidos do desempenho. Os riscos e as conseqüências associados com as falhas em posições diferentes necessitam ser explicadas. As medidas apropriadas para interpretar a extensão e a conseqüência da falha ou da degradação de rede são necessárias.

No quadro 3.2 serão apresentados alguns estudos acerca do estudo da vulnerabilidade da rede de transporte.

Quadro 3.2 – Exemplos de estudos acerca da vulnerabilidade da rede de transporte

| Autor (es)                | Estudo  | Formulação   |
|---------------------------|---|--|
| Berdica e Eliasson (2006) | Análise da Acessibilidade Regional sob a perspectiva da Vulnerabilidade                                 | $\Omega_i = \theta t_i^{-0} + c_i^{-0} + T_i^{-0}$ <p>(3.6)</p> <p>Onde:<br/> <math>\Omega_i</math> - Acessibilidade da área i;<br/> <math>t_i</math> - tempo de viagem;<br/> <math>c_i</math> - custo da viagem;<br/> <math>T_i</math> - viagem suprimida comparada com a área de referência.</p> |
| Taylor e D'Este (2006)    | Infra-estrutura Crítica e Vulnerabilidade da rede de transporte: Um método para diagnóstico e avaliação | $V_{ijrs} = s[ij, G(N,E)] - s[ij, G(N,E - e_{rs})]$ <p>(3.7)</p> <p>Onde:<br/> <math>V_{ijrs}</math> – medida local acerca das conseqüências da falha do arco <math>e_{rs}</math>.<br/> <math>G(N,E)</math> – Grafo constituindo de <math>N</math> nós e <math>E</math> arcos</p>                  |

No quadro 3.2 acima percebe-se que no trabalho de Bernica e Eliasson (2006) a vulnerabilidade está relacionada com a acessibilidade da área de estudo em relação aos custos, o tempo de viagem e as viagens reprimidas comparada com a área de referência. Já no trabalho de Taylor e D'Este (2006) a vulnerabilidade é estudada em relação das consequências da ruptura de um arco.

## **2.6. VULNERABILIDADE X CONFIABILIDADE DA REDE DE TRANSPORTE**

D'Este e Taylor (2003) apontam que a vulnerabilidade e a confiabilidade são dois conceitos relacionados, mas enfatizam que a vulnerabilidade da rede se relaciona às fraquezas da rede e às consequências econômicas e sociais da falha de rede, não a probabilidade da falha. A vulnerabilidade é então, a incapacidade de fornecer o serviço adequado e é determinado por um conjunto de medidas de desempenho. Por exemplo, D'Este e Taylor (2003) relacionam a vulnerabilidade ao grau de acessibilidade de um nó dado na rede, onde a acessibilidade é expressa pelo custo necessário para alcançar o nó particular.

A probabilidade de a rede estar disponível, acessível e de expressar o nível desejado do serviço pode ser usada como uma medida da confiabilidade. Inversamente, a susceptibilidade da rede não estar disponível, acessível e não expressar o nível desejado do serviço pode ser interpretado como uma medida da vulnerabilidade, como definido por Berdica (2002). A noção da vulnerabilidade implica que algo falhe, através da influência de circunstâncias externas, essas circunstâncias podem não ser previstas. Como a confiabilidade e a vulnerabilidade são dois conceitos diferentes, uma medida da confiabilidade não traduz em uma medida da vulnerabilidade. Vulnerável não pode significar que não confiável e confiável não pode significar não-vulnerável.

A diminuição da vulnerabilidade da rede de transporte pode ser diferente da melhoria da confiabilidade da rede do transporte. Por isso não pode haver nenhum relacionamento linear ou recíproco. Entretanto, se associar confiança como ser operável, e associar vulnerável como ser não operável tem-se então a justaposição da confiabilidade com a vulnerabilidade. A confiabilidade, neste sentido, significa exibir um grau elevado de operabilidade sob todas as circunstâncias; e a vulnerabilidade significa exibir um grau baixo de operabilidade sob determinadas circunstâncias (Husdal, 2004).

Na Figura 3.1 tem-se que a confiabilidade é obtida através da integração entre a rede de transporte e o fluxo (por exemplo: se uma viagem entre os nós  $i$  e  $j$  durante o horário de

pico pode ser feito com um tempo igual ou menor a  $T$ ). Já a vulnerabilidade está relacionada com a interação da rede com o ambiente no qual ele se insere (por exemplo: qual a probabilidade do não funcionamento do arco  $a$  devido a uma enchente na via) e a interação do fluxo com o ambiente (por exemplo: aumento no número de acidente no arco  $a$  devido a uma nevasca). Quando existe a interação entre os três elementos é a situação onde a confiabilidade e a vulnerabilidade da rede de transporte se confundem.

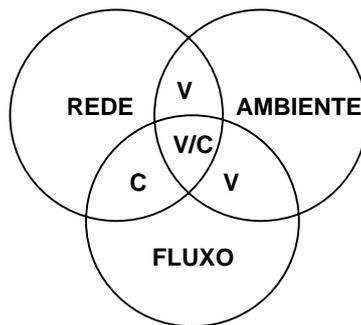


Figura 2.11. Relação entre a Confiabilidade (c) e Vulnerabilidade (v) da Rede de transporte

Outro fator referente à análise da confiabilidade e da vulnerabilidade é a análise do custo e benefício das medidas mitigadoras, pois segundo Bentham (1970) ao se analisar uma ação deve-se considerar os benefícios e os malefícios resultantes dela, em relação a sua intensidade, duração, certeza, e extensão, que compreende o número das pessoas afetadas. Isto quer dizer que se os benefícios totais à sociedade de toda a ação ou decisão compensarem os custos totais à sociedade, então a ação ou a decisão é justificada, ou ao menos economicamente sadio. (Husdal,2004)

As medidas mitigadoras que tem como objetivo estabilizar ou reduzir a vulnerabilidade da rede de transporte fazem com que a confiabilidade seja aumentada representando assim um benefício que pode ser quantificado. Esta relação expressa na Figura 3.2, ilustra o relacionamento entre a vulnerabilidade e a confiabilidade frente às medidas mitigadoras. Os custos das medidas mitigadoras assim como a confiabilidade aumentam da esquerda para a direita (linha pontilhada), já os custos oriundos de possíveis falhas em conjunto com a vulnerabilidade aumenta da direita para esquerda (linha cheia).

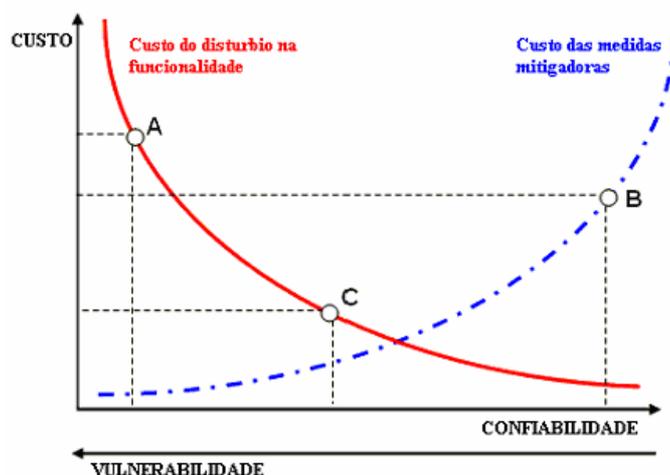


Figura 2.12. Vulnerabilidade/Confiabilidade x Custo/Benefícios (Husdal, 2004)

De um ponto de vista econômico, o custo para aumentar a confiabilidade não deve exceder o custo gerado pela vulnerabilidade. Entretanto quantificar os custos das medidas mitigadoras é mais tranquilo e direto do que os custos oriundos da vulnerabilidade. Uma vez que a vulnerabilidade é uma probabilidade e não uma certeza. Conseqüentemente, um investimento proposto pode não estar sendo avaliado corretamente, se os custos provocados pela vulnerabilidade não forem explicados corretamente.

## 2.7. TÓPICOS CONCLUSIVOS

As redes de uma forma geral podem ser definidas como um conjunto de partes que se interagem de modo a atingir um determinado objetivo, de acordo com um planejamento ou princípio.

Os sistemas de transportes são compostos pelo relacionamento entre a demanda, as localidades (nós) que geram os deslocamentos e as redes que suportam os deslocamentos.

Os sistemas de transportes estão evoluindo dentro de um relacionamento entre a oferta de transporte, principalmente a capacidade operacional da rede e a demanda do transporte, provenientes das exigências da mobilidade de uma localidade.

A rede de transporte por ser o elemento do sistema de transportes responsável por suportar os deslocamentos, possui um papel de destaque dentro do sistema.

Uma Rede Básica de Transporte é definida como um conjunto de nós (ou vértices) e as ligações (ou arcos) onde as atividades do transporte são realizadas.

As redes de transportes não são um fim em si próprias. Elas têm como função principal dar apoio as outras atividades de maneira a atender as demandas de deslocamento de modo eficiente e eficaz. Estas redes de transportes são vitais para o funcionamento da sociedade.

Em sua organização, as redes de transportes têm três importantes atributos que merecem destaque: a) conectividade (ligar cada lugar aos outros); b) acessibilidade (proximidade com os outros lugares); e, c) eficiência (o quanto conexão se aproxima do melhor serviço possível). Principalmente nestes atributos é que elas são avaliadas. Mesmo que todos os lugares estejam ligados por conexões, alguns destes pontos podem estar em condições desiguais posto que os serviços de transportes que lhes são ofertados podem ser inferiores aos oferecidos a outros lugares.

A rede de transporte pode ser dividida de acordo com sua estrutura funcional em: Série onde o grau de interdependência dos elementos constituintes é altíssimo acarretando na situação que se qualquer elemento entrar em colapso a RT como todo também entrará; Paralelo no qual a interdependência ocorre somente entre alguns grupos de elementos; E Misto que possui algumas características relacionadas a estrutura em série quanto a estrutura em paralelo.

As medidas de confiabilidade são usadas a fim de avaliar a estabilidade da qualidade do serviço oferecido. A confiabilidade da RTPU é entendida como à sua probabilidade de desempenhar adequadamente a sua função, por um determinado período de tempo e sob condições pré-determinadas.

A vulnerabilidade pode ser entendida a partir de três componentes: (1) a existência de um evento potencialmente adverso, representado pelos fatores de risco que podem ser endógenos ou exógenos que podem afetar a função da rede; (2) capacidade de responder à situação, seja por causa da eficiência de suas defesas, seja pela existência de recursos que lhe dêem suporte; (3) habilidade de se adaptar à situação gerada pela materialização do risco.

O estudo acerca da confiabilidade e da vulnerabilidade da rede de transporte é importante uma vez que através dela obtém-se um diagnóstico em relação da situação da rede frente ao fluxo (confiabilidade) e frente ao espaço (vulnerabilidade).

Vulnerável não significa diretamente que não é confiável e confiável não pode significar diretamente não-vulnerável. Entretanto, se associar confiança como ser operável, e associar vulnerável como ser não operável é autorizado então a justaposição da confiabilidade com a vulnerabilidade.

### 3. CONFIABILIDADE DA REDE DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO

#### 3.1. APRESENTAÇÃO

Como no Capítulo 1, a rede de transporte público urbano é o principal meio de circulação das pessoas nos países em desenvolvimento. Entretanto, percebe-se um declínio progressivo do número de usuários. A transferência de usuários do transporte público urbano para o individual não só compromete a viabilidade do serviço público como também implica numa utilização ineficiente do espaço viário (Vasconcellos, 2002). Esses fatores externos compõem ameaças à qualidade do serviço e requerem medidas para torná-la mais atrativa. Com isso, técnicas que permitem compreender a confiabilidade e vulnerabilidade da RTPU tornam-se necessárias.

A RTPU, de acordo com a Figura 3.1, é formada por quatro elementos básicos: as vias (arcos), pontos de embarque e desembarque (nós), a tecnologia veicular e a fricção (impedância) entre esses elementos.

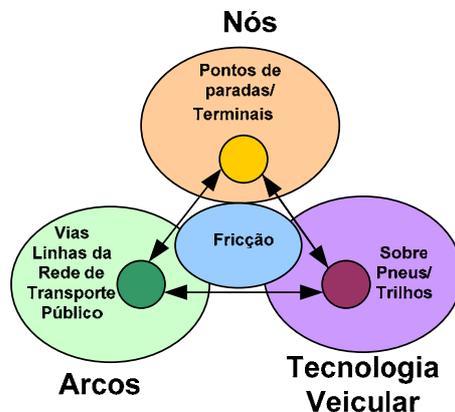


Figura 3.1 – Elementos constituintes da Rede de Transporte Público Urbano

Este capítulo apresenta características importantes das redes de transporte público urbano, voltando-se prioritariamente para aspectos de estudos acerca confiabilidade da rede de transporte. A segunda seção deste capítulo apresenta os elementos constituintes da rede de transporte público urbano. A terceira seção explora suas características das redes de transportes público urbano, e a quarta disserta a respeito de sua confiabilidade e vulnerabilidade. A quinta e última seção traz as conclusões a respeito capítulo.

## 3.2. ELEMENTOS CONSTITUINTES DA REDE DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO

### 3.2.1. Arcos da rede de transporte público urbano

Os arcos em uma rede de transporte público urbano são as vias que, por sua vez, são os componentes da estrutura urbana onde ocorre a circulação de pessoas e de cargas. É um espaço público que compreende calçadas ou passeios e pista de rolamento de veículos (NTU, 2004). Existem quatro formas de ocupação das vias: vias de fluxo misto, vias com faixas exclusivas; vias com pistas exclusivas e vias exclusivas, como apresentado no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Tipos de via

| <b>Tipo de Via</b>  | <b>Definição</b>  |
|---------------------|---|
| Vias de fluxo misto | São vias comuns que não apresentam um tratamento específico para o transporte público urbano, de tal forma que compartilha a mesma infra-estrutura com outros modos de transporte (automóveis, caminhões, motocicletas, etc.).  |
| Faixa Exclusiva     | São faixas de vias públicas destinadas, exclusivamente, à circulação dos veículos de transporte público, separadas do tráfego geral por meio de pintura delimitadora e/ou tachões fixados no pavimento. Esses dispositivos de separação não segregam totalmente a faixa em relação ao fluxo de tráfego geral, que podem ser temporariamente compartilhadas com outros veículos para o acesso a propriedades lindeiras, movimentos de conversão permitidos, etc. |
| Pista Exclusiva     | São pistas exclusivas para a circulação dos veículos de transporte público que operam de forma segregada, dispondo de delimitação física (barreiras, canteiros, etc.), que as separa do tráfego geral.  |
| Vias Exclusivas     | Vias totalmente segregadas por onde trafegam apenas veículos do transporte público, sem sofrer interferências longitudinais ou transversais de qualquer tipo. Não há cruzamentos em nível.  |

Na maior parte das cidades brasileiras as redes de transporte público urbano utilizam vias de fluxo misto. Na operação em via de fluxo misto não existe um tratamento específico para o transporte público urbano, que compartilha a mesma infra-estrutura utilizada pelas

outras modalidades (automóveis, caminhões, motocicletas, etc.). Outra forma difundida são as vias destinadas ao transporte metro-ferroviário. São vias exclusivas, dotadas de trilhos e demais equipamentos para operação desta tecnologia.

As vias que proporcionam ao transporte público urbano condições de operação totalmente separadas do tráfego em geral, sem interferências longitudinais ou transversais, são as que oferecem as melhores condições de um desempenho operacional eficiente. Entretanto, os investimentos necessários para atingir essa configuração podem ser muito elevados, como no caso dos metrô.

A relação entre a característica da via e a rede está associada à eficiência da rede de transporte público urbano. A eficiência pode ser representada pelo aumento da confiabilidade, redução dos custos totais, maior regularidade e pontualidade do serviço e à diminuição do tempo de deslocamento (Bell e Lida 1997).

Já a operação dos ônibus em tráfego misto exige investimentos bem menores, mas o seu desempenho é prejudicado pelas interferências, que, além de reduzirem a velocidade do transporte público, ainda provocam desconforto e insegurança.

Para cada situação específica, a questão está em determinar o tratamento que proporciona a menor relação entre o investimento, confiabilidade e vulnerabilidade da rede de transporte público urbano, em termos de capacidade, acessibilidade, mobilidade, etc. Os principais objetivos para se tratar uma via para circulação são: reduzir tempo de viagem, racionalizar serviço, melhorar o serviço prestado, garantir a prioridade para o transporte público em vias congestionadas (NTU, 2004).

Nos corredores com baixos volumes de tráfego geral ou de transporte público a operação em tráfego misto pode ser a solução adequada por exigir menor investimento de infraestrutura e, principalmente, por não apresentar grande potencial de benefício obtido com a segregação. Essa questão, no entanto, deve ser mais bem considerada, pois, ainda é comum a falta de tratamento em corredores de transporte público das cidades brasileiras, mesmo quando os carregamentos são elevados e a relação volume/ capacidade está próxima de seu limite máximo.

Nesses casos, o potencial benefício justifica quase diretamente o custo com medidas de priorização. A relação custo benefício deve ser, entretanto, avaliada e seu equilíbrio se dá

na relação entre investimento necessário (crescente com o nível de segregação) e benefício esperado (em função do potencial de ganho que será maior em situações mais saturadas).

De forma análoga, o emprego inadequado de medidas de segregação também pode se constituir em fontes de ineficiências. As soluções que adotam um elevado nível de segregação devem considerar e computar as externalidades negativas, como por exemplo: degradação ambiental, aumento de risco de acidentes, segregação urbana por diminuição da acessibilidade local, etc.

### **3.2.2. Nós da rede de transporte público urbano**

Os nós da rede de transporte público urbano são os pontos nos quais o usuário utiliza para embarque, desembarque ou conexões. Eles podem ser divididos em: pontos de embarque e desembarque, e terminais.

#### *3.2.2.1. Pontos de embarque e desembarque*

Os pontos de embarque e desembarque ou pontos de parada são os locais determinados para que as pessoas acessem a rede de transporte, realizem transferência entre serviços ou modos e desembarquem próximo ao seu destino.

A implantação de pontos de parada afeta diretamente a eficiência da rede de transporte e requer os seguintes cuidados: evitar colocá-los imediatamente após um cruzamento com elevado volume de tráfego, em posição inadequada em relação a semáforos, em locais de rampas acentuadas ou junto a entradas de veículos; evitar colocá-los em pistas de alta velocidade; construir baias nas paradas dos ônibus, onde for necessário, para permitir a ultrapassagem; construir cabos, onde for possível, nas paradas de ônibus para permitir maior rapidez nas operações de embarque e desembarque; oferecer cobertura para proteção do usuário e iluminar a calçada; dimensionar o ponto de parada para o volume máximo de demanda prevista; dotar o ponto de informações sobre as linhas de ônibus que passam no local (NTU, 2004).

Pontos em que há ordenamento de fila de passageiros na espera, por linha, normalmente no pico da tarde, tornam as operações de embarque mais rápidas e as redes mais eficientes. Os pontos de parada são equipamentos de grande importância para a operação e imagem de um serviço de transporte público. É neles que o usuário estabelece o primeiro contato com

a rede de transporte, e seu espaçamento determinará o desempenho operacional das linhas e influenciará nos custos da operação (NTU, 2004).

A forma mais comum de operação é a parada de veículos de todas as linhas que passam pelo local, com o estacionamento de uma cada vez. Quando o fluxo é mais elevado, esse tipo de operação pode provocar congestionamento nos pontos de parada, já que sua capacidade é limitada. Nessa situação, outras formas de operação podem ser utilizadas. Uma delas é a parada seletiva, em que as linhas são divididas em grupos com seus veículos parando em locais previamente selecionados (NTU, 2004).

Outra alternativa é permitir a parada de dois ou mais veículos simultaneamente, ampliando o comprimento das plataformas dos pontos de parada. Também é possível utilizar ao mesmo tempo as duas alternativas acima. No caso de um volume de ônibus muito elevado, a solução é utilizar comboios de veículos ordenados conforme o destino, a fim de evitar tumultos e atrasos nas operações de embarque e desembarque.

