

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

**AVALIAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DE REDES DE
TRANSPORTE PÚBLICO URBANO POR MEIO DE
INDICADORES**

GUSTAVO CARVALHO PARANHOS

ORIENTADORA: YAEKO YAMASHITA, PhD

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES

PUBLICAÇÃO T.DM-009A/2011

BRASÍLIA/DF: AGOSTO/2011

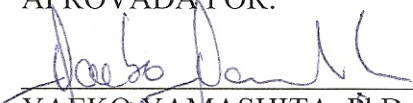
**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DE REDES DE
TRANSPORTE PÚBLICO URBANO POR MEIO DE
INDICADORES**

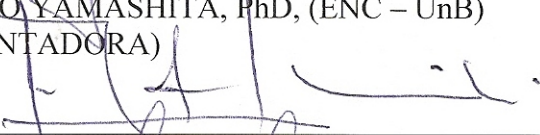
GUSTAVO CARVALHO PARANHOS

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

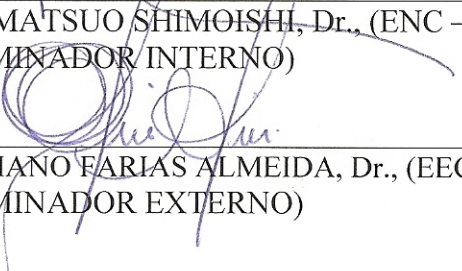
APROVADA POR:



YAEKO YAMASHITA, PhD, (ENC – UnB)
(ORIENTADORA)



JOSÉ MATSUO SHIMOISHI, Dr., (ENC – UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)



CRISTIANO FARIAS ALMEIDA, Dr., (EEC – UFG)
(EXAMINADOR EXTERNO)

Data: Brasília/DF, 2 de agosto de 2011

FICHA CATALOGRÁFICA

PARANHOS, GUSTAVO CARVALHO

AVALIAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DE REDES DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO POR MEIO DE INDICADORES [DISTRITO FEDERAL] 2011

xiv, 95p., 210x297mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Transportes, 2011).

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

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

- | | |
|------------------------------|--------------------|
| 1. Redes de Transporte | 2. Indicadores |
| 3. Transporte Público Urbano | 4. Avaliação |
| I. ENC/FT/UnB | II. Título (série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PARANHOS, G. C. (2011). Avaliação da Configuração de Redes de Transporte Público Urbano por Meio de Indicadores. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação T.DM-009A/2011, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 95p.

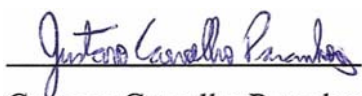
CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Gustavo Carvalho Paranhos

TÍTULO: Avaliação da Configuração de Redes de Transporte Público Urbano por Meio de Indicadores

GRAU/ANO: Mestre/2011

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.



Gustavo Carvalho Paranhos

gucarpa@ig.com.br

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que me permitiu chegar até aqui superando tantos obstáculos.

A minha família. Meus pais Hilton e Zuleide, minha irmã Mariana e minha eterna Marcinha pelo apoio incondicional em todos os momentos da minha vida.

A minha orientadora, professora Yaeko Yamashita, por não permitir a minha desistência e pelo apoio decisivo na etapa final do trabalho. Aos examinadores da banca, professores José Matsuo e Cristiano Almeida pelos ensinamentos transmitidos na minha defesa.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Transportes: Adelaida, Carlos Henrique, Joaquim, Maria Alice, Paulo César, Pastor e Sérgio. Aos funcionários e ex-funcionários da secretaria do PPGT: Júlio, Kátia, Adílson e Lucinete.

À toda a turma 2009 do Mestrado, sobretudo os bolsistas Ana Sheila, Andréia, Fernando (quase bolsista), Milena, Poliana, Rodrigo Guimarães, Rodrigo Uruguaio e o “foragido” Júlio Peruano. Aos vários colegas que tive o prazer de conhecer ao longo desses dois anos de UnB/CEFTRU/UnB: Paulo, Brunna, Érica, Heitor, Artur, Gizelle, Adrienne, Mariana Moura, Alexandre Berejuk, Edilson, Willer e tantos outros.

À CAPES e ao CNPq, pelo apoio financeiro, principalmente no início do curso.

Por fim, aos colegas da Gerência da Engenharia da Secretaria de Agricultura do DF: Joseuda, Roberta e Diogo pela compreensão nos momentos em que precisei me ausentar do trabalho.

RESUMO

AVALIAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DE REDES DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO POR MEIO DE INDICADORES

O transporte público urbano tem como resultado finalístico a garantia do deslocamento das pessoas, dentro das cidades, de modo que elas possam atender suas necessidades de sobrevivência. No entanto, no Brasil as redes de transporte público urbano não são planejadas de forma a interligar de forma eficiente e eficaz os pontos importantes que demandam os deslocamentos dentro das cidades, justamente aqueles que permitem aos indivíduos cumprir com suas obrigações. Por outro lado, os indicadores são frequentemente empregados como poderosas ferramentas de auxílio ao planejamento e à tomada de decisões, sobretudo no setor público.

Por tudo isso, é necessário desenvolver um sistema de avaliação baseado em indicadores que permitam avaliar a configuração das redes de transporte público urbano. Utilizando uma metodologia de elaboração de um sistema de indicadores, o trabalho seleciona alguns índices existentes na literatura científica e outros criados ao longo da Dissertação e os aplica em um estudo de caso em uma hipotética cidade brasileira.