#### *3.2.2.2 Terminais*

Terminal pode ser definido como qualquer lugar de embarque e desembarque de passageiros, sendo local de origem ou destino de viagem. Exigem infra-estrutura suficiente e instalações específicas para acomodar o fluxo de tráfego que lhes é exigido e controlado (NTU, 2004).

Nos sistemas integrados, os terminais são os principais elementos estruturadores da rede de transporte, com grande afluência de pessoas e de veículos. Em uma rede de transporte, o terminal, é o espaço onde as pessoas fazem trocas entre modos de transporte e entre veículos do mesmo modo, sendo um local privilegiado de informação sobre a rede. Quando há mais de um modo envolvido, diz-se tratar de um terminal intermodal, como ocorre, por exemplo, na integração entre ônibus e metrô. Alguns terminais permitem a troca apenas entre veículos de um mesmo modo, por exemplo: ônibus de linha alimentadora com ônibus de linhas troncal (NTU, 2004).

Porém, em um conceito mais amplo de modos de transporte que contempla inclusive o modo a pé, percebe-se que todos os terminais são intermodais, pois permitem, pelo menos a troca entre o modo veicular com o modo a pé. Essa compreensão, apesar de óbvia, foi desconsiderada por muitos terminais implantados no Brasil que não criam facilidades ao

acesso de pessoas que moram ou tenham alguma atividade próxima ao terminal. Dentro desse conceito, todo terminal apresenta integração física.

Em termos de localização, os terminais de integração podem ser classificados em: terminais centrais: localizados na região central das cidades; terminais periféricos localizados fora da região central. Os terminais centrais costumam ser equipamentos de grandes dimensões, recebendo veículos das linhas troncais e um número elevado de passageiros (NTU, 2004).

Os terminais de integração, tanto os centrais quanto os periféricos, costumam estar situados em locais atraentes para atividades comerciais e de serviços devido à concentração de um elevado número de pessoas.

### **3.2.3 Tecnologia Veicular**

Os veículos são o equipamento da rede de transporte utilizado para realizar o deslocamento das pessoas entre dois pontos da cidade. A operação de uma rede de transporte público urbano é realizada por veículos de vários tipos e com características variadas.

A adequada escolha do tipo de veículo para cada ligação de uma rede de transporte influi diretamente em sua eficiência e, muitas vezes, em sua eficácia. Dependendo da quantidade e das características dos usuários a serem transportadas em uma determinada ligação e das condições do sistema viário, deve ser escolhido o melhor tipo de veículo, considerando seu tamanho e suas características operacionais.

As relações envolvidas nessa decisão são: relação entre investimento e capacidade: é uma relação direta, pois quanto maior o veículo, maior o valor do investimento necessário. No entanto, há que se considerar o custo de investimento por passageiro transportado, pois, em determinadas situações, a utilização de veículos maiores pode representar uma economia em relação a veículos de menor porte (NTU, 2004).

## **3.3. CARACTERÍSTICAS DAS REDES DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO**

As redes de transporte público urbano têm algumas especificidades fazendo com que haja diferenças significativas entre a escolha de rotas nestas e em relação as redes de transporte individual (malhas viárias). Vale lembrar que, inicialmente, as redes de transporte público

urbano requerem a representação de arcos (*links*) de caminhadas entre as origens e destinos finais, até os respectivos pontos de paradas (Batista Filho, 2002).

Da mesma forma, torna-se necessária à representação dos arcos (*links*) de espera, pois, na rede de transporte público existe um tempo de espera pelo veículo, enquanto no transporte individual este está disponível de imediato, fazendo com que os arcos da primeira sejam atendidos periodicamente, enquanto que os da segunda são atendidos instantaneamente (Batista Filho, 2002).

Como os tempos de espera são geralmente aleatórios, uma vez que as chegadas dos passageiros bem como dos veículos também o são, decorre que a viagem no transporte público tem um tempo aleatório, dificultando, portanto, o processo de escolha de rotas do transporte público. Havendo transferência de veículo durante a viagem, há necessidade de se representar também o tempo decorrente deste transbordo.

A necessidade do acréscimo de arcos e nós nas redes de transporte público fez surgir, o conceito de rede aumentada. No intuito de procurar simplificar a representação das redes de transporte público, alguns modelos procuram representá-las baseadas em redes transformadas a partir de uma rede viária (Aragón e Leal, 1999).

Já em relação ao custo monetário associado à viagem, Aragón e Leal (1999) também ressaltam as diferenças entre os custos associados às redes de transporte individual e às do coletivo. Nas primeiras, os custos são geralmente relacionados ao consumo de combustível; enquanto no transporte público, por ter de efetuar o pagamento da passagem a cada viagem que inclui outras parcelas do custo como os relativos a depreciação e remuneração do capital e não só o combustível.

Outra dificuldade associada à alocação de viagens no transporte público trata-se do problema das linhas comuns, que surge quando, para atender ao deslocamento entre um par O/D, se dispõe de mais de uma rota, ficando a cargo do usuário a escolha da que lhe é mais conveniente. Para solucionar este problema, vários trabalhos que tratam da escolha de rotas em transporte público têm recorrido ao conceito de estratégia, que consiste no conjunto de regras que definem a rota aleatória escolhida (Aragón e Leal, 1999).

Já Spiess e Florian (1989) utilizam o mecanismo de estratégia ótima para escolha de rotas, no qual o usuário embarca no primeiro veículo de uma linha atrativa para o par O/D,

descendo em um determinado nó; se este ainda não é seu destino, repete o mesmo processo anterior. O tempo de espera é assumido como a metade do intervalo, com as frequências das linhas atrativas sendo combinadas linearmente.

### **3.4. CONFIABILIDADE DA REDE DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO**

A confiabilidade da rede de transporte pública urbano tem sido considerada como um fator importante que afeta a atratividade do sistema de transportes (Nicholson e Kong, 2000), e várias medidas da engenharia (pistas exclusiva para o transporte público, prioridade semafórica) e as medidas operacionais são executadas para auxiliar na melhoria do serviço prestado pela rede de transporte público urbano.

No estudo de Chapman (1976 *apud* Nicholson e Kong (2000) foram identificados alguns índices potenciais para a mensuração da confiabilidade da RTPU, como segue:

a) índices do interesse dos operadores; relação da distância real em relação à distância programada, diferença entre o tempo total real das viagens e o tempo programado, relação do *headway* real médio ao *headway* programado;

b) índices do interesse dos usuários; tempo de espera médio, variações cotidianas na programação dos veículos, probabilidade de terminar a viagem dentro do tempo especificado, proporção dos usuários que consideram o serviço não-confiável, percepção do usuário;

c) índices do interesse do analista da rede de transportar; desvio padrão dos *headways* em um dia útil, soma dos desvios da programação, proporção entre as chegadas adiantadas ou atrasadas, variação média dos *headways*, gráfico de marcha. Chapman (1976) notou que uma melhoria em alguns índices (por exemplo, à relação de real à quilometragem programada) não significa uma melhoria na confiabilidade para usuários.

Kurauchi *et al* (2006) apresenta a confiabilidade da rede de transporte público urbano em relação à capacidade da rede e a sua conectividade. O autor propõe um método para avaliar a confiabilidade da rede do transporte público urbano pelo conceito da confiabilidade da conectividade da rede. A confiabilidade da conectividade é definida como a probabilidade de chegar ao destino sem fazer transbordos em todas as estações.

Yang *et al.* (2000) apresenta a confiabilidade da rede de transporte público urbano em relação as principais funções da rede no ponto de vista do usuário do Sistema de Transporte Público:

- a) acessibilidade: o usuário tem a expectativa de alcançar um vértice destino. O fato de existir um caminho torna verdadeira esta condição;
- b) tempo de viagem: o destino deve ser alcançado dentro de um intervalo de tempo considerado aceitável;
- c) custo de viagem: o destino deve ser alcançado dentro de um intervalo de custo considerado aceitável.

O quanto cada uma destas expectativas é relevante para o usuário da rede de transporte varia de situação para situação. O mais provável é que o usuário deseje um alto grau de confiabilidade nos três requisitos, mas o mesmo estará disposto a priorizar algum destes se necessário. O transporte de um paciente para uma cirurgia de emergência, por exemplo, não medirá custos se puder ser realizado da forma mais rápida possível.

Em relação aos exemplos apresentados anteriormente pode-se perceber que o estudo acerca da confiabilidade da rede de transporte público urbano varia de acordo com foco da pesquisa. No trabalho elaborado por Nicholson e King o foco é em relação da operação do serviço de transporte público urbano e a sua qualidade. O trabalho de Kurauchi *et al* tem o foco voltado na estrutura da rede em relação a sua conectividade e capacidade. Por fim o trabalho de Yang *et al* é voltada para qualidade do serviço em relação ao usuário.

### **3.5. TÓPICOS CONCLUSIVOS**

A rede de transporte público urbano é formada por quatro elementos básicos: as vias (arcos); pontos de embarque e desembarque (nós) e a tecnologia veicular e a fricção (impedância) entre os demais elementos.

Os arcos em uma rede de transporte público urbano são as vias que por sua vez são os componentes da estrutura urbana onde ocorre à circulação de pessoas e de cargas.

Os nós da rede de transporte público urbano são os pontos no qual o usuário utiliza para embarque, desembarque ou conexões.

Os veículos são o equipamento da rede de transporte utilizado para realizar o deslocamento das pessoas entre dois pontos da cidade..

As redes de transporte público urbano têm algumas especificidades fazendo com que haja diferenças significativas entre a escolha de rotas nestas e em redes de transporte individual (malhas viárias).

A confiabilidade da rede de transporte pública urbano tem sido considerada por muito tempo um fator importante que afeta a atratividade do sistema de transportes, e várias medidas da engenharia (pistas exclusiva para o transporte público, prioridade semafórica) e as medidas operacionais são executadas para auxiliar na melhoria do serviço prestado pela rede de transporte público urbano.

## **4. METODOLOGIA**

### **4.1. INTRODUÇÃO**

Antes de iniciar a explanação em relação a metodologia é importante resgatar alguns conceitos levantados nos capítulos anteriores. Conforme apresentado no capítulo 2 a rede de transporte é denominada como uma “rede de fluxo” pois representa o movimento das pessoas veículos e bens (Du e Nicholson,1993). Qualquer rede de transporte pode ser representada pela teoria dos grafos, no qual os arcos representam os movimentos entre os nós e também podem representar um específico modo de transporte (ônibus, metrô, bicicleta, etc), já os nós representam a estrutura espacial da rede (Bell e Lida, 1997).

No capítulo 2 também foram apresentados os conceitos referentes à confiabilidade da rede de transporte, que corresponde à probabilidade da rede em desempenhar adequadamente a sua função, por um determinado período de tempo e sob condições pré-determinadas (Bell e Cassir, 2000).

No capítulo 3, foram levantadas as características referentes à rede de transporte público urbano que, é o objeto de estudo desta dissertação. Nesse capítulo foram apresentadas as características importantes das redes de transportes público urbano, voltando-se prioritariamente para os aspectos de estudos acerca da confiabilidade da rede de transporte.

Com esses fundamentos, no presente capítulo é apresentada uma proposta metodológica para identificar a confiabilidade da rede de transporte público urbano. Essa opção metodológica procura sua utilização em redes do transporte público urbano considerando que, em geral, os dados e informações necessárias para sua aplicação, em parte, são possíveis de se obter. Para as redes do transporte individual existe um impacto maior quanto às características comportamentais dos usuários. Adicionalmente, a metodologia envolve a utilização de valores binários referentes à situação de cada componente da rede no qual o valor 1 equivale ao fato do componente estar funcionando e o valor 0 se o mesmo não estiver funcionando adequadamente.

Por fim, recomenda-se que uma aplicação bem sucedida da metodologia deva estar precedida de um correto entendimento e formulação do problema referente à confiabilidade da RTPU a ser tratado, que os dados sejam quantitativamente e qualitativamente confiáveis e que a utilização de procedimentos nos Sistemas de

Informações Geográficas seja adequadamente válida para interpretação dos resultados. O desenvolvimento de cada etapa da proposta metodológica e das informações necessárias é apresentado a seguir.

## **4.2. ETAPAS DA METODOLOGIA**

A metodologia considera como variáveis principais os atributos da RTPU e inclui a representação espacial da confiabilidade, utilizando os Sistemas de Informações Geográficas – SIG (TRANSCAD e ARCGIS). Assim, com intuito de atender aos objetivos propostos no capítulo 1 desta dissertação, delimitaram-se cinco etapas, da estrutura metodológica, apresentadas no fluxograma da Figura 4.1, sendo:

Etapa I – Delimitação e caracterização da área de estudo;

Etapa II – Definição das variáveis e atributos da RTPU;

Etapa III – Formulação do modelo para identificação da confiabilidade da RTPU;

Etapa IV –Aplicação do modelo e representação espacial da confiabilidade da RTPU.

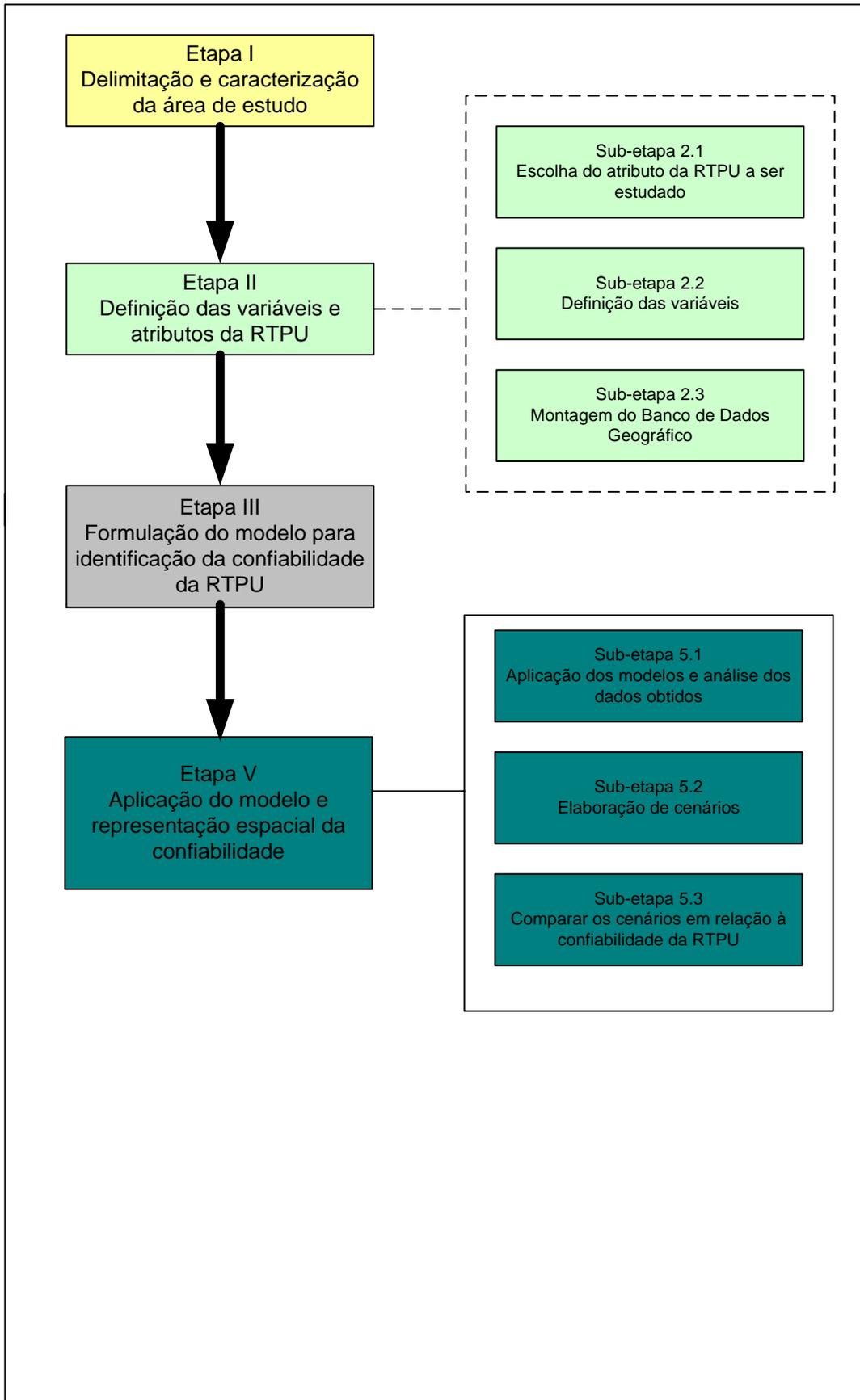


Figura 4.1. Estrutura Metodológica.

#### 4.2.1. Etapa I – Delimitação e caracterização da área de estudo

Nesta etapa deve ser delimitada e caracterizada a área de estudo. Para isso deve-se considerar a localização da RTPU, suas peculiaridades (topologia e tipologia) e as características da cidade (configuração espacial, sistema de transportes, sistema viário) a fim de identificar as variáveis em relação à confiabilidade da RTPU.

Nesta etapa deve-se também apresentar qual é a função exercida pela RTPU no contexto em que a mesma está inserida.

#### 4.2.2. Etapa II – Definição das variáveis e atributos da RTPU;

O objetivo central desta etapa é fornecer os subsídios necessários para a formulação e aplicação do modelo para identificar a confiabilidade da RTPU. Esta etapa conforme Figura 4.2, está dividida em três sub-etapas que serão descritos a seguir.

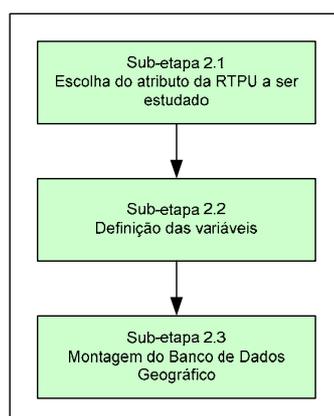


Figura 4.2. Estrutura esquemática da etapa II

##### 4.2.2.1 Sub-etapa 2.1 – Escolha do atributo da RTPU a ser estudada

Esta sub-etapa tem como objetivo a escolha do atributo da RTPU a ser analisado. Para escolher qual atributo da RTPU a ser estudado deve-se, primeiramente, definir qual a função que se espera da RTPU, apresentado na Figura 4.2. Por exemplo, se a função da RTPU for a de ligação entre os pontos de O/D dentro da cidade, os atributos serão: capacidade dos arcos, frequência, tempo de viagem, etc. Se a função da RTPU for a de ser o elemento para o ordenamento do espaço urbano, os atributos a serem estudados serão: acessibilidade, a relação da RTPU com o uso do solo, etc.

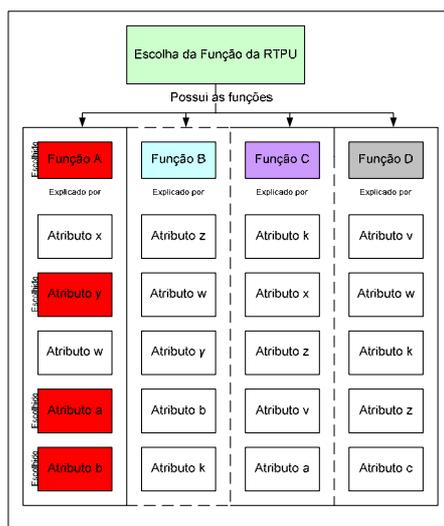


Figura 4.3- Estrutura Esquemática da Sub-etapa 2.1

Vale ressaltar que conforme apresentado na Figura 4.3, os atributos escolhidos “y”, “a” e “b” explicam tanto a função “A” quanto a função “B” e a função “C” da RTPU. Como a função escolhida foi à função “A”, a análise da confiabilidade da RTPU deve ser feita em relação aos atributos na função “A”. Assim, para cada atributo da rede escolhido existe um grupo diferente em relação ao estudo da sua confiabilidade. A seguir no Quadro 4.1 serão apresentados cinco exemplos de atributos da RTPU em relação à sua confiabilidade, sendo todos pertencentes à função de ligação da RTPU.