ABSTRACT

EVALUATION OF CONFIGURATION OF URBAN PUBLIC TRANSPORTATION NETWORKS THROUGH INDICATORS

The objective of urban public transportation is to allow movement of people so they can satisfy their needs. However, in Brazil the urban public transport networks are not planned to interconnect efficiently and effectively the points that demand trips across cities which are, in fact, those ones that allow individuals to meet their obligations. On the other hand, indicators are often used as powerful tools to aid planning and decision making, especially in the public sector.

For all these reasons, it is necessary to develop an evaluation system based on indicators to evaluate the configuration of urban public transportation networks. By using a methodology of developing a system of indicators some actual indexes in scientific literature are picked up and other indexes are created along this Dissertation. Then, the indicators are applied in a case study in a hypothetical city in Brazil.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. APRESENTAÇÃO.....	1
1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	1
1.3. JUSTIFICATIVA	2
1.4. HIPÓTESE	3
1.5. OBJETIVOS.....	3
1.5.1. Objetivo principal.....	3
1.5.2. Objetivos específicos.....	3
1.6. METODOLOGIA DE PESQUISA	4
1.7. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	6
 2. TRANSPORTE PÚBLICO URBANO	 8
2.1. APRESENTAÇÃO.....	8
2.2. CONCEITOS DE TRANSPORTE.....	8
2.2.1. Estrutura semântica do transporte	10
2.3. CONCEITOS E TIPOS DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO	11
2.3.1. Modos de transporte rodoviário.....	14
2.3.2. Modos de transporte ferroviário	15
2.4. ELEMENTOS DO TRANSPORTE PÚBLICO URBANO.....	17
2.4.1. Tipos de linhas de transporte público urbano.....	18
2.4.1.1. Classificação das linhas quanto à função	18
2.4.1.2. Classificação das linhas quanto à forma.....	19
2.4.2. Pontos de parada e terminais	19
2.4.2.1. Pontos de parada.....	20
2.4.2.2. Terminais	21
2.5. TRANSPORTE PÚBLICO E MODELO FUNCIONAL.....	22
2.6. TRANSPORTE PÚBLICO E MOBILIDADE URBANA.....	23
2.7. TÓPICOS CONCLUSIVOS	24
 3. REDE DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO.....	 26
3.1. APRESENTAÇÃO.....	26

3.2. CONCEITOS DE REDES.....	27
3.3. REDES DE TRANSPORTES	27
3.3.1. Redes de transporte público urbano	29
3.3.2. Definição das redes de transporte público urbano.....	29
3.3.2.1. Atendimento das necessidades dos indivíduos e a demanda pelos serviços de transporte público urbano	30
3.3.2.2. Hierarquia das vias urbanas.....	31
3.3.3. As redes de transporte público urbano e o desenvolvimento econômico.....	33
3.4. TEORIA DOS GRAFOS APLICADA AO ESTUDO DAS REDES DE TRANSPORTE	34
3.4.1. Elementos de um grafo	35
3.4.1.1. Nós e arcos	36
3.4.1.2. Centróides.....	36
3.4.1.3. Cadeia e ciclo	36
3.4.1.4. Caminho e circuito	36
3.4.2. Atributos estruturais de um grafo	37
3.4.2.1. Diâmetro	37
3.4.2.2. Número ciclomático	38
3.4.2.3. Ordem (ou grau) de um nó	38
3.5. AVALIAÇÃO DE REDES POR MEIO DE INDICADORES	39
3.5.1. Medidas de análise de rede.....	39
3.5.1.1. Conectividade	40
3.5.1.2. Acessibilidade.....	42
3.5.1.3. Centralidade.....	44
3.5.1.4. Eficiência	45
3.6. TÓPICOS CONCLUSIVOS	47
4. INDICADORES.....	49
4.1. APRESENTAÇÃO.....	49
4.2. CONCEITOS DE INDICADORES	49
4.3. CARACTERÍSTICAS E FUNÇÕES DOS INDICADORES	51
4.4. TIPOS DE INDICADORES.....	52
4.5. METODOLOGIA GERAL PARA ELABORAÇÃO DE UM SISTEMA DE INDICADORES	53

4.5.1. Etapa de elaboração	54
4.5.2. Etapa de implementação	58
4.6. TÓPICOS CONCLUSIVOS	58
5. ELABORAÇÃO DO SISTEMA DE INDICADORES PARA AVALIAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DE REDES DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO	60
5.1. APRESENTAÇÃO	60
5.2. ESTRUTURAÇÃO DA METODOLOGIA DE DEFINIÇÃO DO SISTEMA DE INDICADORES	60
5.3. SELEÇÃO DOS INDICADORES	68
5.3.1. Indicadores de eficácia	70
5.3.2. Indicadores de eficiência	71
5.3.3. Indicadores de acessibilidade	72
5.4. TÓPICOS CONCLUSIVOS	75
6. ESTUDO DE CASO: AVALIAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DE UMA REDE DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO POR MEIO DE INDICADORES.....	76
6.1. APRESENTAÇÃO	76
6.2. DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	76
6.2.1. Definição da rede de transporte público urbano	77
6.3. CÁLCULO DOS INDICADORES	79
6.3.1. Indicadores de eficácia	79
6.3.2. Indicadores de eficiência	80
6.3.3. Indicadores de acessibilidade	80
6.4. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS INDICADORES.....	81
6.4.1. Cenário 1 – mais um arco	82
6.4.2. Cenário 2 – mais um arco e um nó	83
6.4.3. Cenário 3 – mais um nó e dois arcos	84
6.5. TÓPICOS CONCLUSIVOS	85
7. CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES	87
7.1. APRESENTAÇÃO	87
7.2. CONSIDERAÇÃO SOBRE O ALCANCE DOS OBJETIVOS	87
7.3. CONSIDERAÇÃO SOBRE O MÉTODO UTILIZADO	87