Quadro 4.1. Relação entre Função da RTPU/ Atributo/ Confiabilidade

| FUNÇÃO  | ATRIBUTO                            | CONFIABILIDADE  |
|---------|-------------------------------------|---|
| Ligação | Conectividade da rede de transporte | É entendida como a probabilidade dos nós da rede permanecerem conectados. Para cada O/D, a rede é confiável se pelo menos um trajeto está operando. Com isso é feita uma relação binária na qual 1(um) denota o estado operando e 0(zero) o estado falho                  |
| Ligação | Tempos de viagem                    | É obtida em função da relação dos tempos de viagens analisados sob condições normais e anormais. Este tipo de confiabilidade pode ser usado com critério visando definir o nível de serviço que deve ser mantido apesar da deterioração de determinadas ligações na rede. |
| Ligação | Capacidade da rede de transporte    | Consiste em determinar o multiplicador global máximo da matriz O/D tais que os fluxos resultantes dos arcos alocados estejam dentro das capacidades dos mesmos.   |
| Ligação | Comportamento dos usuários          | Obtido através do levantamento das modificações no comportamento médio dos usuários em relação a sua atitude à variação e/ou aos riscos percebidos  |
| Ligação | Acessibilidade                      | Um nó da rede seria considerado não confiável se a perda de um número pequeno das ligações diminuísse significativamente a acessibilidade do nó.  |

#### 4.2.2.2 Sub-etapa 2.2 - Definição das variáveis

Esta sub-etapa tem como objetivo levantar quais são as variáveis que melhor representam a confiabilidade da RTPU em relação ao atributo escolhido na sub-etapa anterior. Como os exemplos apresentados no Quadro 4.2.

Quadro 4.2. Relação entre Atributo da RTPU/ Confiabilidade/ Variáveis

| ATRIBUTO                            | CONFIABILIDADE  | VARIÁVEIS   |
|-------------------------------------|---|---|
| Conectividade da rede de transporte | É entendida como a probabilidade dos nós da rede permanecerem conectados. Para cada O/D, a rede é confiável se pelo menos um trajeto está operando. Com isso é feita uma relação binária na qual 1 denota o estado operando e 0 o estado falho                            | Número de transferências que o usuário faz para alcançar seu destino  |
| Tempos de viagem                    | É obtida em função da relação dos tempos de viagens analisados sob condições normais e anormais. Este tipo de confiabilidade pode ser usado com critério visando definir o nível de serviço que deve ser mantido apesar da deterioração de determinadas ligações na rede. | Medido em conjunto com o tempo de espera nas estações e o tempo gasto com as transferências tanto em condições normais quanto anormais. |
| Capacidade da rede de transporte    | Consiste em determinar o multiplicador global máximo da matriz O/D tais que os fluxos resultantes dos arcos alocados estejam dentro das capacidades dos mesmos.   | Capacidade nominal da rede e a demanda  |
| Comportamento dos usuários          | Obtido através do levantamento das modificações no comportamento médio dos usuários em relação a sua atitude à variação e/ou aos riscos percebidos  | Quantidade de alterações na rota feita pelos usuários   |
| Acessibilidade                      | Um nó da rede seria considerado não confiável se a perda de um número pequeno das ligações diminuísse significativamente a acessibilidade do nó.  | Quantidade de ligações existente em um nó   |

Para levantamento e escolha das variáveis é recomendado realizar consultas junto a especialistas. A lógica para a escolha das variáveis é a mesma apresentada na sub-etapa anterior conforme a representação da Figura 4.4.

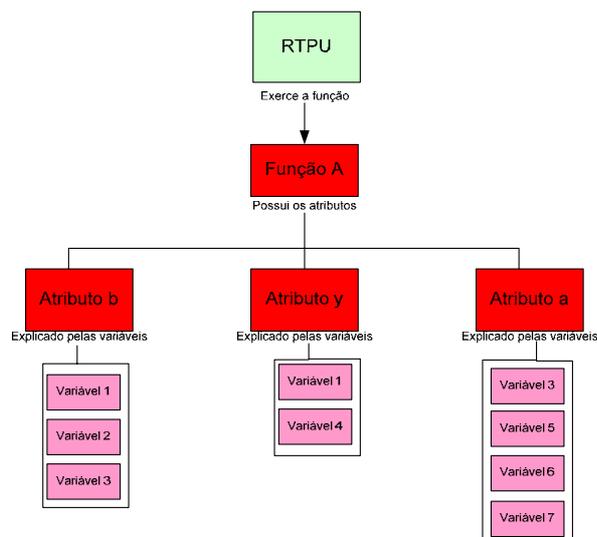


Figura 4.4. Estrutura esquemática da sub-etapa 2.2

#### 4.2.2.3 Sub-etapa 2.3 – Montagem do Banco de Dados Geográfico

Os dados obtidos por meio das variáveis do sub-item anterior precisam ser organizados e analisados, com a criação de um banco de dados geográfico. Com isso, devem ser realizados dois processos paralelos: o primeiro é a elaboração do banco de dados da RTPU, que é composto pelas variáveis endógenas à RTPU (ex. número de ligações) e variáveis exógenas a RTPU (ex. número de postos de trabalho). O segundo processo refere-se à elaboração da base geográfica da área de estudo e da RTPU, como explicitado na Figura 4.5.

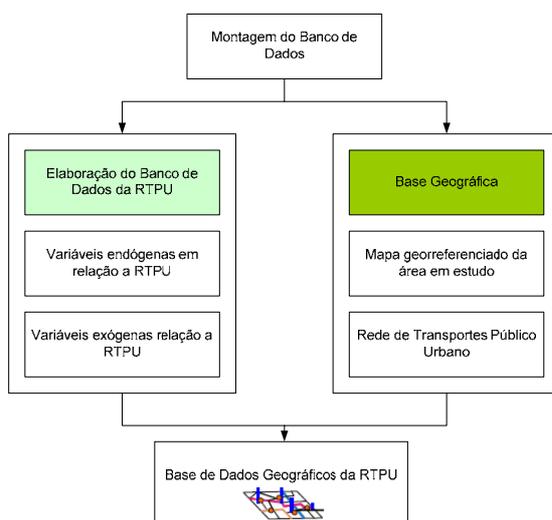


Figura 4.5. Estrutura esquemática da sub-etapa 2.3

### 5.2.3. Etapa III – Formulação do modelo para identificação da confiabilidade da RTPU

O objetivo desta etapa é a elaboração do modelo para identificação da confiabilidade da RTPU. Para isso primeiramente será posta a relação da confiabilidade da RTPU ( $R$ ) em relação à probabilidade de falha da RTPU ( $P_\phi$ ), como mostra a equação 4.1:

$$R = f(P_\phi) \quad (4.1)$$

Outra forma de se representar a confiabilidade da RTPU e por meio da confiabilidade dos seus componentes, sendo que  $R$  representa a confiabilidade da RTPU, ( $\lambda_i$ ) representa a confiabilidade de cada componente da RTPU, e  $n$  representa o número de componentes da RTPU, como mostram as equações 4.2 e 4.3, sendo que a equação 4.2 vale para redes em paralelo e a equação 4.3 para redes em série:

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n \lambda_i \quad (4.2)$$

$$R = \prod_{i=1}^n \lambda_i \quad (4.3)$$

Nesta pesquisa como já abordado anteriormente a confiabilidade será calculada com base na sua função conectiva da RTPU e nos seus atributos topológicos apresentados a seguir:

i) a integração da rede. Neste atributo será estudada a existência de conexões entre as várias redes existentes. Serão atribuídos os valores 0 (zero) e 1 (um) onde o 0 (zero) significa a ausência de conexão e 1 (um) significa a existência de pelo menos uma conexão entre as redes. Na equação 4.4,  $\lambda_i$  significa o índice de integração,  $C_e$  o número relativo a cada ponto de integração entre as redes e  $N_e$  significa o número de total de pontos de integração. Vale ressaltar que em casos onde não existe a integração física entre a conexão a integração dará pela proximidade de no máximo 500 metros entre as retas.

$$\lambda_i = \frac{\sum C_e}{N_e} \quad (4.4)$$

ii) a acessibilidade dos centróides das zonas de tráfego: Neste atributo foram estudados o grau de acessibilidade de cada centróide em relação à rede de transporte público urbano,

determinado pela distância dos centróides. A acessibilidade é calculada pela equação 4.5 na qual  $\lambda_a$  é a acessibilidade da zona de tráfego  $i$ ;  $f(\beta C_{ij})$  é a função que descreve o custo representado pela distância entre o centróide da zona de tráfego  $i$  e a rede de transporte público este custo será igual 0 (zero) se o centróide estiver localizado até no máximo 500 metros e será igual 1 (um) se estiver em uma distancia superior aos 500 metros. “ $n$ ” corresponde ao número de zonas de tráfego.

$$\lambda_a = 1 - \frac{\sum_i f(\beta C_{ij})}{n} \quad (4.5)$$

iii) Conectividade da Rede ( $\lambda_c$ ). Esta medida relaciona o número de rotas possíveis utilizando a rede de transporte público entre os centróides das zonas de tráfego ( $\delta_{ij}$ ) e o número de rotas máximos entre as zonas ( $\delta_{\max}$ ) como apresentado na equação 4.6.

$$\lambda_c = \frac{\delta_{ij}}{\delta_{\max}} \quad (4.6)$$

iv) A eficiência das conexões ( $\lambda_e$ ). Esta medida relaciona o quanto as conexões da rede estão sendo eficientes para ligar os seus vértices. Cox (1972) aponta a relação entre a distância do menor caminho no grafo que liga dois vértices ( $d_{ij}$ ) e a distância em linha reta entre estes dois vértices ( $\sigma_{ij}$ ), como apresentado na equação a seguir:

$$\lambda_e = \sum \frac{\sigma_{ij}}{d_{ij}} \quad (4.7)$$

Por possuir uma relação de interdependência entre os atributos, isto é, se um dos atributos vier a falhar implica dizer que a rede como um todo também irá falhar. Trata-se então de uma estrutura funcional em série que apresenta a seguinte formulação para o cálculo da confiabilidade topológica da RTPU:

$$i) R = \prod_{i=1}^n \lambda_i \quad (4.8)$$

$$ii) R = \lambda_i \lambda_a \lambda_c \lambda_e \quad (4.9)$$

$$iii) R = \frac{\sum c_e [1 - \sum f(\beta C_{ij})] \delta_{ij}}{N_e n \delta_{\max}} \sum \frac{\sigma_{ij}}{d_{ij}} \quad (4.10)$$

A Figura 4.6. apresenta a estrutura esquemática para a elaboração do modelo para identificação da confiabilidade da RTPU.

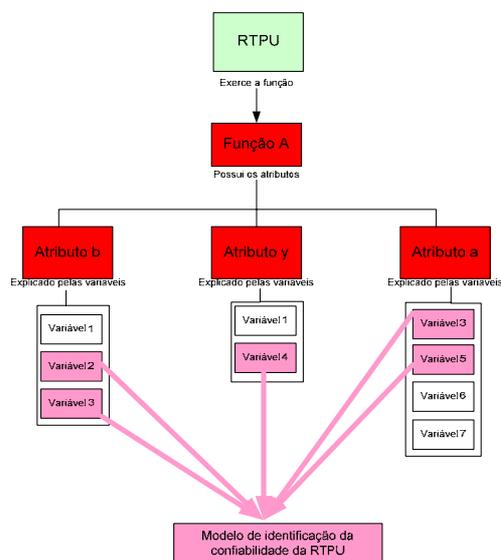


Figura 4.6. Modelo Esquemático da etapa III

#### 4.2.4. Etapa IV – Aplicação do modelo e análise exploratória da confiabilidade da RTPU

O objetivo central desta etapa consiste em analisar espacialmente os resultados obtidos pelos modelos elaborados nas etapas anteriores. Assim, nesta etapa são analisados os cenários futuros com o uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG), procurando analisar espacialmente cada cenário. Esta etapa como demonstra a Figura 4.7, está dividida em três sub-etapas que serão apresentadas a seguir.

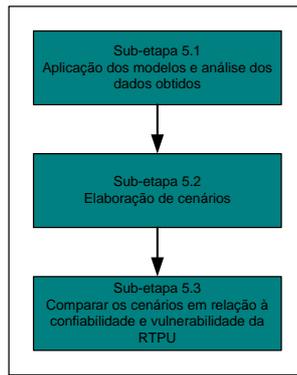


Figura 4.7. Estrutura esquemática da etapa V

#### *4.2.5.1 Sub-etapa 5.1 – Aplicação dos modelos e análise dos dados obtidos*

Esta sub-etapa consiste na análise dos dados obtidos pela aplicação dos modelos. Para isso deve-se analisar a confiabilidade em relação a RTPU.

#### *4.2.5.2 Sub-etapa 5.2 – Elaboração de cenários*

Após a análise dos dados acerca da confiabilidade da RTPU, são desenvolvidos cenários que representam as diversas condições e variáveis de estudo. Os cenários criados quanto à confiabilidade da RTPU em estudo são: cenário otimista, cenário pessimista e cenário normal. O cenário otimista refere-se a uma situação que considera uma alta confiabilidade com uma probabilidade menor de falhas; o cenário pessimista considera uma baixa confiabilidade com uma maior probabilidade de falhas (seria uma situação extrema); o cenário normal considera uma situação intermediária em relação aos cenários pessimista e otimista.

#### *4.2.5.3 Sub-etapa 5.3 – Comparar os cenários em relação à confiabilidade da RTPU*

Esta sub-etapa tem como finalidade comparar os cenários obtidos na sub-etapa anterior. Para cada cenário serão comparados os resultados referentes a confiabilidade da RTPU. Com isso serão apontados os cenários e os componentes mais críticos em cada um deles.

## **5. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA: ESTUDO DE CASO**

### **5.1. APRESENTAÇÃO**

Como apresentado no capítulo anterior, a proposta metodológica tem como objetivo principal identificar e representar espacialmente a confiabilidade das redes de transporte público urbano. Atualmente, as cidades brasileiras, entre elas Brasília e Manaus apresentam problemas relacionados ao comportamento da RTPU que precisam ser monitorados para que os gestores e planejadores possam procurar as soluções dos mesmos.

Dessa forma, o presente capítulo tem como objetivo validar a metodologia aplicando-a no estudo de caso na rede de transporte público urbano do Distrito Federal e da cidade de Manaus localizada no estado do Amazonas. Para isso, foram utilizados dados da pesquisa Origem - Destino realizada no ano de 2000 no Distrito e Federal; dados provenientes da pesquisa apresentada por Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes (CEFTRU) da Universidade de Brasília (UnB). O capítulo está dividido em 6 seções de acordo com a proposta metodológica apresentada no capítulo anterior.

### **5.2. DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO**

Nesta seção serão delimitadas e caracterizadas as áreas de estudo: a Rede de transporte Público Urbano do Distrito Federal (RTPU-DF) e a Rede de transporte Público Urbano de Manaus-AM (RTPU-MAO). Para isso será considerada a localização da RTPU-DF e da RTPU-MAO, suas peculiaridades (topologia e tipologia) e algumas características do Distrito Federal e da cidade de Manaus (composição, sistema de transportes).

#### **5.2.1. Aspectos Gerais do Distrito Federal**

O Distrito Federal é formado pelo Plano Piloto (Brasília) e as 28 Regiões Administrativas (RA's), possuidoras de administração própria: Brasília, Gama, Taguatinga, Águas Claras, Brazlândia, Planaltina, Paranoá, Núcleo Bandeirante, Ceilândia, Guará, Cruzeiro, Samambaia, Santa Maria, São Sebastião, Recanto das Emas, Lago Sul, Lago Norte, Varjão, Riacho Fundo, Riacho Fundo II, Candangolândia, Sudoeste/ Octogonal, Parkway, Setor Complementar de Indústria e Abastecimento, Sobradinho, Sobradinho II, Jardim Botânico e Itapuã. Apresentado na Figura 5.1, constando apenas 19 RA's pois refere aos dados do ano 2000:

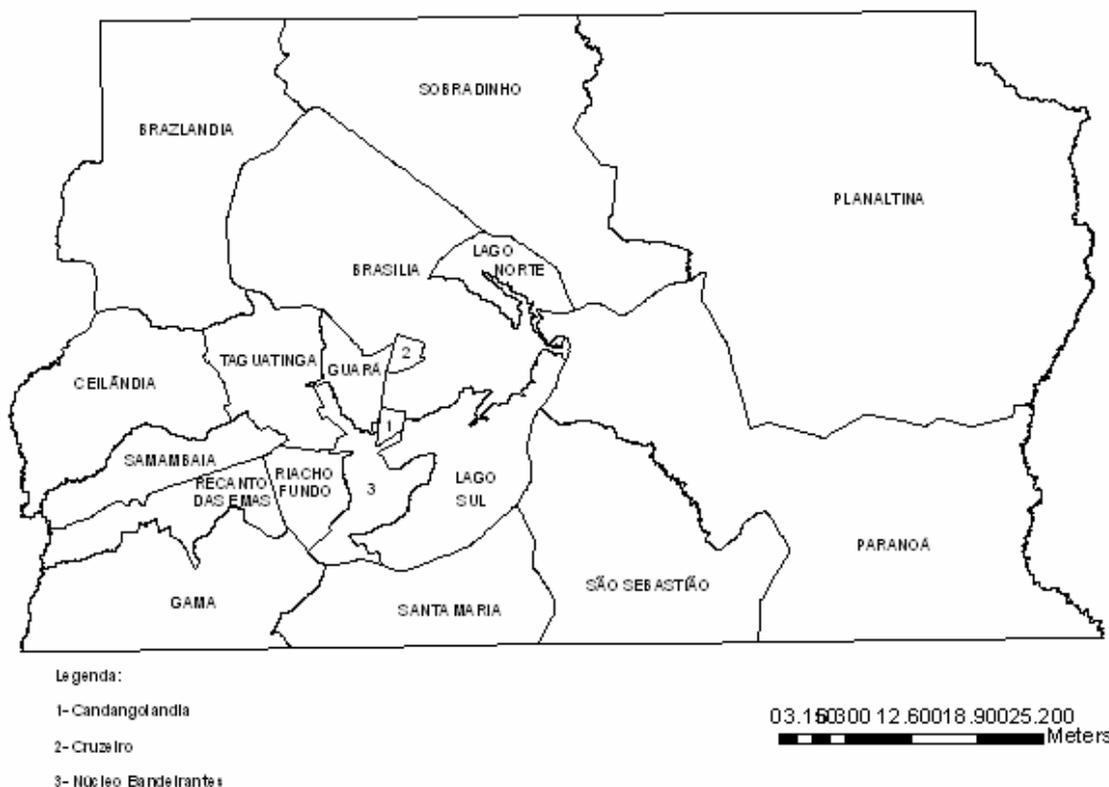


Figura 5.1. Divisão administrativa do Distrito Federal no ano 2000

A estrutura urbana do Distrito Federal é predominantemente polinucleada, com grandes áreas que separam o Plano Piloto (Brasília) das demais Regiões Administrativas. Os vazios urbanos ou rarefeitos evidenciam alguns dos problemas de difícil equacionamento em relação ao planejamento e a operação do Sistema de Transporte Público do Distrito Federal. Outra característica interessante do Distrito Federal como apresenta a Figura 5.2, é a distribuição não equilibrada da população, uma vez que 83% da população do DF residem fora da RAs de Brasília, Cruzeiro, Sudoeste/ Octogonal, Lago Norte e Lago Sul regiões que por sua vez concentram cerca de 80% das oportunidades de trabalho (Silva, 2008). Como apresentado na Figura 5.3.

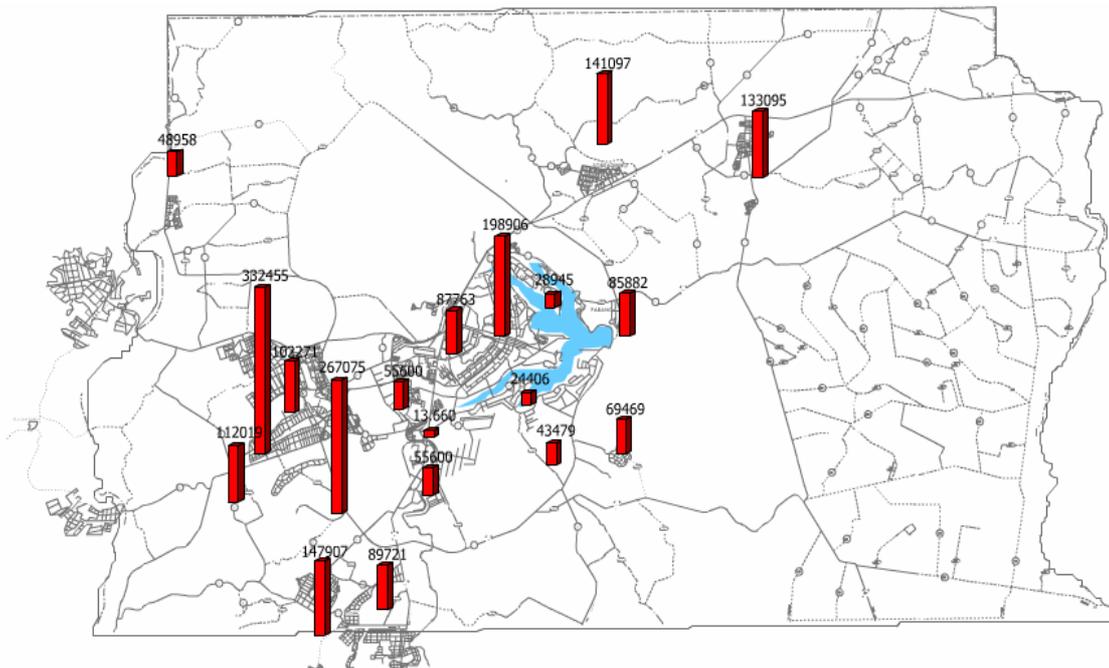


Figura 5.2. Distribuição da população no Distrito Federal. Fonte: Distrito Federal (2007).

Devido a esses três fatores apresentados anteriormente (estrutura espacial, distribuição populacional e a distribuição dos postos de trabalho) a maior parte das movimentações no Distrito Federal tem características pendulares, isto é, apresentam um único par de Origem/ Destino (O/D) ao longo do dia, correspondendo à viagens entre casa e trabalho ou casa estudos em sua maioria (Silva, 2008).

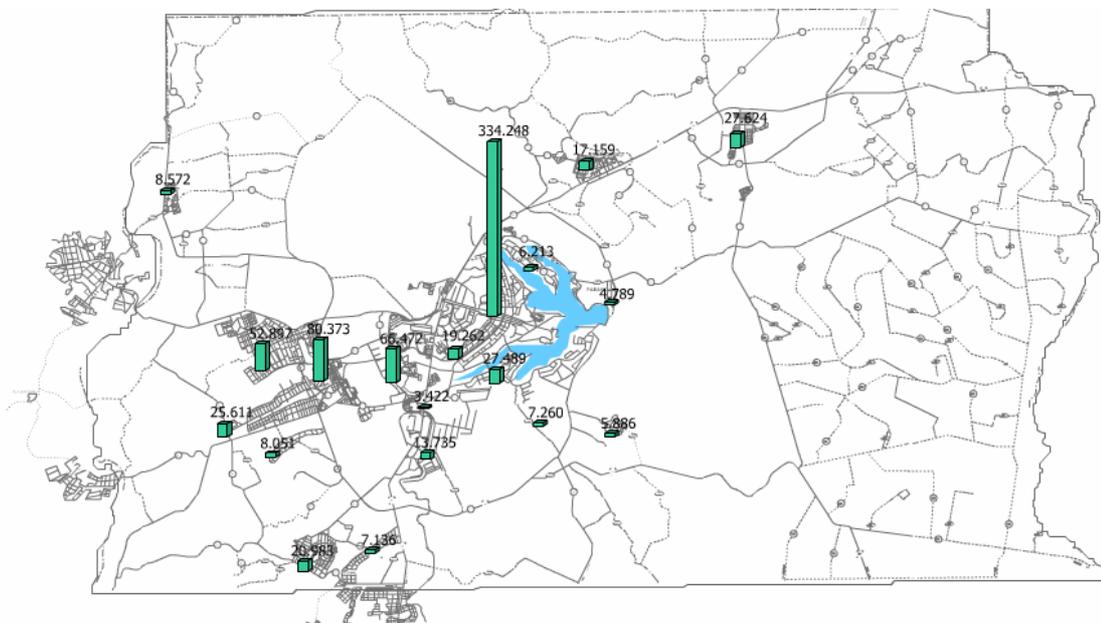


Figura 5.3. Distribuição dos postos de trabalho no Distrito Federal. Fonte: Distrito Federal (2007).

## 6.2.2. Sistema de Transporte Público do Distrito Federal

O Sistema de Transporte Público Rodoviário do Distrito Federal (STPR-DF) está estruturado em um modelo físico-operacional de linhas diretas, do qual resulta um número excessivo de linhas tendo como conseqüências os seguintes problemas: baixa produtividade e estrutura operacional ineficiente para promover transferências modais e para atrair demandas potenciais; aumento de frota e da quilometragem percorrida, visando atender à expansão dos serviços e conseqüente redução do índice de passageiros por quilometro - IPK; concentração das viagens pela manhã e á tarde, nas horas de pico, e ociosidade no resto do dia; concorrência, concentrada nos principais corredores urbanos, do Serviço de Transporte Público Alternativo – STPA, do serviço de transporte escolar e do serviço de transporte coletivo privado, e, nos de ligação, do Serviço de Transporte Público Alternativo de Condomínios, com o serviço de transporte convencional, contribuindo para a queda do volume de passageiros transportados e a conseqüente redução da receita respectiva (DFTRANS, 2007).

Atualmente, o serviço convencional é formado por 804 linhas de ônibus (sendo em sua maioria linhas de ligação) mais o Sistema Metroviária composto por 16 estações e 20 trens de quatro vagões cada. Na Figura 5.4. é apresentado a Rede de transporte Público do Distrito Federal.

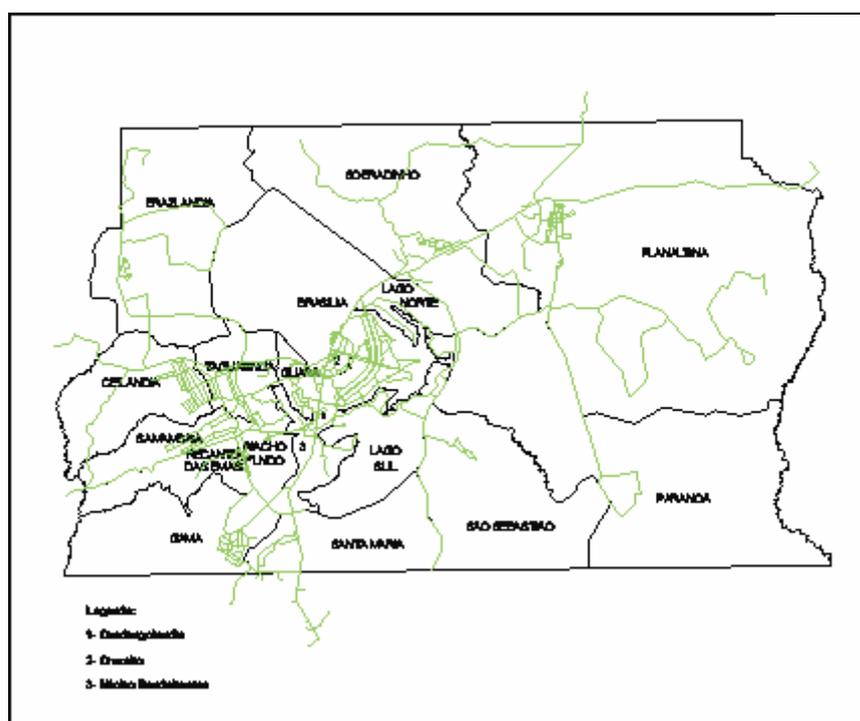


Figura 5.4. Rede de transporte Público Urbano do Distrito Federal

### 5.2.3. Sistema Metroviário do Distrito Federal

O Sistema Metroviário do Distrito Federal opera atualmente com 20 trens de 4 vagões cada. Possui a extensão de 42 quilômetros, interligando a Rodoviária do Plano Piloto (estação final do Sistema) a Ceilândia Sul (estação inicial da Linha Verde) e Samambaia (estação inicial da Linha Laranja), através do eixo rodoviário sul (Plano Piloto) e pelas Regiões Administrativas do Guará, Águas Claras e Taguatinga. O sistema transporta cerca de 80 mil passageiros por dia, de segunda a sexta-feira, das 6:00 às 23:30 horas, e nos fins de semana entre 7:00 e 19:00 horas, com *headway* médio de 7 minutos nas horas-pico no eixo principal (14 minutos nos ramos secundários) e 10 minutos nas horas fora-pico no eixo principal (10 minutos nos ramos secundários), com velocidade comercial de 45 km/h. (Silva, 2008).

A Rede Metroviária do Distrito Federal possui estrutura topológica na forma de árvore em ‘Y’, isto é, com um eixo principal (Rodoviária – Águas Claras) e dois ramos secundários (Águas Claras – Samambaia e Águas Claras – Ceilândia) sendo composta por 29 estações, destas somente 20 estão em pleno funcionamento. A previsão é que dez delas passem a funcionar como terminais de integração metrô/ônibus, com estações integradas a espaços comerciais e terminais rodoviários. Como apresentado pela Figura 5.5.



Figura 5.5. Rede Metroviária do Distrito Federal

A falta de integração entre o Metrô e os serviços do modo rodoviário contribui para baixa utilização do modo metroviário, que só vem transportando cerca de 60% da sua capacidade instalada, com aproximadamente 80.000 passageiros por dia, possivelmente composto por uma demanda praticamente de usuários que estão próximos das estações em operação.

O Metrô-DF, segundo Silva (2008) adota siglas composta por três letras maiúsculas para a identificação de suas estações, conforme apresentado no Quadro 5.1. na qual são indicadas as estações operacionais ou em funcionamento e as não operacionais ou fechadas ao público, tal codificação também foi adotado para identificação das estações na presente pesquisa.

Quadro 5.1. Siglas referentes as estações do Metrô-DF

| SIGLA | ESTAÇÃO | SIGLA | ESTAÇÃO         | SIGLA | ESTAÇÃO              | SIGLA | ESTAÇÃO        |
|-------|---------|-------|-----------------|-------|----------------------|-------|----------------|
| CTL   | Central | 114   | 114 Sul         | EPQ   | Estrada Parque       | CEI   | Ceilândia      |
| GAL   | Galeria | ASA   | Asa Sul         | REL   | Praça do Relógio     | TAS   | Taguatinga Sul |
| 102   | 102 Sul | SHP   | Shopping        | ONO   | Onoyama              | FUR   | Furnas         |
| 104   | 104 Sul | FEI   | Feira           | MET   | Centro Metropolitano | SAS   | Samambaia Sul  |
| 106   | 106 Sul | GUA   | Guará           | CES   | Ceilândia Sul        | SAM   | Samambaia      |
| 108   | 108 Sul | ARN   | Arniqueiras     | GBA   | Guariroba            |       |                |
| 110   | 110 Sul | CLA   | Águas Claras    | CEC   | Ceilândia Centro     |       |                |
| 112   | 112 Sul | COM   | Concessionárias | CEN   | Ceilândia Norte      |       |                |

Para seguinte trabalho foi utilizado como referência os centróides das Zonas de Tráfego (ZT). O Distrito Federal segundo a pesquisa O/D (2000) possui 324 ZTs conforme Figura 5.6.

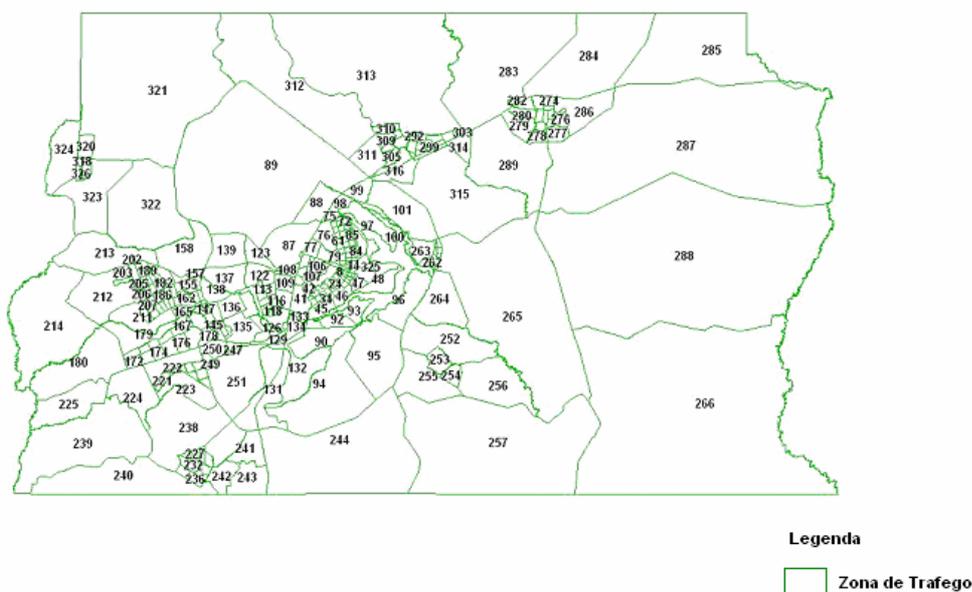


Figura 5.6. Zonas de Tráfego do Distrito Federal

### **5.2.3. Aspectos gerais da cidade de Manaus**

A capital do Estado do Amazonas está localizada na parte central da Amazônia Brasileira, na foz do Rio Negro afluente do Rio Amazonas. A história de Manaus começa em 1669, com a construção do Forte de São José do Rio Negro, e registra dois momentos de acentuada importância econômica e social: o primeiro, com o ciclo da borracha, entre a última década do século XIX e a primeira do século XX; e o segundo, a partir de 1967, com a implementação da Zona Franca de Manaus. Com uma população de aproximadamente 1.700.000 habitantes (estimativa, IBGE, 2005), Manaus limita-se a norte com o município de Presidente Figueiredo, ao sul com os municípios de Iranduba e Careiro, a leste com os municípios de Rio Preto da Eva e Itacoatiara e a oeste com o município de Novo Airão (Nogueira *et al*, 2007)

### **5.2.4. Sistema de Transporte Público da cidade de Manaus**

O Sistema de Transporte Coletivo em Manaus encontra-se dividido em duas modalidades: Rodoviário e o Hidroviário. O Sistema de Transporte Coletivo Rodoviário, segundo Regulamento publicado no Decreto Nº 8.287, de 10 de fevereiro de 2006, encontra-se dividido em três tipos, especificados a seguir:

- i) Convencional serviço básico e principal do sistema, destinado a atender de forma ampla as demandas normais de deslocamento da população, com frota limitada à demanda;
- ii) Alternativo: serviço complementar ao Convencional, e prestado nas modalidades Integrado e Lotação, com frota limitada a 20% (vinte por cento) da contemplada para o tipo Convencional em operação;
- iii) Especial: serviço seletivo, que se distingue do Convencional e do Alternativo pela utilização de veículos diferenciados, que se presta ao atendimento das necessidades específicas da população, com preço compatível com seus objetivos, e prestado nas modalidades Executivo, com frota limitada a 10% (dez por cento) da contemplada para o tipo Convencional em operação, Feira e Rural-Urbano (CEFTRU, 2006).

Além dos citados, destaca-se o serviço de Fretamento que opera na Região do Distrito Industrial do município de Manaus.

O Sistema de Transportes Coletivo Rodoviário Convencional é operado com integração tarifária em 6 (seis) terminais, enquanto o modal hidroviário opera sem integração com os ônibus como apresentado na Figura 5.7. (Pricinote *et al*, 2007).

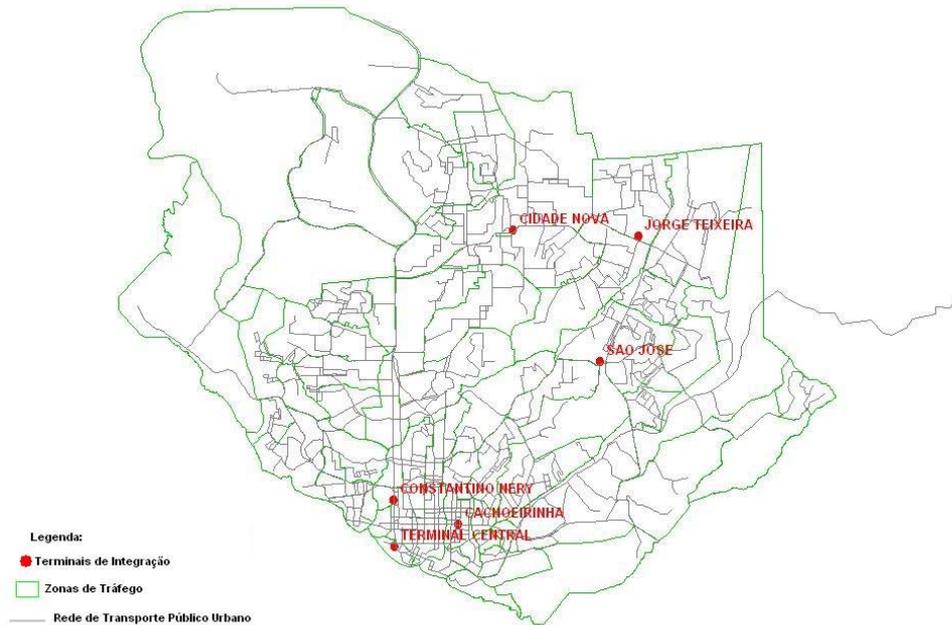


Figura 5.7. Terminais de Integração da cidade de Manaus

O Sistema de Transporte analisado operava no início de janeiro de 2005 com 215 linhas distribuídas em 8 categorias, conforme Figura 5.8. As linhas radiais e as linhas alimentadoras representam juntas 71,3 % do total de linhas que operam no Sistema. Este tipo de sistema, entretanto, tem ocasionado vários deslocamentos negativos, o que tem feito com que o órgão gestor crie ainda mais linhas radiais (CEFTRU, 2006).

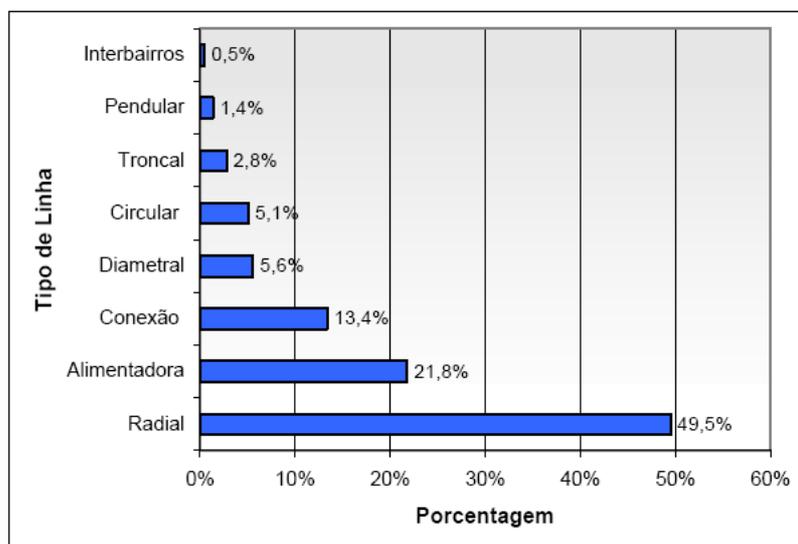


Figura 5.8. Classificação das Linhas da RTPU-MAO quanto ao tipo (CEFTRU, 2006)

Para seguinte trabalho foi utilizado como referência os centróides das Zonas de Tráfego (ZT). A cidade de Manaus segundo a pesquisa realizada pelo CEFTRU, possui 72 Zonas de tráfego como apresentado na Figura 5.9.