7.4. CONSIDERAÇÃO SOBRE O ESTUDO DE CASO	88
7.5. RECOMENDAÇÕES.....	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
APÊNDICE A – ESTRUTURA SEMÂNTICA DE UMA REDE DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO.....	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Estrutura metodológica da pesquisa.....	6
Figura 2.1 – Taxonomia do movimento (GALINDO, 2009)	9
Figura 2.2 – Estrutura semântica do transporte (GALINDO, 2009)	10
Figura 2.3 – Exemplos de transporte público rodoviário: trólebus (esq.) e ônibus convencional (OBERLEITUNGSBUS, 2010)	15
Figura 2.4 – Exemplos de transporte público ferroviário: VLT (esq.) e metrô (AMSTERDAMSE TRAM, 2010; METRÔ DE SÃO PAULO, 2010)	17
Figura 2.5 – Sistema tronco-alimentado (NOZAKI <i>et al.</i> , 2009)	18
Figura 2.6 – Tipos de linhas de acordo com sua forma (NOZAKI <i>et al.</i> , 2009)	18
Figura 2.7 – Ponto de parada com abrigo (Acervo pessoal)	20
Figura 2.8 – Terminal de ônibus urbanos (Acervo pessoal)	22
Figura 2.9 – Esquema de planejamento do modelo de transporte coletivo (TACO <i>et al.</i> , 2006)	22
Figura 3.1 – Capacidades dos transportes públicos (adaptado de BRASIL, 2008)	30
Figura 3.2 – Representação esquemática dos tipos de vias urbanas (adaptado de APA, 2006)	32
Figura 3.3 – Relação acessibilidade-mobilidade e os tipos de vias urbanas	32
Figura 3.4 – Exemplos de representações de grafos: direcionado, misto e não direcionado (ALMEIDA, 2008)	34
Figura 3.5 – Ciclos, circuitos e caminhos (adaptado de RODRIGUE <i>et al.</i> , 2009)	37
Figura 3.6 – Ordem de um nó. Nesta rede de computadores, o concentrador (nó 6) é o nó com maior ordem ($o = 4$)	39
Figura 3.7 – Exemplo de uma rede	43
Figura 4.1 – Metodologia proposta para montagem de sistema de indicadores (MAGALHÃES, 2004)	55
Figura 5.1 - Etapas da elaboração do conjunto de indicadores baseado em MAGALHÃES (2004)	61
Figura 5.2 – As etapas do planejamento estratégico situacional (BRASIL, 2006)	62
Figura 5.3 – Entendimento do objeto rede de transportes	65
Figura 5.4 – Elementos de representação dos objetivos de uma rede de transporte público	65

Figura 6.1 – Representação real da rede em estudo, com os limites da área urbana e da ACS	77
Figura 6.2 – Esquematização da rede em estudo	78
Figura 6.3 – Cenário zero	81
Figura 6.4 – Cenário 1	82
Figura 6.5 – Cenário 2	83
Figura 6.6 – Cenário 3	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Classificação do transporte urbano por tipo de serviço	12
Tabela 3.1 – Matriz topológica.....	43
Tabela 3.2 – Relação centralidade da rede x participação da capital na população do país	44
Tabela 4.1 – Tipos de indicadores por função.....	53
Tabela 4.2 – Tipos de indicadores por nível de análise.....	53
Tabela 5.1 – Análise para seleção de indicadores	67
Tabela 5.2 – Sistema de indicadores de configuração de redes e seus respectivos índices.	74
Tabela 6.1 – Dados da rede de transporte público urbano em estudo	79
Tabela 6.2 – Cenário zero: situação atual.....	81
Tabela 6.3 – Cenário 1: acrescenta-se um arco	83
Tabela 6.4 – Cenário 2: acrescenta-se um nó e um arco	84
Tabela 6.5 – Cenário 3: acrescenta-se um nó e dois arcos	85
Tabela 6.6 – Quadro comparativo dos três cenários.....	86
Tabela 6.7 – Classificação comparativa entre os três cenários.....	86

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACS	– Área coberta pelos serviços
ARA	– Área da região atendida
ATA	– Acessibilidade topológica absoluta
ATR	– Acessibilidade topológica relativa
BRT	– <i>Bus Rapid Transit</i>
CDO	– Custo direto operacional
CEM	– Centralidade espacial média
COT	– Custo operacional total
CTB	– Código de Trânsito Brasileiro
CTeM	– Centralidade temporal média
CToM	– Centralidade topológica média
CTV	– Custo total da viagem
DOLK	– Despesa operacional por lugares x quilômetro
EMV	– Extensão média da via
IA	– Índice de centralidade
ICM	– Índice de conexão máxima
Icon	– Índice de conectividade
ICN	– Índice de centralidade dos nós
ICR	– Índice de cobertura da rede
ID	– Índice de desvio
IS	– Intensidade do serviço
LKM	– Lugares por quilômetro
NRTP	– Número relativo de terminais e pontos de parada
O/D	– Origem/destino
QVR	– Quantidade de viagens realizadas
RTPU	– Rede de transporte público urbano
TPU	– Transporte público urbano
VKM	– Veículos por quilômetro
VLT	– Veículo leve sobre trilhos

1. INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO

O ser humano necessita satisfazer suas necessidades de sobrevivência, dentre as quais estão as atividades econômicas e sociais, como trabalhar, estudar e se divertir. O transporte público urbano tem como resultado finalístico a garantia do deslocamento das pessoas, dentro das cidades, de modo que elas possam atender suas necessidades. Esta movimentação é realizada sobre a rede viária ou, mais especificamente, a rede de transporte público urbano (RTPU), que deve garantir o acesso ao máximo de locais possíveis da maneira mais eficiente e eficaz.