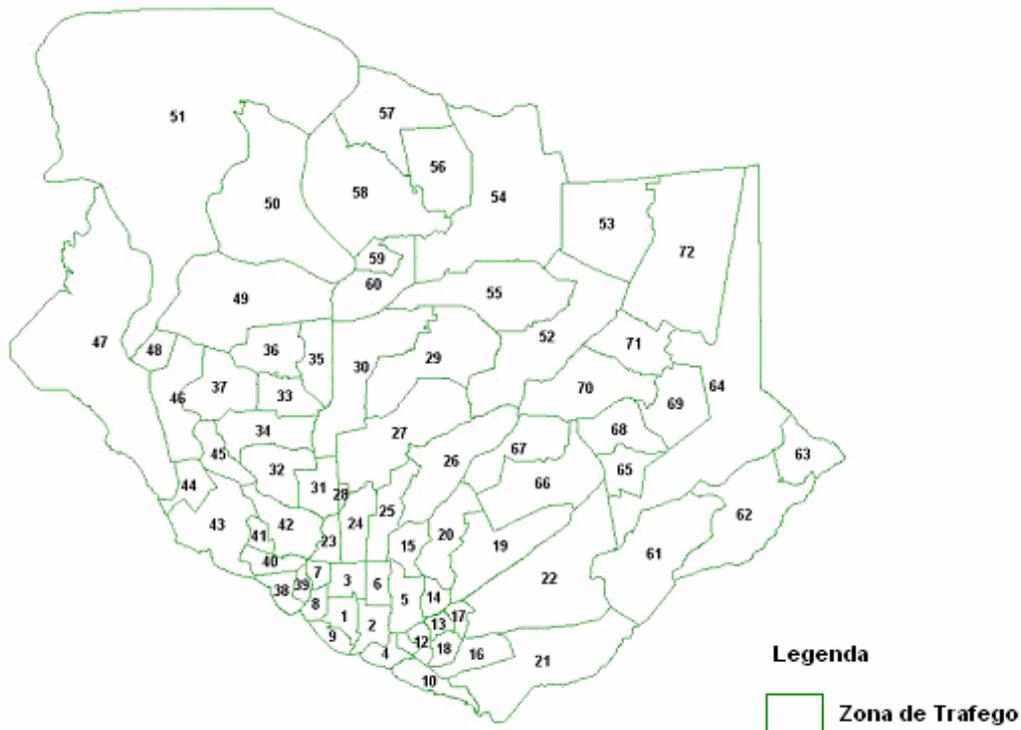


Figura 5.9. Zonas de Tráfego da cidade de Manaus

### **5.3. DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS E ATRIBUTOS DA REDE DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO DE MANAUS**

O objetivo central dessa seção é o levantamento dos subsídios necessários para a formulação do modelo de modo a identificar a confiabilidade e vulnerabilidade da Rede de Transporte Público Urbano do Distrito Federal (RTPU-MAO). Essa seção está subdividida em duas partes: primeiramente ocorre a escolha do atributo da RTPU-MAO a ser estudado e em seguida são definidas as variáveis.

#### **5.3.1. Escolha do atributo da RTPU-DF e da RTPU-MAO a ser estudado**

Essa subseção objetiva a escolha dos atributos da RTPU-DF e da RTPU-MAO a serem analisados. Como mencionado anteriormente no Capítulo 4, para escolher qual o atributo a ser estudado deve-se primeiramente definir qual a função da rede que se espera analisar. Para este trabalho foi escolhida a função conectiva da rede de transporte público urbano em

relação aos atributos topológicos da mesma. Com base nessa informação seguem-se as etapas subsequentes da proposta metodologia.

### 5.3.2. Definição das variáveis

Essa subseção tem como objetivo levantar quais as variáveis que irão representar a confiabilidade da RTPU em relação ao atributo escolhido na subseção anterior: mobilidade. Como já apresentado anteriormente a mobilidade gerada pelo Sistema de Transporte em função da sua rede é determinada pela acessibilidade que por sua vez é composta pela acessibilidade do Meio pelo Objeto e pela acessibilidade do Meio pelo Sujeito.

Neste estudo de caso estaremos calculando a confiabilidade através da acessibilidade do Meio pelo Sujeito, no caso o Meio é a RTPU e o Sujeito corresponde ao grupo de usuários que utilizam a rede representada nessa pesquisa pelas zonas de tráfego.

## 5.4. FORMULAÇÃO DO MODELO PARA IDENTIFICAÇÃO DA CONFIABILIDADE DA RTPU-DF E DA RTPU-MAO

Como apresentado no capítulo anterior serão analisadas três variáveis do atributo topológico da rede de transportes público urbano:

i) a integração da rede: neste atributo serão estudados a existência de conexões de cada estação da rede metroviária em relação a rede de transporte público rodoviário no qual serão atribuídos os valores 0 (zero) e 1 (um) onde o 0 (zero) significa a ausência de conexão e 1 (um) significa a existência de pelo menos uma conexão entre as duas redes. Como apresentado na equação 5.1 onde  $\lambda_i$  significa o índice de integração;  $C_e$  o número relativo a cada estação do metrô integrada à rede de transporte público sobre pneus e  $N_e$  significa o número de estações pertencentes a rede metroviária. Vale ressaltar que como não existe a integração física entre os modais metrô e ônibus, a conexão entre as duas redes se dará pela proximidade da rede de transporte público rodoviário a no máximo 500 metros da estação do metrô.

$$\lambda_i = \frac{\sum C_e}{N_e} \quad (5.1)$$

ii) a acessibilidade dos centróides das Zonas de Tráfego do Distrito Federal: neste atributo foram estudados o grau de acessibilidade de cada centróide em relação à rede de transporte público urbano, determinado pela distância dos centróides que pode ser representado pela equação 5.2 na qual  $\lambda_a$  é a acessibilidade da zona de tráfego  $i$ ;  $f(\beta C_{ij})$  é a função que descreve o custo representado pela distância, entre o centróide da zona de tráfego  $i$  e a rede de transporte público. O custo será igual 0 (zero) se o centróide estiver localizado até no máximo 500 metros e será igual 1 (um) se estiver em uma distância superior aos 500 metros. A variável  $n$  corresponde ao número de zonas de tráfego.

$$\lambda_a = 1 - \frac{\sum_i f(\beta C_{ij})}{n} \quad (5.2)$$

iii) Conectividade da Rede ( $\lambda_c$ ): esta medida relaciona o número de rotas possíveis entre os centróides das zonas de tráfego utilizando a rede de transporte público ( $\delta_{ij}$ ) e o número de rotas máximo entre as zonas ( $\delta_{\max}$ ) como apresentado na equação 5.3.

$$\lambda_c = \frac{\delta_{ij}}{\delta_{\max}} \quad (5.3)$$

iv) A eficiência das conexões ( $\lambda_e$ ). Esta medida relaciona o quanto as conexões da rede estão sendo eficientes para ligar os seus vértices. Cox (1972) aponta a relação entre a distância do menor caminho no grafo que liga dois vértices ( $d_{ij}$ ) e a distância em linha reta entre estes dois vértices ( $\sigma_{ij}$ ) como apresentado na equação a seguir:

$$\lambda_e = \sum \frac{\sigma_{ij}}{d_{ij}} \quad (5.4)$$

## 5.5. APLICAÇÃO DOS MODELOS DA CONFIABILIDADE E DA RTPU-DF E DA RTPU-MAO

Esta etapa consiste na aplicação dos modelos quanto à confiabilidade na RTPU-DF e na RTPU-MAO. Vale ressaltar que o primeiro item referente à integração entre as redes será somente aplicado na RTPU-DF uma vez que a RTPU-MAO só possui ônibus.

### 5.5.1. Aplicação do modelo para identificação da confiabilidade da RTPU-DF

i) Cálculo da integração entre a rede de transporte público urbano sobre pneus e rede de transporte metro-ferroviário. No quadro 5.2. serão apresentados os valores de  $C_e$  para cada estação da Rede de transporte Metroviária do Distrito Federal.

Quadro 5.2. Valor da Integração de cada estação do Metrô-DF

| Estação | $C_e$ | Estação | $C_e$ | Estação | $C_e$ | Estação | $C_e$ |
|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| CTL     | 1     | 114     | 1     | EPQ     | 1     | CEI     | 1     |
| GAL     | 1     | ASA     | 1     | REL     | 1     | TAS     | 1     |
| 102     | 1     | SHP     | 1     | ONO     | 1     | FUR     | 1     |
| 104     | 1     | FEI     | 1     | MET     | 1     | SAS     | 1     |
| 106     | 1     | GUA     | 1     | CES     | 1     | SAM     | 1     |
| 108     | 1     | ARN     | 1     | GBA     | 1     |         |       |
| 110     | 1     | CLA     | 1     | CBC     | 1     |         |       |
| 112     | 1     | CON     | 1     | CEN     | 1     |         |       |

- $\lambda_i = \frac{\sum C_e}{N_e}$
- $\lambda_i = \frac{29}{29} = 1$
- $\lambda_i = 1$
- $C_e$  = número relativo a cada estação do metrô integrada a Rede do Transporte Público
- 0 = sem integração
- 1 = com integração

ii) Cálculo da acessibilidade dos centróides das Zonas de Tráfego do Distrito Federal (Figura 5.6. pág.61). No quadro 5.3 serão apresentados os valores dos custos para cada centróide em relação ao RTPU-DF.

Quadro 5.3. Valor da acessibilidade de cada centróide da RTPU-DF

| Centróide | $F(BC_{ij})$ |
|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
| 1         | 0            | 54        | 0            | 108       | 0            | 162       | 0            | 216       | 0            | 270       | 0            |
| 2         | 0            | 55        | 0            | 109       | 0            | 163       | 0            | 217       | 0            | 271       | 0            |
| 3         | 0            | 56        | 0            | 110       | 0            | 164       | 0            | 218       | 0            | 272       | 0            |
| 4         | 0            | 57        | 0            | 111       | 0            | 165       | 0            | 219       | 0            | 273       | 0            |
| 5         | 0            | 58        | 0            | 112       | 0            | 166       | 0            | 220       | 0            | 274       | 0            |
| 6         | 0            | 59        | 0            | 113       | 0            | 167       | 0            | 221       | 0            | 275       | 0            |
| 7         | 0            | 60        | 0            | 114       | 0            | 168       | 0            | 222       | 0            | 276       | 0            |
| 8         | 0            | 61        | 0            | 115       | 0            | 169       | 0            | 223       | 0            | 277       | 0            |
| 9         | 0            | 62        | 0            | 116       | 0            | 170       | 0            | 224       | 1            | 278       | 0            |
| 10        | 0            | 63        | 0            | 117       | 0            | 171       | 0            | 225       | 1            | 279       | 0            |
| 11        | 0            | 64        | 0            | 118       | 0            | 172       | 0            | 226       | 0            | 280       | 0            |
| 12        | 0            | 65        | 0            | 119       | 0            | 173       | 0            | 227       | 0            | 281       | 0            |
| 13        | 0            | 66        | 0            | 120       | 0            | 174       | 0            | 228       | 0            | 282       | 0            |
| 14        | 0            | 67        | 0            | 121       | 0            | 175       | 0            | 229       | 0            | 283       | 1            |
| 15        | 0            | 68        | 0            | 122       | 0            | 176       | 0            | 230       | 0            | 284       | 1            |
| 16        | 0            | 69        | 0            | 123       | 0            | 177       | 0            | 231       | 0            | 285       | 1            |
| 17        | 0            | 70        | 0            | 124       | 0            | 178       | 0            | 232       | 0            | 286       | 1            |
| 18        | 0            | 71        | 0            | 125       | 0            | 179       | 1            | 233       | 0            | 287       | 1            |
| 19        | 0            | 72        | 0            | 126       | 0            | 180       | 0            | 234       | 0            | 288       | 1            |
| 20        | 0            | 73        | 0            | 127       | 0            | 181       | 0            | 235       | 0            | 289       | 0            |
| 21        | 0            | 74        | 0            | 128       | 0            | 182       | 0            | 236       | 0            | 290       | 0            |
| 22        | 0            | 75        | 0            | 129       | 0            | 183       | 0            | 237       | 0            | 291       | 0            |
| 23        | 0            | 76        | 1            | 130       | 1            | 184       | 0            | 238       | 0            | 292       | 0            |
| 24        | 0            | 77        | 0            | 131       | 1            | 185       | 0            | 239       | 1            | 293       | 0            |
| 25        | 0            | 78        | 0            | 132       | 0            | 186       | 0            | 240       | 0            | 294       | 0            |
| 26        | 0            | 79        | 0            | 133       | 0            | 187       | 0            | 241       | 0            | 295       | 0            |
| 27        | 0            | 80        | 0            | 134       | 0            | 188       | 0            | 242       | 0            | 296       | 0            |
| 28        | 0            | 81        | 0            | 135       | 0            | 189       | 0            | 243       | 1            | 297       | 0            |
| 29        | 0            | 82        | 0            | 136       | 0            | 190       | 0            | 244       | 0            | 298       | 0            |
| 30        | 0            | 83        | 0            | 137       | 0            | 191       | 0            | 245       | 0            | 299       | 0            |
| 31        | 0            | 84        | 0            | 138       | 1            | 192       | 0            | 246       | 0            | 300       | 0            |
| 32        | 0            | 85        | 0            | 139       | 0            | 193       | 0            | 247       | 0            | 301       | 0            |
| 33        | 0            | 86        | 0            | 140       | 0            | 194       | 0            | 248       | 0            | 302       | 0            |
| 34        | 0            | 87        | 0            | 141       | 0            | 195       | 0            | 249       | 0            | 303       | 0            |
| 35        | 0            | 88        | 1            | 142       | 0            | 196       | 0            | 250       | 0            | 304       | 0            |
| 36        | 0            | 89        | 1            | 143       | 0            | 197       | 0            | 251       | 1            | 305       | 0            |
| 37        | 0            | 90        | 0            | 144       | 0            | 198       | 0            | 252       | 1            | 306       | 0            |
| 38        | 0            | 91        | 0            | 145       | 0            | 199       | 0            | 253       | 0            | 307       | 0            |
| 39        | 0            | 92        | 0            | 146       | 0            | 200       | 0            | 254       | 0            | 308       | 0            |
| 40        | 0            | 93        | 0            | 147       | 0            | 201       | 0            | 255       | 0            | 309       | 0            |
| 41        | 0            | 94        | 1            | 148       | 0            | 202       | 0            | 256       | 1            | 310       | 0            |
| 42        | 0            | 95        | 1            | 149       | 0            | 203       | 0            | 257       | 1            | 311       | 0            |
| 43        | 1            | 96        | 0            | 150       | 0            | 204       | 0            | 258       | 0            | 312       | 1            |

|    |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
|----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|
| 44 | 0 | 97  | 0 | 151 | 0 | 205 | 0 | 259 | 0 | 313 | 1 |
| 45 | 0 | 98  | 0 | 152 | 0 | 206 | 0 | 260 | 0 | 314 | 0 |
| 46 | 0 | 99  | 0 | 153 | 0 | 207 | 0 | 261 | 0 | 315 | 1 |
| 47 | 0 | 100 | 0 | 154 | 0 | 208 | 0 | 262 | 0 | 316 | 0 |
| 48 | 0 | 101 | 1 | 155 | 0 | 209 | 0 | 263 | 0 | 317 | 0 |
| 49 | 0 | 102 | 0 | 156 | 0 | 210 | 0 | 264 | 0 | 318 | 0 |
| 50 | 0 | 103 | 0 | 157 | 0 | 211 | 0 | 265 | 0 | 319 | 0 |
| 51 | 0 | 104 | 0 | 158 | 0 | 212 | 0 | 266 | 0 | 320 | 0 |
| 52 | 0 | 105 | 0 | 159 | 0 | 213 | 0 | 267 | 0 | 321 | 0 |
| 53 | 0 | 106 | 0 | 160 | 0 | 214 | 0 | 268 | 0 | 322 | 0 |
| 54 | 0 | 107 | 0 | 161 | 0 | 215 | 0 | 269 | 0 | 323 | 0 |
|    |   |     |   |     |   |     |   |     |   | 324 | 0 |

- $\lambda_{adf} = 1 - \frac{\sum_i f(\beta C_{ij})}{n}$
- $\lambda_{adf} = 1 - \frac{34}{324}$
- $\lambda_{adf} = 0,895062$

A seguir será representado espacialmente pela Figura 5.10 os centróides das zonas de tráfego que são considerados acessíveis, isto é, estão localizados a no máximo 500 metros da RTPU-DF.

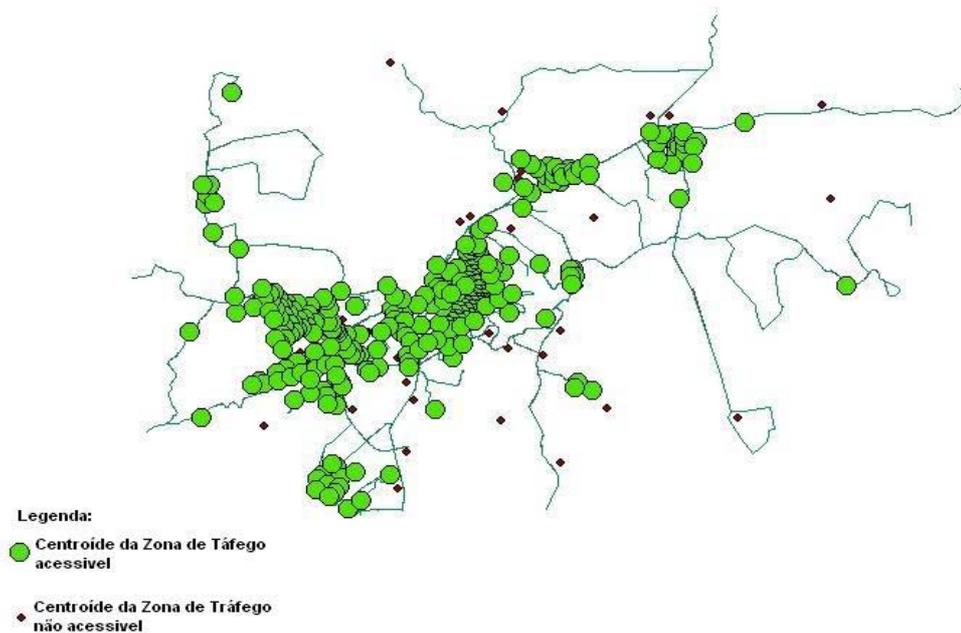


Figura 5.10. Acessibilidade da RTPU-DF

Com base na Figura 5.10 pode-se perceber que a maioria dos centróides não acessíveis encontra-se na parte periférica da rede.

iii) Conectividade da Rede. No quadro a seguir serão apresentados os valores referentes ao número de máximo de rotas possíveis e o número de rotas existentes na RTPU-DF

Quadro 5.4. Valor da conectividade da RTPU-DF

|   |        |
|---|--------|
| Número de rotas possíveis ( $\delta_{\max}$ ) | 104976 |
| Número de rotas existentes ( $\delta_{ij}$ )  | 84100  |

- $\lambda_c = \frac{\delta_{ij}}{\delta_{\max}}$
- $\lambda_c = \frac{84100}{104876}$
- $\lambda_c = 0,80114$

iv) A eficiência das conexões. No quadro a seguir serão apresentados alguns valores referentes às rotas.

Quadro 5.5. Valor da eficiência das conexões da RTPU-DF

| Rota                        | Origem | Destino | Distancia real ( $d_{ij}$ ) | Distancia ideal ( $\sigma_{ij}$ ) |
|-----------------------------|--------|---------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Location 323 - Location 286 | 323    | 286     | 83,14                       | 67,57                             |
| Location 288 - Location 240 | 288    | 240     | 92,84                       | 68,3462                           |
| Location 288 - Location 323 | 288    | 323     | 103,44                      | 78,8172                           |
| Location 321 - Location 288 | 321    | 288     | 131,36                      | 80,3706                           |

- $\lambda_e = \sum \frac{\sigma_{ij}}{d_{ij}}$
- $\lambda_e = 0,70278$

v) Cálculo da Confiabilidade. Para aplicação do modelo tem que primeiramente relembrar alguns conceitos básicos. A estrutura funcional adotada é a em série uma vez que se um dos elementos apresentados não ocorresse, a confiabilidade da RTPU-DF seria nula.

- $R = \prod_{i=1}^n \lambda_i$
- $R = \lambda_i \cdot \lambda_a \cdot \lambda_c \cdot \lambda_e$
- $R = (1) \cdot (0,89062) \cdot (0,80114) \cdot (0,70278)$
- $R = 0,50394$

### 5.5.2. Aplicação do modelo para identificação da confiabilidade da RTPU-MAO

i) Cálculo da acessibilidade dos centróides das Zonas de Tráfego da cidade de Manaus. No quadro 5.6 serão apresentados os valores do custo para cada centróide em relação ao RTPU-DF

Quadro 5.6. Valor da acessibilidade dos centróides da RTPU-MAO

| Centroíde | f(Bcij) |
|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
| 1         | 1       | 13        | 0       | 25        | 0       | 37        | 0       | 49        | 0       | 61        | 0       |
| 2         | 0       | 14        | 0       | 26        | 0       | 38        | 0       | 50        | 0       | 62        | 0       |
| 3         | 0       | 15        | 0       | 27        | 0       | 39        | 1       | 51        | 0       | 63        | 0       |
| 4         | 0       | 16        | 0       | 28        | 0       | 40        | 0       | 52        | 0       | 64        | 0       |
| 5         | 0       | 17        | 0       | 29        | 0       | 41        | 1       | 53        | 0       | 65        | 0       |
| 6         | 0       | 18        | 0       | 30        | 0       | 42        | 0       | 54        | 0       | 66        | 0       |
| 7         | 0       | 19        | 0       | 31        | 0       | 43        | 0       | 55        | 1       | 67        | 0       |
| 8         | 0       | 20        | 0       | 32        | 0       | 44        | 0       | 56        | 0       | 68        | 0       |
| 9         | 0       | 21        | 0       | 33        | 0       | 45        | 0       | 57        | 1       | 69        | 0       |
| 10        | 0       | 22        | 0       | 34        | 0       | 46        | 0       | 58        | 0       | 70        | 0       |
| 11        | 0       | 23        | 0       | 35        | 0       | 47        | 0       | 59        | 0       | 71        | 0       |
| 12        | 0       | 24        | 0       | 36        | 0       | 48        | 0       | 60        | 0       | 72        | 0       |

- $\lambda_{mao} = 1 - \frac{\sum_i f(\beta C_{ij})}{n}$
- $\lambda_{mao} = 1 - \frac{5}{72}$
- $\lambda_{mao} = 0,930556$

A seguir será representado espacialmente pela Figura 5.11 os centróides das zonas de tráfego que são considerados acessíveis, isto é, estão localizados a no máximo 500 metros da RTPU-MAO.

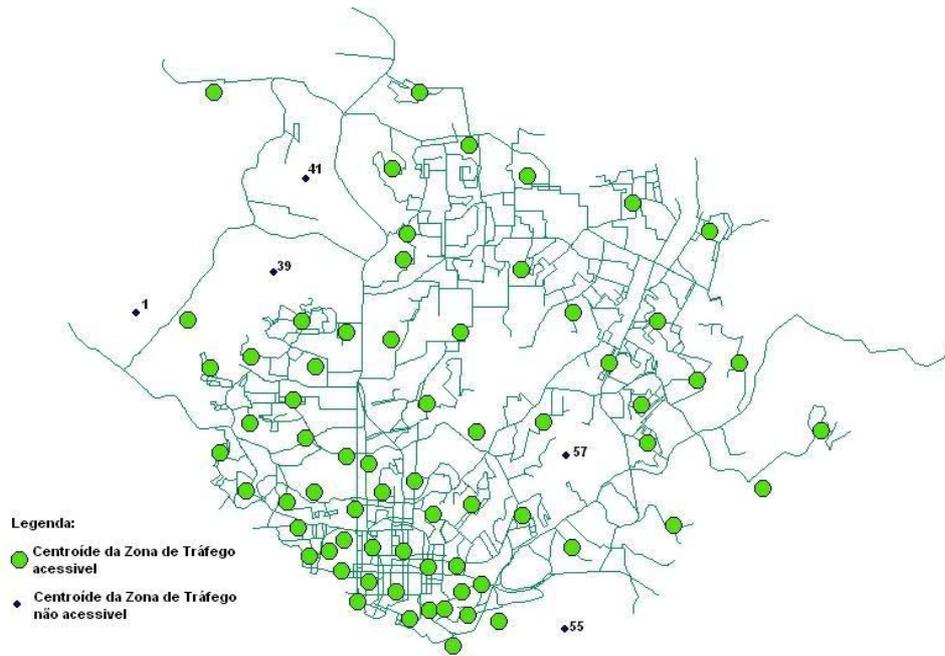


Figura 5.11. Acessibilidade dos centróides da RTPU-MAO

ii) Conectividade da Rede. No quadro a seguir serão apresentados os valores referentes ao número de máximo de rotas possíveis e o número de rotas existentes na RTPU-MAO.

Quadro 5.7. Valores da conectividade da RTPU-MAO

|   |      |
|---|------|
| Número de rotas possíveis ( $\delta_{\max}$ ) | 5184 |
| Número de rotas existentes ( $\delta_{ij}$ )  | 4489 |

- $\lambda_c = \frac{\delta_{ij}}{\delta_{\max}}$
- $\lambda_c = \frac{4489}{5184}$
- $\lambda_c = 0,865934$

iii) A eficiência das conexões. No quadro a seguir serão apresentados alguns valores referentes às rotas,

Quadro 5.9. Valores da eficiência das conexões da RTPU-MAO

| Rota                      | Origem | Destino | Distancia real ( $d_{ij}$ ) | Distancia ideal ( $\sigma_{ij}$ ) |
|---------------------------|--------|---------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Location 40 - Location 72 | 40     | 72      | 20,1696                     | 13,99                             |
| Location 51 - Location 70 | 51     | 70      | 8,9258                      | 6,51                              |
| Location 51 - Location 45 | 51     | 45      | 8,3197                      | 6,28                              |
| Location 4 - Location 24  | 4      | 24      | 6,5808                      | 5,21                              |

- $\lambda_e = \sum \frac{\sigma_{ij}}{d_{ij}}$
- $\lambda_e = 0,745924$

v) Cálculo da Confiabilidade. Para aplicação do modelo tem que primeiramente relembrar alguns conceitos básicos. A estrutura funcional adotada é a em série uma vez que se um dos elementos apresentados não ocorresse a confiabilidade da RTPU-MAO seria nula.

- $R = \prod_{i=1}^n \lambda_i$
- $R = \lambda_a \cdot \lambda_c \cdot \lambda_e$
- $R = (0,930556) \cdot (0,865934) \cdot (0,745924)$
- $R = 0,601065$

## **6. ANÁLISE DOS RESULTADOS**

### **6.1. APRESENTAÇÃO**

A metodologia proposta no capítulo 4 foi aplicada em duas localidades diferentes: Distrito Federal e a cidade de Manaus, que possuem algumas características em comum e outras características divergentes. A análise realizada foi quantitativa com base nos elementos fornecidos pelo conceito de confiabilidade apresentado no capítulo 2, que corresponde à capacidade da RTPU em desempenhar adequadamente a sua função, por um determinado período de tempo e sob condições pré-determinadas. Esta pesquisa foi baseada na confiabilidade da função conectiva da RTPU em relação à sua topologia baseado nos seguintes preceitos:

i) Integração entre as redes existentes: Diz respeito à integração entre redes de diferentes modais com o objetivo de se constituir uma Rede de transporte Público Urbano (RTPU). Neste caso a integração foi considerada confiável se uma rede estiver localizada a no máximo 500 metros da outra rede.

ii) Acessibilidade dos centróides das zonas de tráfego (ZT) em relação a Rede de transporte Público Urbano: Mensurada através da proximidade dos centróides das ZTs em relação a RTPU. Isto é, o centróide foi considerado acessível se o mesmo localizar a no máximo 500 metros da RTPU.

iii) Conectividade da RTPU: Refere-se ao número máximo de rotas entre os centróides utilizando a RTPU em relação ao número de rotas existentes. Quanto mais próximo de 1 (um) for essa relação melhor conectada estará a RTPU e por conseqüência mais confiável a mesma estará.

iv) Eficiência das conexões: Diz respeito à relação entre a distância percorrida para ir do centróide i ao centróide j utilizando a RTPU e a distância em linha reta entre esse dois pontos. Quanto mais próximo de 1 (um) for essa relação mais eficiente estará a RTPU e por conseqüência, mais confiável a mesma será.

### **6.2. ANÁLISE GERAL DA CONFIABILIDADE DA RTPU-DF**

Para a melhor interpretação dos resultados obtidos referente à confiabilidade da RTPU-DF deve-se analisar primeiramente as questões referentes à relação entre a rede e a evolução

do tecido urbano no qual ela está inserida. Em seguida serão analisados cada um dos quatro índices que compõe o índice referente à confiabilidade.

### **6.2.1. A Evolução do tecido urbano do Distrito Federal e a constituição da RTPU-DF**

Uma das principais características do Distrito Federal é o fato do mesmo ser formado por Regiões Administrativas dentre as quais se destaca principalmente Brasília. Como já apresentado no capítulo 5, esta possui aproximadamente 80% dos postos de trabalhos e menos de 20% da população. Esses dados já representam as características principais da polarização do Distrito Federal e a constituição de movimentos pendulares tendo como origem as RAs e como destino a RA Brasília.

Um indicador dessa dependência são fluxos populacionais entre as RAs identificados pela Pesquisa O/D de 2000. Das 148.849 viagens entre as 19 Regiões Administrativas (RAs), 56,5% são atraídas pela RA Brasília, seguida pela RA Gama, com 17,54%, e pela RA Taguatinga, com 7,52%. As demais Regiões atraem os 25,53% das viagens restantes. A centralidade do Distrito Federal também é bem expressiva em termos de viagens. Diariamente (em um dia útil) entram, em média, 152.649 veículos no Distrito Federal com origem no Entorno, sendo que, dessas viagens, 66,21% possuem o trabalho como motivo principal.

Os processos de periferização, de aumento da desigualdade na distribuição espacial de estruturas públicas, de empregos e de capital humano tendem a aumentar essa dependência das RAs em relação a Brasília. A consequência disso, dentre outros inúmeros fatores, é a necessidade de realizar deslocamentos de longa distância com seus consequentes desgastes (principalmente monetário e de tempo) que daí decorrem.

Os custos dessas longas viagens podem ser apontados como uma barreira sócioeconômica para a mobilidade espacial e, conseqüentemente, de satisfação de suas necessidades e/ou aproveitamento de oportunidades. Como indício, nota-se que os diferenciais de renda e motorização individual constituem os principais fatores explicativos das variações de intensidade ou freqüência das viagens motorizadas realizadas (CODEPLAN, 2002). Segundo o relatório, conclui-se que as localidades que dispõem de renda domiciliar mensal mais elevada são exatamente aquelas cujas populações detêm maiores índices de mobilidade pessoal motorizada.

Da estrutura espacial do Distrito Federal, por conseguinte, possui características similares ao *Hub*, que é caracterizado por um nó central de onde são distribuídas as pessoas ao longo da rede. Entretanto, o Distrito Federal tem como característica uma área central (Brasília) que é receptora de pessoas proveniente das outras RÃS, no qual o ponto central desses deslocamentos é a Rodoviária do Plano Piloto, como apresentado na Figura 6.1.

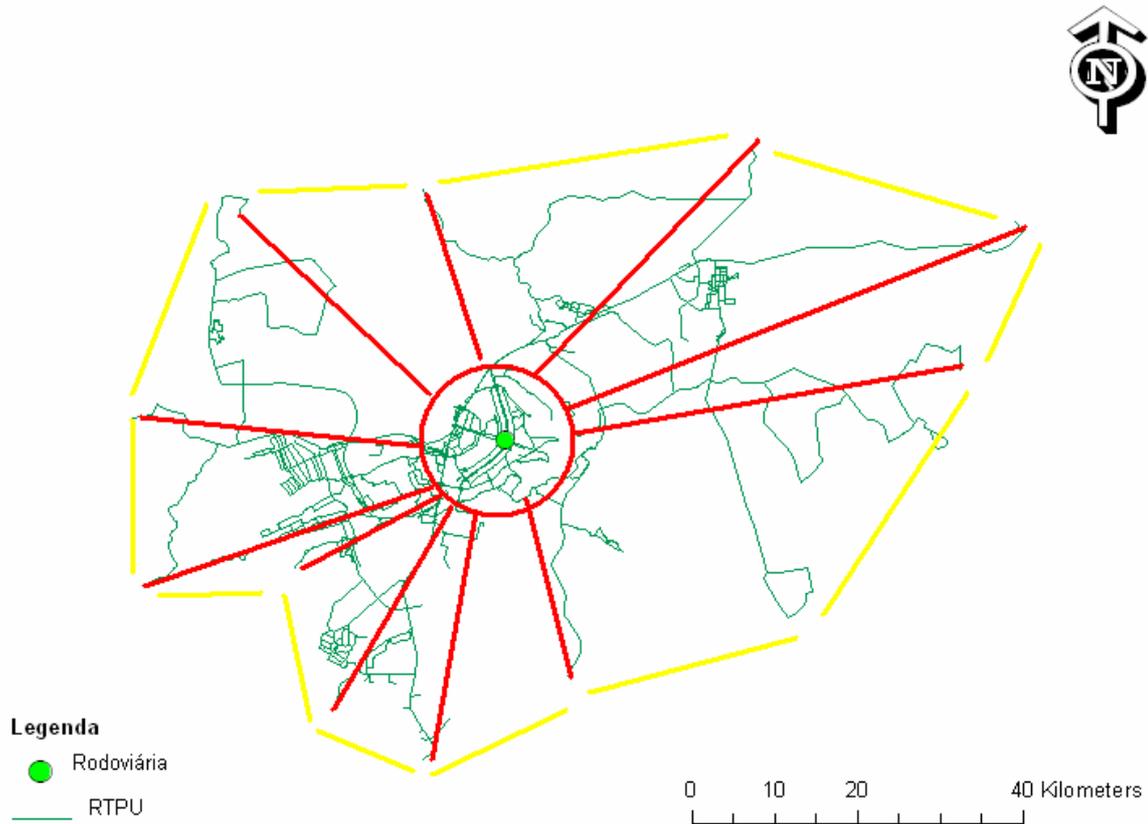


Figura 6.1. Esquema demonstrativo da polarização da RTPU-DF

### 6.2.2. Análise da integração entre a rede de transporte sobre pneus e a rede de transporte metroviária do Distrito Federal

Como já apresentado no capítulo anterior não existe no Distrito Federal, até o momento, uma integração física e/ou tarifária entre o as duas redes que compõe a RTPU-DF. Entretanto, como já observado nenhuma das 29 estações do Metrô-DF estão localizadas a uma distância superior a 500 metros da rede de transporte sobre pneus (Figura 6.2.). Essa situação demonstra o alto potencial de integração entre as duas redes.

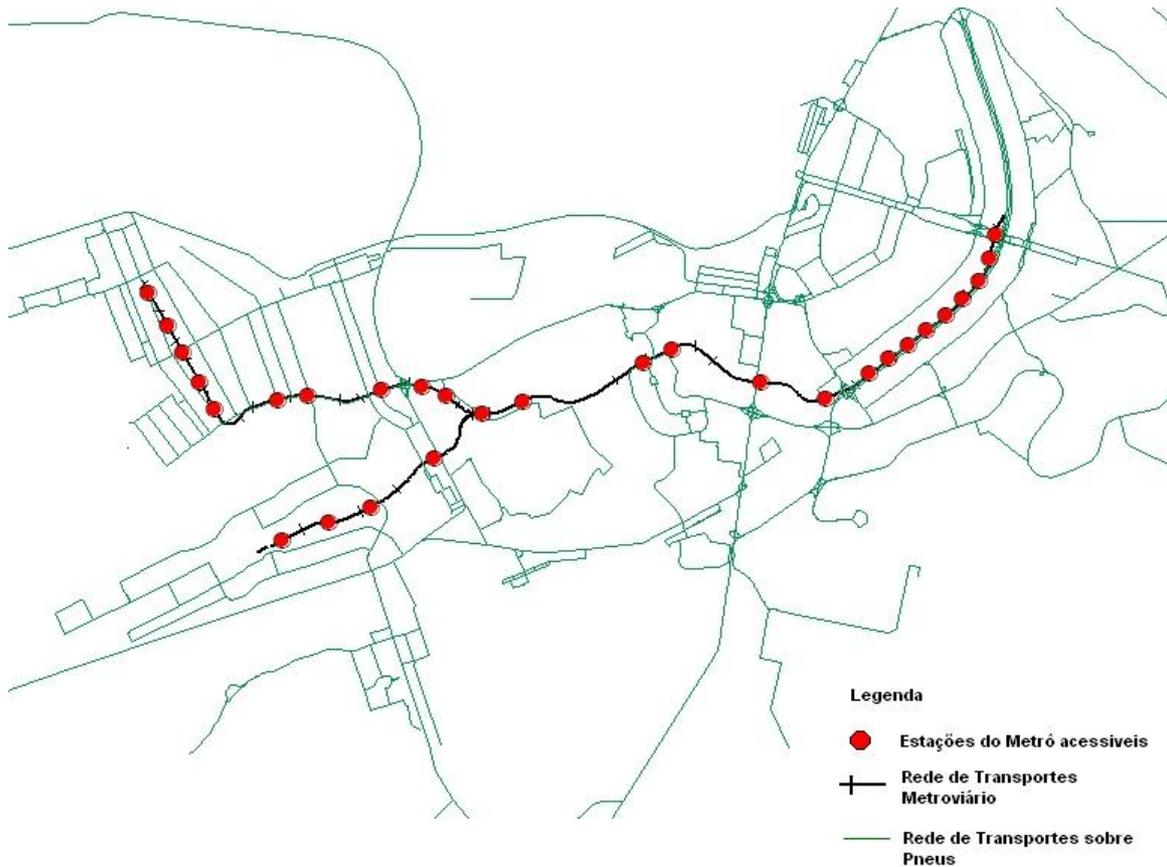


Figura 6.2. Estações do Metrô-DF

### 6.2.3. Análise da acessibilidade dos centróides das zonas de tráfego em relação a RTPU-DF

A acessibilidade dos centróides das zonas de tráfego em relação a RTPU-DF é alta principalmente nas ZTs da região central do Distrito Federal. Esse é um dos dados que justificam a polarização do Distrito Federal uma vez que a região central possui mais equipamentos e infra-estrutura do que as regiões mais periféricas, como apresentados pela Figura 6.3. Nesse quesito a confiabilidade foi satisfatória uma vez que 89,5% dos centróides estão localizados a no máximo 500 metros da RTPU-DF.