No entanto, a configuração inapropriada da rede de transporte público urbano pode ocasionar sérias restrições aos deslocamentos dos indivíduos, impedindo-os de satisfazer as necessidades já mencionadas. Conforme TEODOROVIC (1986), os custos de infraestrutura, os custos relacionados à oferta de transporte e o nível de serviço dependem basicamente do desenho da rede e da organização dos transportes sobre esta rede. Desta forma, esta pesquisa se propõe a desenvolver um conjunto de indicadores que avalie a configuração das RTPUs, de modo a fazer com que a rede contribua para garantir um bom transporte à população. Aqui, será considerado como bom o transporte ou o deslocamento que se mostre eficaz, eficiente e que promova acessibilidade.

Este capítulo introdutório está dividido em tópicos. Primeiramente, serão apresentados o problema, a hipótese e os objetivos, ponto inicial de uma pesquisa realizada pelo método hipotético-dedutivo. Em seguida é exposta a justificativa que levou à pesquisa. No sexto item é feito um breve resumo acerca da metodologia definida para o desenvolvimento da Dissertação. Por fim é apresentada a estrutura dos capítulos da Dissertação.

1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Quando buscam suprir suas necessidades de sobrevivência, como trabalho, educação e saúde, as pessoas esperam sair do seu local de origem e chegar ao destino da maneira mais rápida possível. No entanto, no Brasil as redes de transporte público urbano não são pensadas de forma a interligar de forma eficiente e eficaz os pontos importantes que demandam os deslocamentos dentro das cidades, justamente aqueles que permitem aos indivíduos cumprir com suas necessidades.

Por conseguinte, presume-se que apenas uma configuração de rede de transporte público que contribua para assegurar um bom deslocamento permitirá que a população se desloque de maneira eficiente e eficaz para satisfazer as suas demandas de sobrevivência. Nesse contexto, tem-se o problema que sustenta o presente projeto:

Como contribuir para uma configuração de rede de transporte público urbano que assegure um bom transporte?

1.3. JUSTIFICATIVA

O transporte tem como resultado finalístico o deslocamento eficiente, eficaz e que proporcione mobilidade visando à satisfação das necessidades de sobrevivência das pessoas. Estas necessidades dependem primordialmente de dois fatores: as condições socioeconômicas dos indivíduos e o uso do solo que, juntos, determinam os padrões de deslocamento.

PONS e BEY (1991) afirmam que a rede de transportes é a estrutura que possibilita a circulação dos fluxos, tanto de mercadorias, de pessoas como de informações para satisfazer o movimento desejado do objeto de transportes. TEODOROVIĆ (1986) observa que a rede de transportes define basicamente o custo da infraestrutura, custos relacionados à oferta e o nível de serviço. Dessa forma a configuração da rede de transporte assume-se como fundamental para o sucesso do serviço, o que garantirá a satisfação das necessidades das pessoas. Além do mais, configuração da rede interfere diretamente no modo como a cidade se expande e os usos se distribuem pelo espaço urbano ao se determinar a acessibilidade de cada local, pelo menos para os usuários dos transportes públicos.

Os componentes do deslocamento – itinerário, par origem/destino e modo de transporte – definem a rede de transporte público urbano. Uma verdadeira RTPU, mais que interligar os diversos pontos da cidade, deve fazê-lo da maneira mais eficiente, eficaz e acessível possível de forma a garantir plenamente o objetivo principal de um bom deslocamento e, como consequência, contribuir para o desenvolvimento econômico, urbano e social.

Porém, na maioria das cidades brasileiras pode-se constatar que as configurações das redes de transporte público urbano não são as mais adequadas. O que se vê é que cada modo de

transporte urbano possui uma rede própria que não leva em conta a existência das demais. Tem-se, então, uma rede para o ônibus, outra para os automóveis, outra mais para o Veículo Leve sobre Trilhos (VLT). A provável causa deste problema diz respeito à falta de uma visão de rede integrada entre os seus elementos estruturantes, que considere e respeite as hierarquias das vias e oriente o desenvolvimento econômico das cidades.

Os indicadores, por sua vez, são empregados em diversos setores como ferramentas que norteiam o planejamento de ações e a tomada de decisões, podendo inclusive apontar a existência de deficiências nas redes de transporte público. Em face dessa situação, faz-se necessário desenvolver um sistema de avaliação baseado em indicadores que permitam avaliar a configuração física das redes de transporte público urbano. Estes indicadores foram coletados com base nos objetivos de uma RTPU. O Apêndice A ilustra o fluxograma de ideias que deu origem à pesquisa e que serve como ponto de partida para o desenrolar do trabalho.