Como já apresentado anteriormente, essa maior acessibilidade na região central do Distrito Federal deve-se principalmente por causa da sua estrutura urbana, uma vez que possui uma característica de um espaço polinucleado (formado pelas cidades satélites) mas com forte polarização no Plano Piloto (área com melhor acessibilidade)

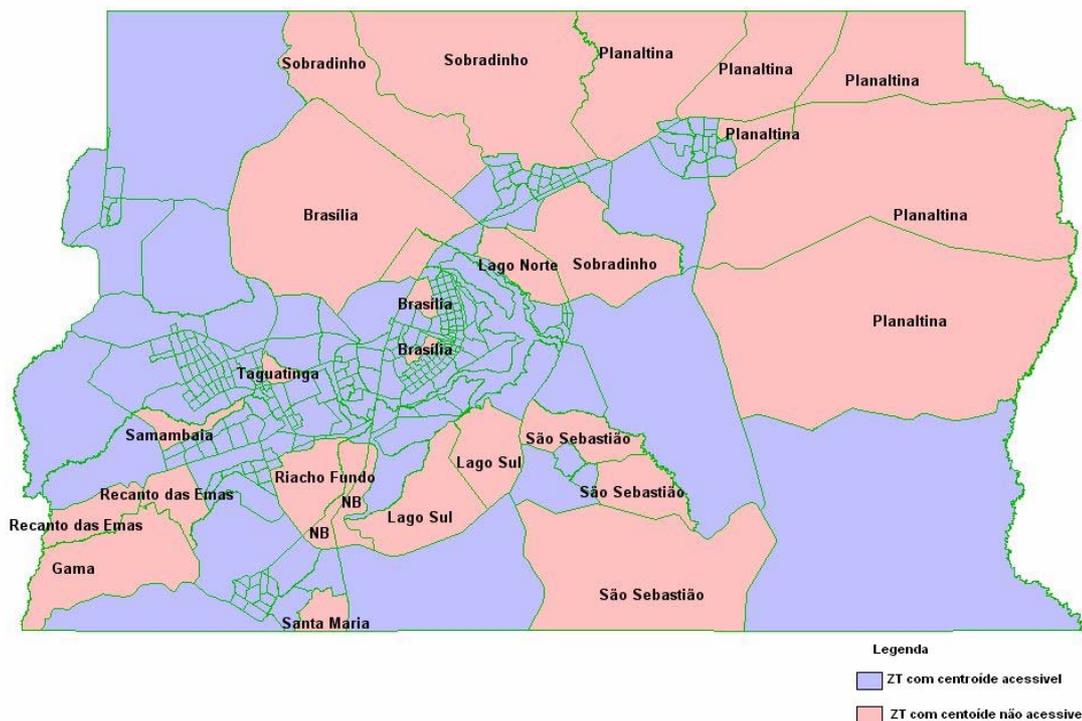


Figura 6.3. Zonas de Tráfego com centróide acessível – Distrito Federal

#### 6.2.4. Análise da conectividade da RTPU-DF

De forma análoga ao item anterior a relação entre o número de rotas máximo possíveis e o número de rotas existentes é de 0,80114 isso revela o alto grau de conectividade da rede. Este valor não foi mais satisfatório devido ao falta de 10,5% dos centróides não serem acessíveis, uma vez que estão a mais de 500 metros da RTPU.

#### 6.2.5. Análise da eficiência das conexões da RTPU-DF

Dentre todos itens esse é o que mais reflete a polarização do Distrito Federal e, por conseqüência a existência de várias linhas radiais na RTPU-DF. Uma das principais características é devido ao fato da maioria das linhas terem como destino e/ou origem a Rodoviária do Plano Piloto, isto é, ao invés do indivíduo se deslocar de forma direta entre o ponto de origem i e o ponto de destino j ele tem que passar pela região central. Outra característica da RTPU-DF é o baixo número de linhas transversais. Esse foi o item com o resultado mais baixo 0,70278.

As Figuras 6.4, 6.5, 6.6 e 6.7 representam a relação existente entre a distância real entre os centróides utilizando a RTPU-DF e a distância em linha reta entre os mesmos.

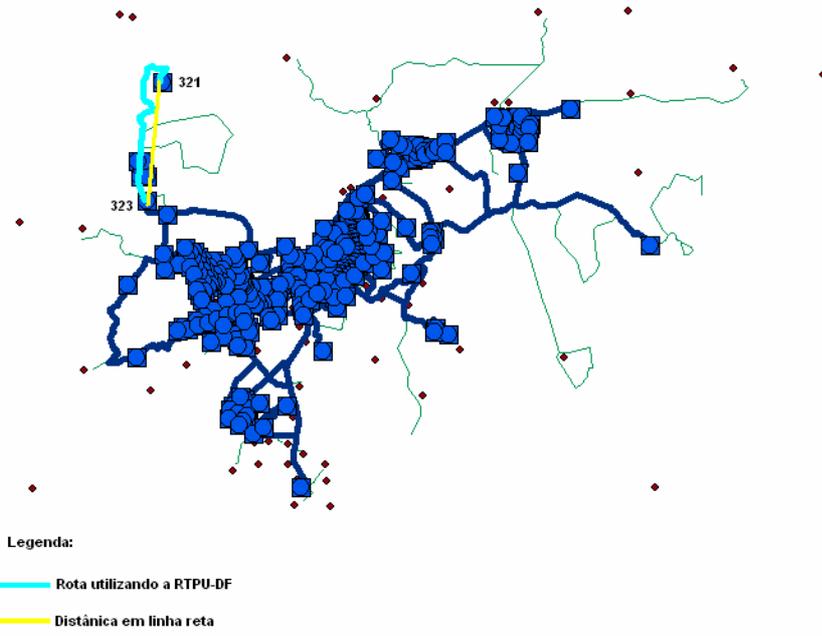


Figura 6.4. Eficiência da conexão entre os centróides 321 e 323 da RTPU-DF

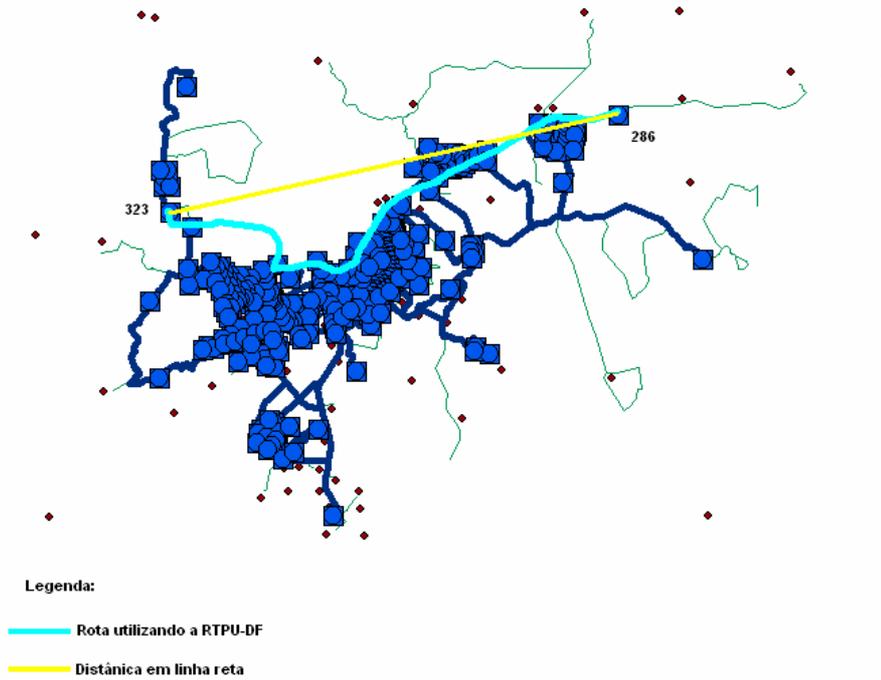


Figura 6.5. Eficiência da conexão entre os centróides 286 e 323 da RTPU-DF

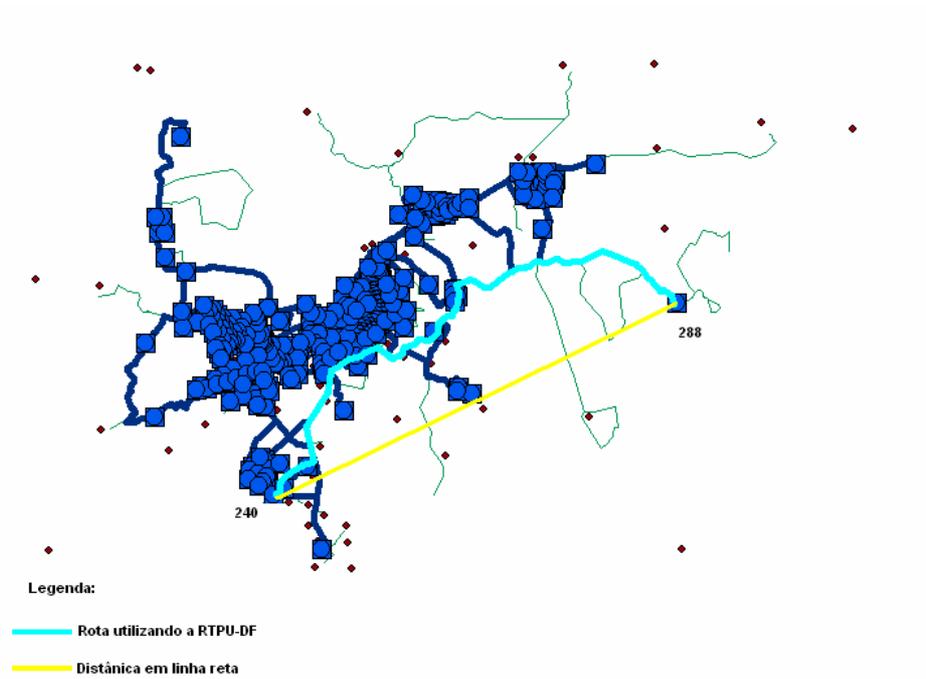


Figura 6.6. Eficiência da conexão entre os centróides 240 e 288 da RTPU-DF

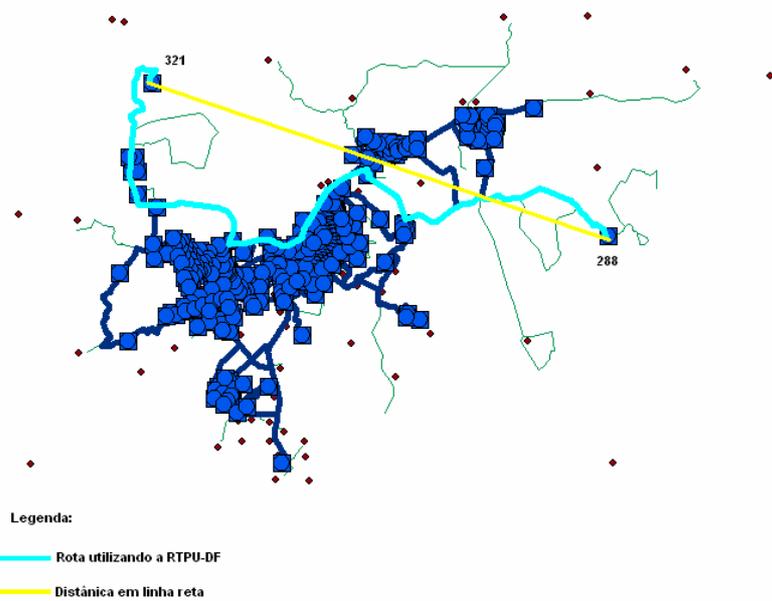


Figura 6.7. Eficiência da conexão entre os centróides 321 e 288 da RTPU-DF

### **6.3. ANÁLISE GERAL DA CONFIABILIDADE DA RTPU-MAO**

Para a melhor interpretação dos resultados obtidos referente a confiabilidade da RTPU-MAO deve-se analisar primeiramente as questões referentes à relação entre a rede e a evolução do tecido urbano no qual ela está inserida. Em seguida serão analisados cada um dos três índices que compõe o índice referente a confiabilidade.

#### **6.3.1. A Evolução do tecido urbano de Manaus e a constituição da RTPU-MAO**

O município de Manaus, capital do estado do Amazonas, está localizado na Região Norte do Brasil, no centro geográfico da Amazônia. Segundo o IBGE, em 2005 apresenta uma população total de 1.800 habitantes. A divisão geográfica compreende seis zonas urbanas (Sul, Centro-Sul, Centro-Oeste, Oeste, Norte e Leste/Decreto Municipal 2.924/95), e tem como limite de área ocupada ao sul, o Rio Negro.

Desde a implantação da Zona Franca de Manaus, em 1967, e a instalação do Distrito Industrial a cidade sofreu uma expansão urbana com grande concentração de atividades econômicas, reflexo de um grande fluxo migratório, do interior do estado e de diversas regiões do país. A ausência de planejamento urbano continuado e a perda do controle do crescimento da cidade com a ocupação desordenada do solo, a ocorrência de invasões de áreas verdes, nas zonas norte e leste, e a poluição dos igarapés provocaram problemas de infra-estrutura urbana e a redução da qualidade de vida da população.

A expansão da área urbana de Manaus foi ocasionada pelo grande crescimento demográfico que a cidade vem enfrentando nas duas últimas décadas. Assim como ocorre nas grandes capitais brasileiras, a ausência de planejamento urbano sistemático e a falta de controle relacionado ao crescimento da cidade ocasionaram sérios problemas ambientais. A grande concentração populacional nas zonas leste e norte, por exemplo, são atualmente responsáveis pelo agravamento de problemas relacionados à ocupação desordenada do solo, destruições da cobertura vegetal, poluição dos corpos d'água e deficiência do saneamento básico (Nogueira *et al*, 2007).

A taxa de crescimento urbano em Manaus tem sido maior que a taxa nacional, apesar de ter sofrido uma queda no último censo. Nos últimos vinte anos o número de migrantes para Manaus (tanto do interior do Estado quanto do resto do país) aumentou significativamente. A zona urbana da cidade passa por um processo de “inchaço populacional”, e não tem mais comportado seu contingente, que cada vez mais se dirige às zonas periféricas da cidade

tomando as áreas chamadas de expansão urbana, em uma ocupação desordenada, rápida e agressiva (Nogueira *et al*, 2007). Como afirma Erostein (2000), não é o avanço da urbanização, sua escala e velocidade que constituem problemas em si, mas o modo como estes ocorrem, relacionados à forma de ocupar o solo, o grau de mobilidade da população, a qualidade dos espaços físicos, etc.

Segundo Nogueira *et al* (2007) o crescimento do espaço urbano de Manaus, atualmente se concentra em direção a Zona Norte da cidade. Essa tendência se deve a várias razões, dentre as zonas pode-se afirmar que as zonas Sul, Centro Sul e Centro Oeste estão consolidadas enquanto espaço urbano em toda sua extensão. A zona Leste, apesar de possuir uma imensa área ainda não ocupada efetivamente, não dispõe mais de espaços, pois a área que pertence a Superintendência da Zona Franca de Manaus representa aproximadamente 45% do total da Zona Leste. A Zona Oeste que possui a maior área ainda não ocupada é hoje um dos espaços de maior especulação imobiliária para futuros empreendimentos habitacionais de alto custo, como pode ser observado pela Figura 6.8., na qual se destaca o centro de Manaus com o maior número de Pólo Geradores de Viagens (PGVs) e o maior número de arcos em relação a RTPU-MAO.

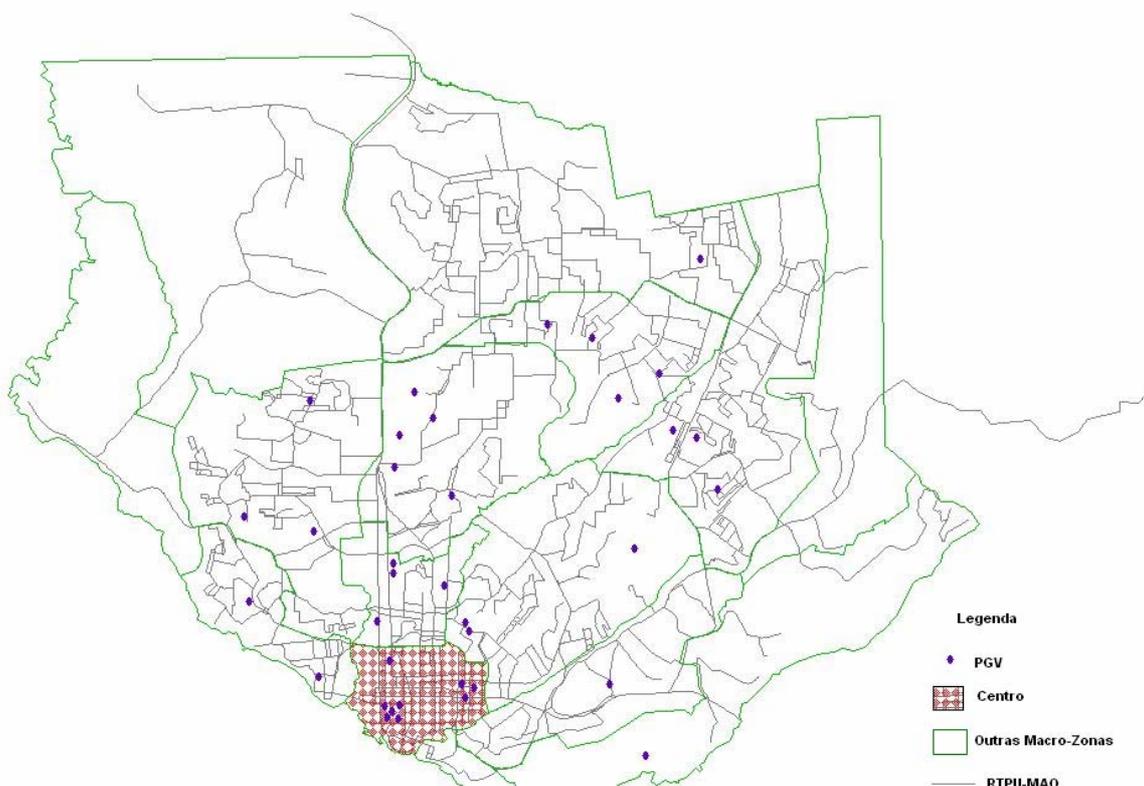


Figura 6.8. Relação entre o Centro de Manaus de a RTPU-MAO

### 6.3.2. Análise da acessibilidade dos centróides das zonas de tráfego em relação a RTPU-MAO

A acessibilidade dos centróides das zonas de tráfego em relação a RTPU-MAO é alta principalmente nas ZTs da região sul de Manaus. Nesse quesito a confiabilidade foi satisfatória uma vez que 93,05% dos centróides estão localizados a no máximo 500 metros da RTPU-MAO, como apresentado pela Figura 6.9.

Pode-se perceber que, diferente da estrutura apresentada no Distrito Federal, a cidade de Manaus possui uma estrutura mais compacta uma vez que é limitada por barreiras naturais como, por exemplo, a Floresta Amazônica ao norte e o Rio Negro ao sul da cidade. Por possuir tal característica apresenta uma melhor distribuição dos equipamentos de infraestrutura e um melhor índice de acessibilidade.

Outro fator interessante em relação à estrutura espacial da cidade da Manaus é que o centro está deslocado ao sul da cidade às margens do Rio Negro. Isso deve-se a forma de evolução do tecido urbano, como abordado anteriormente.