1.4. HIPÓTESE

Em face de tudo que foi exposto e tendo como base o método hipotético-dedutivo, chegou-se à seguinte hipótese que deverá ser comprovada ao longo da Dissertação:

Um sistema de avaliação da configuração de redes de transporte público urbano por meio de indicadores contribui para assegurar um bom transporte.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo principal

Assegurar um bom transporte por meio do desenvolvimento de um sistema de indicadores que avalie a configuração das redes de transporte público urbano.

1.5.2. Objetivos específicos

O aprofundamento do objetivo principal levou à identificação de alguns objetivos específicos. Contudo, outros podem surgir durante o processo de amadurecimento das ideias.

- O desenvolvimento de um sistema de indicadores para avaliação da configuração de redes de transporte público urbano.

- Avaliação de uma rede de transporte público urbano através dos indicadores selecionados.
- Entendimento da finalidade de uma rede de transporte público urbano.

1.6. METODOLOGIA DE PESQUISA

A Dissertação será desenvolvida através do método hipotético-dedutivo. Foi identificado um problema a ser respondido por uma hipótese proposta para que se alcancem os objetivos desejados.

As técnicas de pesquisa serão duas: a documental indireta, feita através da revisão bibliográfica, cujas partes mais importantes dizem respeito aos indicadores e ao estudo das redes de transporte público urbano; e a documental direta, por meio da aplicação da metodologia desenvolvida em um estudo de caso representativo. O trabalho está estruturado em quatro etapas, descritas a seguir, sendo que a etapa 2 é desmembrada em seis sub-etapas que correspondem à metodologia da Dissertação propriamente dita e inspirada no procedimento criado por MAGALHÃES (2004).

Etapa 1 – Revisão bibliográfica

A primeira etapa consiste da revisão bibliográfica acerca dos temas considerados essenciais para embasar a construção da metodologia proposta. Inicialmente, é necessário conhecer o tema transporte público urbano, no qual será feita a caracterização do transporte, enfatizando a relação sujeito-meio-objeto, que será de grande valia no estudo das redes. Também serão feitas considerações sobre o transporte público urbano, seus principais modos e elementos constituintes, além da relação com o modelo funcional do planejamento e a noção de mobilidade.

Em seguida, deve-se estudar o tema redes, incluindo-se aí os estudos sobre redes de transporte público urbano e teoria dos grafos. Estes assuntos darão o embasamento necessário para a escolha das medidas de análise de rede que serão utilizadas ao longo do trabalho.

Compreendidos a relevância das medidas de análise de rede, do espaço urbano e da noção do objeto transporte, passa-se ao ponto crucial da revisão bibliográfica: os indicadores. Aqui serão abordados primariamente com suas características e funções. Também é dado

um destaque para a metodologia desenvolvida com vistas ao desenvolvimento de um sistema de indicadores, a ser adaptada ao fim do trabalho.

Etapa 2 – Adaptação da metodologia para elaboração de um sistema de indicadores

Nesta etapa é feita a adequação da metodologia de MAGALHÃES (2004) – que pode ser aplicada a quaisquer conjuntos de indicadores – aos objetivos da Dissertação, ou seja, a um sistema de indicadores que possibilite a avaliação da configuração das redes de transporte público urbano. A metodologia é composta dos seguintes seis passos, postos em prática no Capítulo 5:

- Planejamento estratégico e análise de processos de decisões;
- Definição dos grupos-alvos e respectivas necessidades de informação;
- Desenvolvimento de um modelo para organização da informação;
- Definição de critérios de seleção dos indicadores;
- Definição do conjunto de indicadores;
- Definição das ferramentas de análise.

Etapa 3 – Estudo de caso

A penúltima etapa corresponde ao estudo de caso. A validação da metodologia criada deverá ser feita através da aplicação dos indicadores propostos na rede de uma cidade. Deverá ser escolhida uma cidade que possua serviço de transporte público urbano. Com o estudo de caso espera-se comprovar se a configuração da RTPU do município avaliado contribui para assegurar um deslocamento eficiente, eficaz e com acessibilidade à população.

Será feita ainda a análise de sensibilidade dos indicadores com o intuito de observar como os índices se comportam quando a rede em estudo sofre alterações em sua quantidade de nós, arcos e em seu comprimento total.

Etapa 4 – Conclusões e recomendações

Após a análise dos resultados do estudo de caso, serão elaboradas as conclusões, eventuais restrições acerca do desenvolvimento da Dissertação e recomendações para futuros trabalhos.

A Figura 1.1 a seguir resume a estrutura da metodologia de pesquisa:

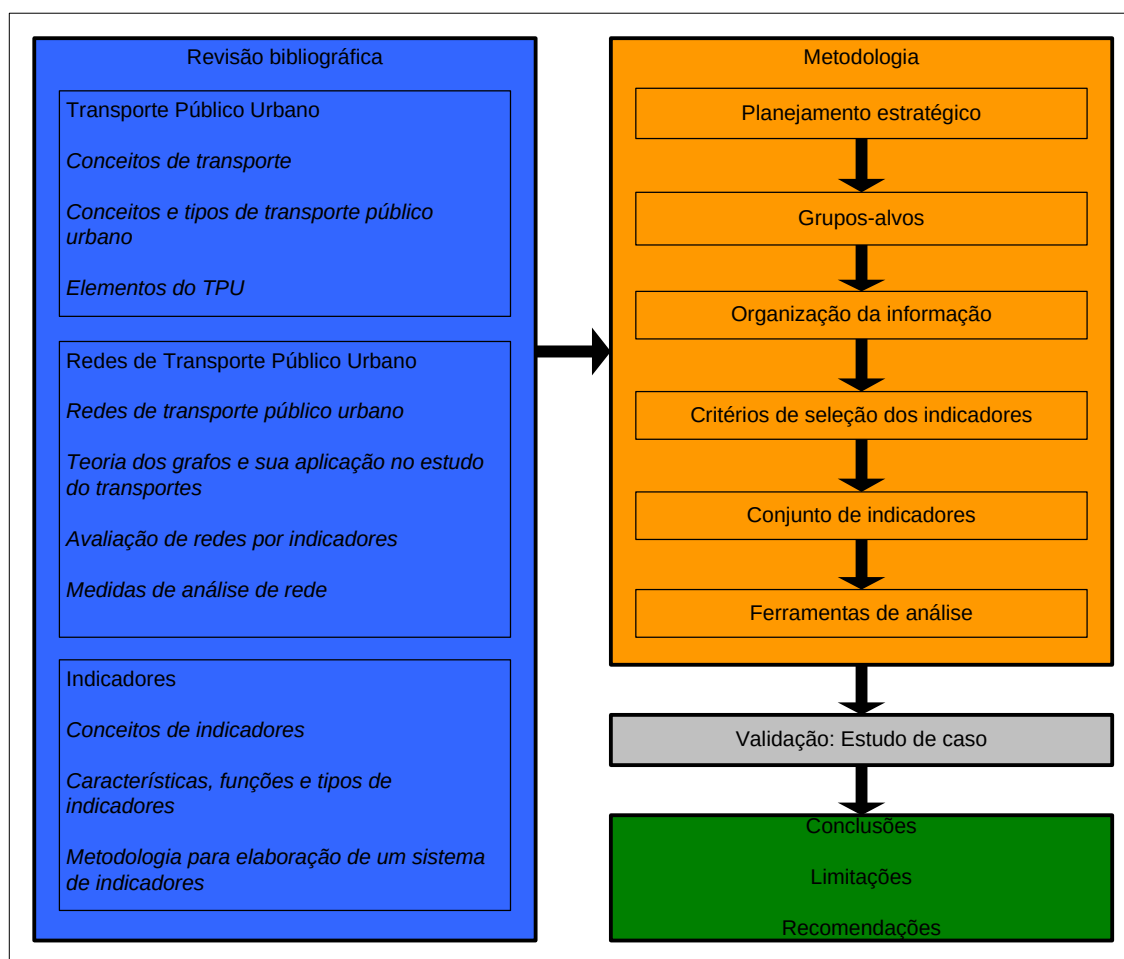


Figura 1.1 – Estrutura metodológica da pesquisa

1.7. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A estrutura imaginada para a Dissertação procura seguir a sequência lógica da construção do pensamento científico. O trabalho será dividido em sete capítulos descritos brevemente a seguir. O primeiro deles é justamente a Introdução, da qual este item faz parte.

Os Capítulos 2, 3 e 4 integram a revisão bibliográfica do trabalho. Primeiramente é tratado o tema Transporte Público Urbano, enfocando também os conceitos sobre transporte de modo geral. Os modos de transporte público urbano e a mobilidade urbana também são abordados.

O terceiro capítulo é sobre Redes de Transporte Público Urbano. Para melhor compreender o assunto faz-se necessário conhecer também outros tipos de redes e as relações entre as redes de transporte público e o desenvolvimento econômico. Em seguida, parte-se para a parte matemática do capítulo com os temas Teoria dos Grafos Aplicada ao Estudo de Redes de Transporte, Avaliação de Redes por Indicadores e Medidas de Análise de Rede.

Já o quarto capítulo aborda o tema Indicadores, destacando sua importância dentro do processo de planejamento. São ainda apresentados as características e os tipos de indicadores e o tópico principal do capítulo, que é a descrição da metodologia de elaboração de um sistema de indicadores.

No capítulo 5 será desenvolvida a metodologia que permitirá avaliar as RTPUs. Esta metodologia deverá seguir a etapa 2 no item Metodologia de Pesquisa deste documento e deverá ser testada por meio de um estudo de caso que será detalhadamente demonstrado no Capítulo 6.

O sétimo e último capítulo é dedicado às conclusões e recomendações identificadas ao longo do desenvolvimento do trabalho. Por último, são listadas as referências bibliográficas que embasaram a pesquisa e os anexos.

2. TRANSPORTE PÚBLICO URBANO

2.1. APRESENTAÇÃO

A descoberta, a formação e o crescimento das aglomerações humanas ao longo da história têm sido produtos de complexas interações entre várias forças. Uma das principais sempre foi o transporte (VUCHIC, 2007). De fato, vê-se claramente que o desenvolvimento da grande cidade moderna está intimamente ligado – e não poderia ser diferente – aos novos sistemas de transporte coletivo (SORT, 2006). O transporte adquire caráter essencial no cotidiano das cidades contemporâneas a ponto de a rede viária urbana e os sistemas de transporte serem comparados às artérias e ao sangue do corpo humano.

Conhecer o objeto transporte, mais especificamente o transporte público urbano de passageiros, é necessário antes de se dedicar ao estudo nas redes de transporte. Para tanto, o capítulo inicia-se apresentando os conceitos mais difundidos de transporte, com destaque para sua estrutura semântica. Em seguida, será tratado o tema transporte público urbano, notadamente o transporte coletivo de passageiros, suas características, os principais modos e sua importância para a circulação da população, possibilitando que estas satisfaçam suas necessidades de deslocamento. Posteriormente, no cerne dos elementos do transporte público urbano são apresentados os tipos de linhas e de terminais de transporte público, os quais serão a base para a determinação dos nós e arcos da RTPU. Na sequência, serão expostas as definições sobre modelo funcional, um dos três pilares do planejamento de transportes públicos. O último tópico do capítulo é dedicado aos conceitos de mobilidade urbana e seus atributos. Por fim, são pontuados os tópicos conclusivos.

2.2. CONCEITOS DE TRANSPORTE

Por ser um tema corriqueiro no cotidiano da população, o conceito de transporte está presente no imaginário das pessoas, sejam elas leigas ou estudiosas no assunto. Prova disso é a semelhança entre os conceitos encontrados tanto na literatura nacional quanto estrangeira. FERRAZ e TORRES (2004), por exemplo, definem transporte como a denominação dada ao deslocamento de pessoas e de produtos. Já RODRIGUES (2007) o entende como o deslocamento de pessoas e pesos de um local para o outro. MANHEIM (1979) segue a mesma linha ao considerar que o transporte envolve o movimento de pessoas e bens de um lugar para outro.

Para o CEFTRU (2007a), no entanto, o transporte é algo mais específico, podendo ser entendido como o deslocamento *intencional* de pessoas e cargas. MAGALHÃES *et al.* (*apud* GALINDO, 2009) percebem o conceito de forma semelhante e enquadram o transporte na taxonomia dos movimentos. Para os autores, os movimentos podem ser divididos em não intencionais e intencionais e o transporte insere-se nesta última categoria, juntamente com outros tipos de movimentos, como o de energia e o de mensagens (Figura 2.1).

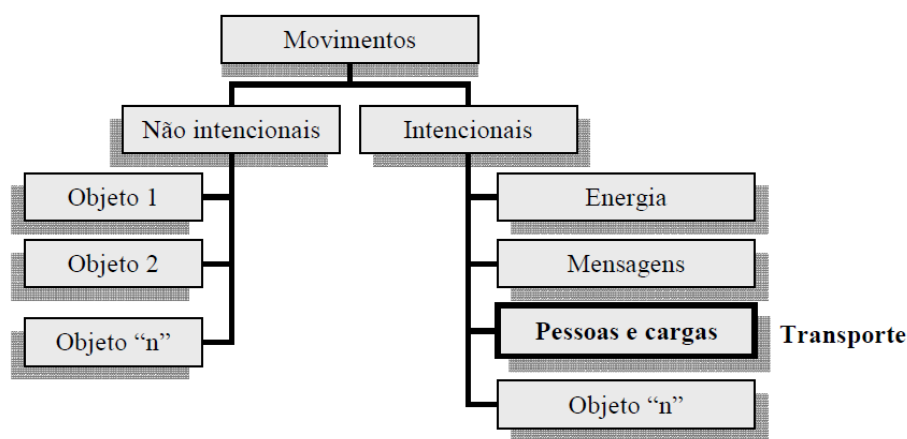


Figura 2.1 – Taxonomia do movimento (GALINDO, 2009)

De qualquer forma, o transportar, enquanto ação, só ocorre na presença de três elementos: o sujeito do transporte, o meio de transporte e o objeto do transporte. O sujeito do transporte é quem possui a intenção de deslocar o objeto e aciona o meio de transporte para que o transporte seja efetuado. O meio de transporte é aquilo que realiza, que executa o transporte, mediando o sujeito de transporte com o objeto de transporte. Compõe-se de um conjunto de elementos físicos e lógicos, que perfazem um sistema designado de sistema de transporte. O objeto do transporte é aquilo cujo deslocamento é demandado pelo sujeito e é movimentado no processo de transporte, podendo constituir-se de pessoas e de cargas (CEFTRU, 2007a). No caso do transporte de passageiros, o sujeito e o objeto se confundem, pois o indivíduo (ora sujeito) busca os meios de transporte para deslocar a si próprio (ora objeto) para realizar as necessidades demandadas.

Ainda de acordo com o CEFTRU (2007a), o principal objetivo do sistema de transporte é a provisão das condições necessárias ao bom deslocamento. Para alcançar este objetivo o transporte necessita ser eficiente, eficaz e permitir a acessibilidade do objeto a ser

transportado aos locais de destino. Assim, a eficácia e a eficiência do transporte são definidas da seguinte forma:

- Eficácia do transporte: É a propriedade do transporte quando este atende aos requisitos de integridade do objeto, tempestividade e assertividade.
- Eficiência do Transporte: É a propriedade do transporte quando é eficaz e produzido com o mínimo de insumos e externalidades negativas. São condições para a eficiência do transporte: a eficiência de mercado e a eficiência de produção.

Neste trabalho as noções de acessibilidade, eficiência e eficácia serão aplicadas sobre a rede e seus elementos, principalmente como forma de justificar a avaliação da configuração das redes de transporte público urbano, as quais são o principal suporte para o deslocamento do objeto do transporte, neste caso as pessoas, para que estas satisfaçam suas necessidades de deslocamento.

2.2.1. Estrutura semântica do transporte

As relações existentes entre o sujeito, o meio e o objeto dos transportes originam uma estrutura denominada pelo CEFTRU (2007a) de estrutura ou esquema semântico do transporte. Além disso, o sistema de transporte é entendido como uma instância do meio de transporte.