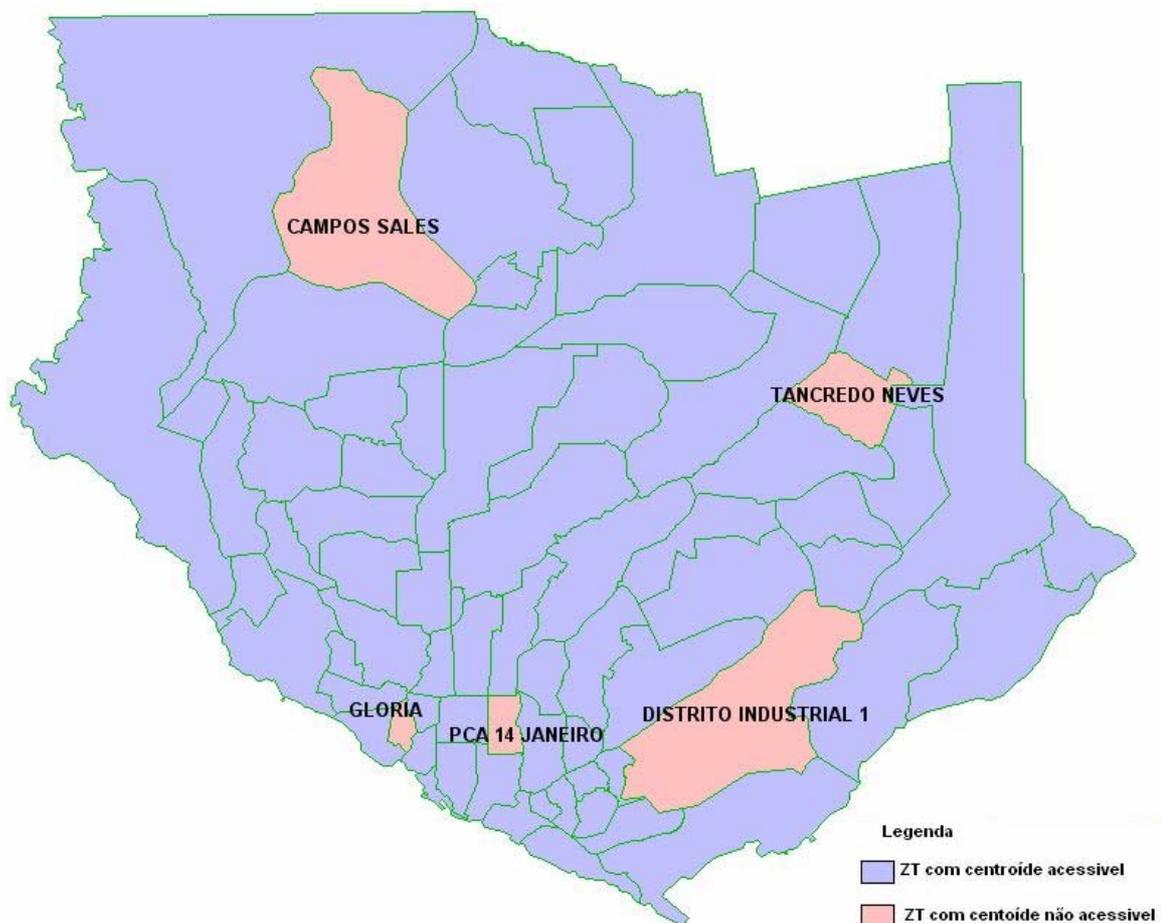


Figura 6.9. Zonas de Tráfego com centróide acessível – Distrito Federal

### 6.3.3. Análise da conectividade da RTPU-MAO

De forma análoga ao item anterior, a relação entre o número máximo de rotas possíveis e o número de rotas existentes é de 0,865934, o que revela o alto grau de conectividade da rede. O índice só não foi mais satisfatório devido a falta de 6,95% dos centróides não serem acessíveis uma vez que estão a mais de 500 metros da RTPU.

### 7.3.4. Análise da eficiência das conexões da RTPU-MAO

Dentre todos itens esse é o que reflete o formato tronco - alimentador da RTPU-MAO. Uma das principais características é devido ao fato da maioria das linhas terem como destino e/ou origem a região sul da cidade considerada o centro. Outra característica da RTPU-MAO, assim como na RTPU-DF, é o baixo número de linhas transversais. Esse foi o item com o resultado mais baixo 0,745924

As Figuras 6.10, 6.11, 6.12 e 6.13 representam a relação existente entre a distância real entre os centróides utilizando a RTPU-MAO e a distância em linha reta entre os mesmos.



Figura 6.10. Eficiência da conexão entre os centróides 4 e 24

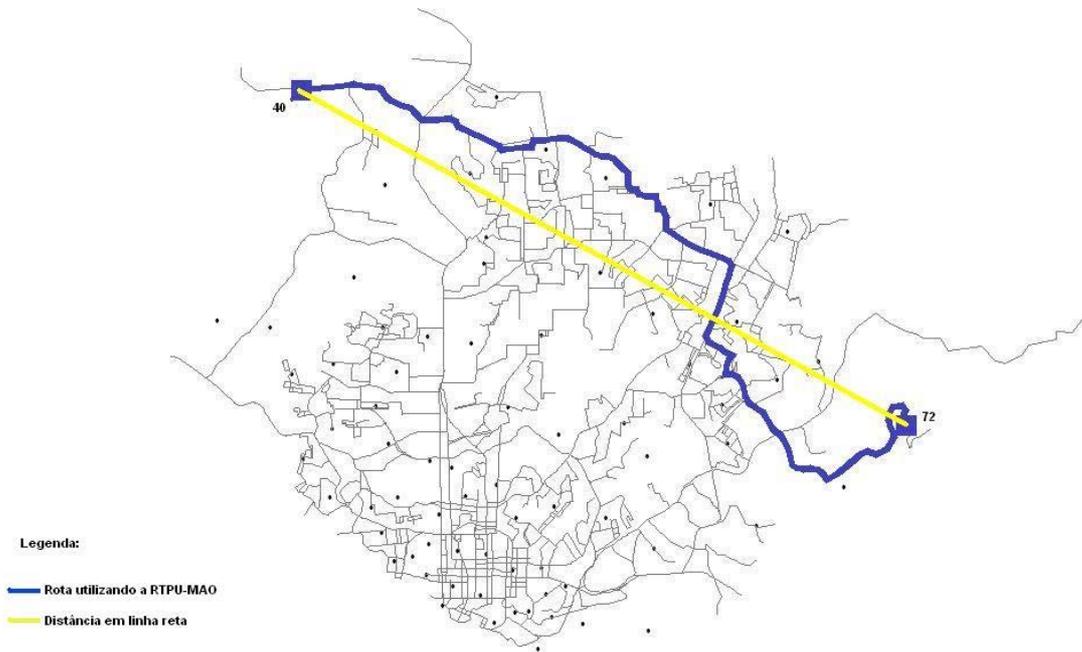


Figura 6.11. Eficiência da conexão entre os centróides 40 e 72

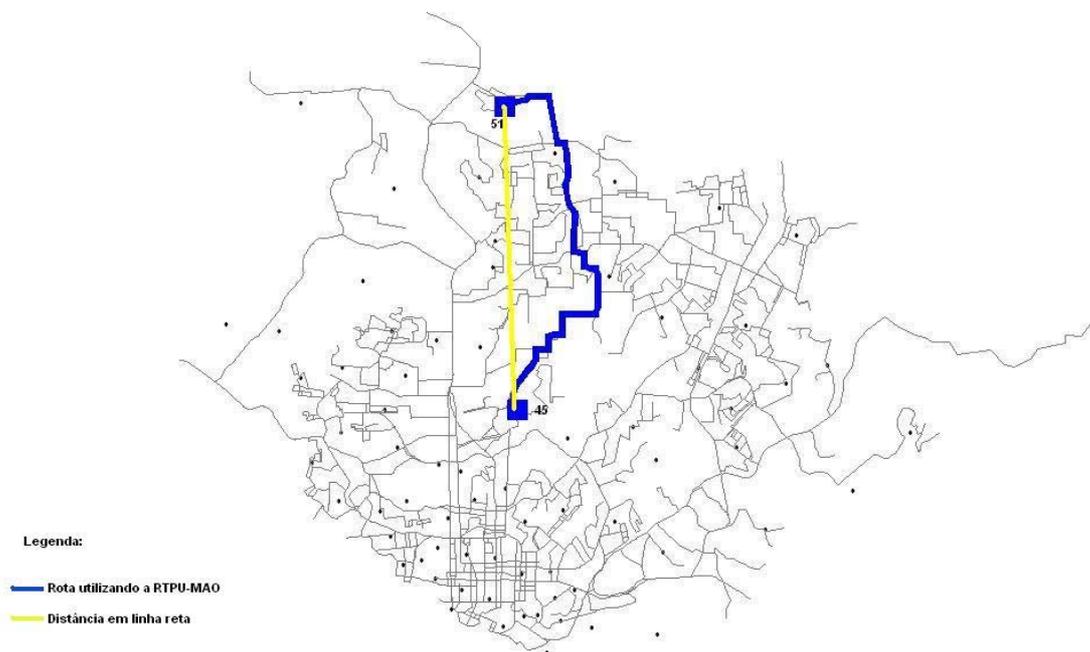


Figura 6.12. Eficiência da conexão entre os centróides 45 e 51

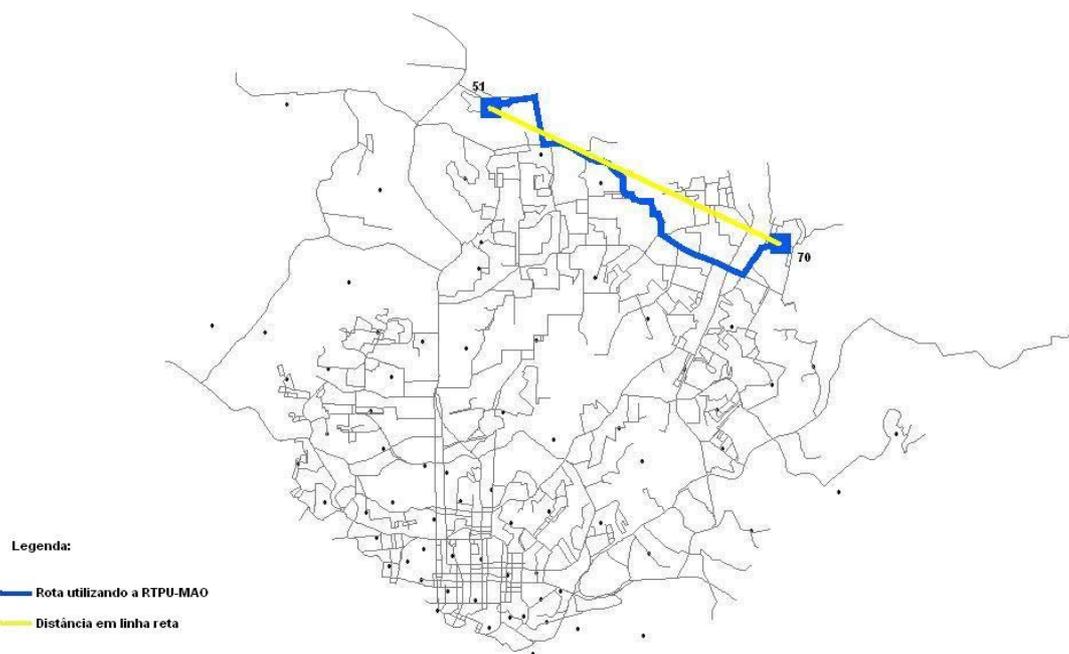


Figura 6.13. Eficiência da conexão entre os centróides 51 e 70

#### 6.4. COMPARAÇÃO ENTRE O ÍNDICE DE CONFIABILIDADE DA RTPU-DF E A RTPU-MAO

A principal diferença entre a confiabilidade dessas duas redes se deve principalmente pela estrutura urbana na qual elas estão inseridas. A RTPU-DF está inserida em um território esparso e polarizado pela Região Administrativa de Brasília. Já a RTPU-MAO, por sua vez está inserida em um espaço mais compacto, apesar da forte influência da região sul da cidade como centro.

A principal contribuição desta pesquisa foi apontar a grande influência exercida pela estrutura urbana na confiabilidade da rede de transporte público urbano em relação à função conectiva da mesma.

## 7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Mediante os resultados obtidos, conclui-se que a hipótese da presente pesquisa foi confirmada e que os objetivos, tanto os principais quanto os secundários, foram atingidos. Acredita-se que a metodologia desenvolvida pode ser de muita valia para o planejamento das redes de transportes e para o acréscimo ao conhecimento científico na área dos transportes.

A obtenção da confiabilidade da RTPU em relação à função conectiva da mesma através dos itens apontados pode auxiliar os estudos referentes ao potencial da mesma, com objetivo de proporcionar uma melhora na prestação do serviço. O estudo da confiabilidade pode se tornar uma importante ferramenta para melhoria na relação entre a RTPU e o espaço no qual a mesma se insere.

Também poderá servir como instrumento para novos planos diretores com intuito de verificar as necessidades em regiões nas quais a RTPU se faça mais ausente ou com baixa eficiência.

As principais limitações da pesquisa foram:

- i) não contemplar a localização dos pontos de parada principalmente em relação à acessibilidade da RTPU;
- ii) por se tratar de uma primeira abordagem quanto à temática não foram contemplados na pesquisa dados relacionados aos fluxos e aos usuários da RTPU.

Do que se conhece no Brasil, esta pesquisa foi a primeira aplicação da técnica voltada à confiabilidade da RTPU. Por se tratar de uma primeira abordagem quanto ao tema acredita-se que futuros trabalhos venham a discutir e corroborar a essa primeira análise. A seguir serão feitas algumas recomendações para trabalhos futuros acerca do tema apresentado:

- i) Determinação da confiabilidade de uma RTPU a partir das suas áreas de captação utilizando a técnica do prisma espaço-tempo;
- ii) Definição e delimitação da aplicabilidade dos padrões de viagens para identificação da confiabilidade da RTPU;

- iii) Avaliação e monitoramento das RTPU a partir de indicadores oriundos do estudo acerca da sua confiabilidade;
- iv) Determinação das modalidades mais adequadas à integração utilizando o estudo acerca da sua confiabilidade;
- v) Simulação de novas RTPU com base em projeções oriunda do estudo da confiabilidade;
- vi) Avaliação de projetos referentes a RTPU através da confiabilidade como apresentado no capítulo 3;
- vii) Estudos referentes à vulnerabilidade da RTPU;
- viii) Elaboração de software capaz de avaliar o crescimento urbano e da RTPU com base na confiabilidade e vulnerabilidade da mesma.

## **BIBLIOGRAFIA**

Bell, M.G.H.; Cassir, C. (2000). *Reliability of Transport Networks*. Research Studies Press Ltd., Baldock.

Bell, M.G.H.; Lida, Y. (1997). *Transportation Network Analysis*. John Wiley & Sons, New York.

Bertalanffy, L. (1968). *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*, General System Theory. Chicago.

Bruton, M. (1979) *Introdução ao Planejamento dos Transportes*. Editora Interciência e Editora da Universidade de São Paulo, Rio de Janeiro e São Paulo.

CEFTRU, Centro de Formação de Recursos Humanos em Transporte (2007). *Metodologia Integrada de Suporte ao Planejamento, Acompanhamento e Avaliação dos Programas de Transportes, do Plano Plurianual 2004/2007, no âmbito do Ministério dos Transportes, como Elemento de Auxílio à Gestão da Política de Transportes - Relatório da Base de Fundamentos e Critérios para a Avaliação, Aperfeiçoamento e Desenvolvimento de Indicadores*, Brasília.

CEFTRU, Centro de Formação de Recursos Humanos em Transporte (2007). *Relatório da Base de Fundamentos e Critérios para a elaboração do edital de licitação do município de Manaus*, Brasília.

Chapman, R.A. (1976). *Bus Reliability: Definition and Measurement*. TORG Research Report #18,, Reino Unido.

Chen, A., Yang, H., Lo, H.K. e Tang, W. (2000) *A capacity related reliability for transportation networks*. Journal of Advanced Transportation Vol. 33, No. 2.

Chen, A., Yang, H., Lo, H.K. and Tang, W. (2002) *Capacity reliability of a road network: an assessment methodology and numerical result*. Transportation Research B Vol. 36,

Cox, K. R. (1972) *Man, Location and Behavior: An Introduction to Human Geography*. John Wiley & Sons, New York.

- Dias, L. C. (1996) Redes eletrônicas e novas dinâmicas do território brasileiro. In: CASTRO, I. E.; GOMES, P. C. da C.; CORRÊA, R. L. (orgs.). *Brasil – questões atuais da reorganização do território*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.
- Du, Z.P e Nicholson, A.J. (1993) *Degradable transport systems: Performance, sensitivity and reliability analysis*. Research Report, University of Canterbury, Nova Zelandia
- Dupuy, G. (1998). *El Urbanismo de las Redes*. Oikos-Tau, Barcelona
- D’Este, G.M. e Taylor, M.A.P. (2003). Network vulnerability: an approach to reliability analysis at the level of national strategic transport network. In “ *The Network Reliability of Transport*” (Eds. Bell, M.G.H. e Iida, Y.) Elsevier, Inglaterra
- Ferraz, A. C. P. e Torres, I. G. E. (2001) *Transporte Público Urbano*. Ed. Rima, São Carlos.
- Gauthier, L.H. (1973) *Geography, Transportation and Regional Development*. In: Hoyle B.S. (ed.) *Geographical Readings: Transport and Development*, Mcmillan, Londres.
- Husdal, J (2004) *Reliability and vulnerability versus costs and benefits*. The European Transport Conference 2004, ETC 2004, Strasbourg, França.
- Khisty, C. J.; Lall, B. K. (1998) *Transportation Engineering: An Introduction*. Prentice Hall, New Jersey.
- Luz, C. E. (2006) *Rede e Região – desmistificação do determinismo tecnológico: O caso da linha férrea Ponta Grossa - União da Vitória nos Campos Gerais/Mata de Araucária (PR)*. Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Geografia, Curso de Mestrado, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Curitiba
- Manheim, M. L. (1979) Principles of Transport System Analysis. *Highway Research Record*, n.180.
- Meyer, M. D.; Miller, E. J. (1984) *Urban Transportation Planning: A Decision-Oriented Approach*. McGraw-Hill, USA.
- Morlok, E. K. (1978) *Introduction to Transportation Engineering and Planning*. McGraw-Hill, Tokyo.

- Nicholson, A. (2003). *Transport network reliability measurement and analysis*. Transportes, ANPET, Rio de Janeiro.
- Offner, J. M. (2005) *Urban networks and dynamics: the deceptive watermark in technical meshes*. Disponível em: [http://lacta.cnrs.fr/site/p\\_lattsperso.php?Id=434](http://lacta.cnrs.fr/site/p_lattsperso.php?Id=434)> Acesso em: 13 junho 2007.
- Piaget, J. e Inhelder, B. (1976) *Da Lógica da Criança a Lógica do Adolescente*. Ed. Pioneira, São Paulo.
- Pricinote, M. A.; Silva, L. S.; Taco, P.W.G.; Yamashita, Y ; Kneib, E.C. (2007). *Procedimento para localização de terminais de ônibus urbanos para reestruturação do sistema de transporte urbano de passageiros*. In: XVI Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito, 2007, Maceió.
- Rodrigue, J.P, Comtois, C. e Slack, B. (2006). *The Geography of Transport Systems*. Routledge, Nova York
- Setti, J. R.; Widmer, J. A. (1997) *Tecnologia de Transportes*. USP, São Carlos.
- Schürmann, C., Spiekermann, K. and Wegener, M. (1997) *Accessibility Indicators: Model and Report. SASI Deliverable D5*. Institut für Raumplanung, Universität Dortmund. Disponível em: <http://www.raumplanung.uni-dortmund.de/irpud/pro/sasi/sasid5.htm>
- Silva, A.H. (2008). *Determinação da Área de Captação de uma Estação de Metrô por meio da Utilização do Modelo Prisma Espaço-Tempo e Padrões de Viagens*. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Transportes - Universidade de Brasília. Brasília.
- Silva, L. S. ; Bertazzo, A.B.S. ; Taco, P.W.G. ; Yamashita, Y ; Pricinote, M. A. (2007) . *Avaliação da segregação sócio-espacial da cidade de Manaus considerando indicadores de acessibilidade e mobilidade do transporte público*. In: XVI Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito, 2007, Maceió.
- Silveira, L.S. Pricinote, M.A.P., Galindo, E., Yamashita, Y. (2007) *Transporte e o Espaço Geográfico*, Não publicado, Brasília

Vasconcellos, E. A. (1999) *Circular é preciso, viver não é preciso. A história do trânsito na cidade de São Paulo*. Annablume, São Paulo..

Vasconcellos, E. A. (2000) *Transporte Urbano nos Países em Desenvolvimento: Reflexões e Propostas*. Annablume, São Paulo.

Yang, H, Lo, K.K. e Tang, H. (2000). Travel time versus capacity reliability of a road network. In “*Reliability of transport networks*” (Eds. Bell, M.G.H. e Cassir, C.) . Research Studies Press, Ltd., Hertfordshire, Inglaterra.