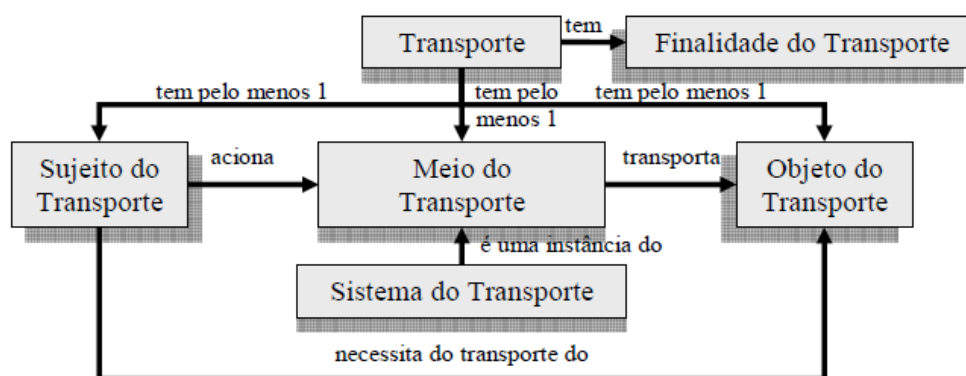


Figura 2.2 – Estrutura semântica do transporte (GALINDO, 2009)

Através da Figura 2.2 observa-se que a estrutura semântica do transporte define que o transporte em sua definição possui uma finalidade e ao menos um representante para cada

uma das três dimensões (sujeito-meio-objeto). O sujeito necessita que o objeto seja transportado. Esse transporte é realizado pelo meio, que é acionado pelo sujeito. (CEFTRU, 2007a).

2.3. CONCEITOS E TIPOS DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO

VUCHIC (2007) aponta duas maneiras de classificar os meios de transporte. A primeira divide-os em três categorias básicas de acordo com o uso e o tipo de operação: (i) privado ou particular, (ii) de aluguel ou fretado e (iii) público ou de massa.

No transporte privado, os veículos são operados por seus próprios donos para uso particular destes, geralmente sobre o sistema viário público. São exemplos de transporte privado os automóveis de passeio, motocicletas, bicicletas e inclusive os pedestres (MOLINERO e ARELLANO, 2005; VUCHIC, 2007).

O transporte de aluguel ou fretado é o serviço de transporte oferecido por um operador a todos aqueles que tenham condições de pagar pelo serviço. Geralmente o preço depende das condições da viagem – distância, condições das vias – e/ou do cliente – idade, quantidade de passageiros. Os exemplos deste tipo de transporte incluem os táxis e os veículos alugados (MOLINERO e ARELLANO, 2005; VUCHIC, 2007).

O transporte público ou transporte de massa, por sua vez, corresponde ao serviço de transporte urbano de passageiros. São sistemas de transporte com rotas e horários fixos disponíveis a todos aqueles que paguem a tarifa pré-estabelecida. Os representantes mais usuais dos transportes públicos são os ônibus, os veículos leves sobre trilhos (VLTs), os sistemas metroviários, além de diversos outros modos (MOLINERO e ARELLANO, 2005; VUCHIC, 2007).

A segunda maneira de classificar os transportes apresentada pelo autor é segundo a capacidade do veículo – individual ou coletivo. Transporte individual refere-se a sistemas nos quais cada veículo serve a uma pessoa ou grupo organizado. Já o transporte coletivo carrega pessoas sem relações entre si no mesmo veículo (MOLINERO e ARELLANO, 2005; VUCHIC, 2007). A Tabela 2.1 resume as duas formas de classificação dos transportes apresentadas anteriormente.

Tabela 2.1 – Classificação do transporte urbano por tipo de serviço

Características	Tipo de operação			
	Privado		De aluguel	
Disponibilidade	Proprietário-usuário		Público	
Provedor	Proprietário-usuário		Condutor	
Determinação da rota	Proprietário-usuário (flexível)		Usuário e condutor	
Determinação do horário de uso/serviço	Proprietário-usuário (flexível)		Usuário e condutor	
Relação preço-custo	Absorvido pelo usuário		Tarifa fixa	
Por volume	Individual		Coletivo	
	Automóvel	Automóvel compartilhado	Táxi	Serviço sob demanda coletiva (<i>dial-a-ride</i>)
	Bicicleta		Automóvel alugado	Ônibus escolar
	Motocicleta			Ônibus de aluguel
	Pedestre			

O transporte público urbano, essencialmente coletivo, desempenha um papel de elevada importância no desenvolvimento de uma cidade, pois é através dele que grande parte da população economicamente ativa se desloca para alcançar seus locais de destino onde realizam as atividades econômicas. SAMPAIO (2004) lembra que, para a economia das cidades, o transporte público é *muito* melhor que o individual, por proporcionalmente utilizar-se de menos espaço público das vias para o benefício de um maior número de pessoas, ter relativamente menor consumo de combustível e permitir melhor ordenamento urbano, através do planejamento. Já para a APTA (2005), o transporte público traz benefícios a todos os segmentos da sociedade melhorando a mobilidade e gerando desenvolvimento econômico. Ainda contribui para a redução dos congestionamentos, para a melhoria da qualidade do ar e para a satisfação das necessidades de uma população crescente e em constante modificação.

Nas últimas décadas, o aperfeiçoamento dos sistemas de transporte público tem sido apontado como uma das soluções para os congestionamentos que atingem as grandes cidades (VASCONCELOS, 2000; SORT, 2006), uma vez que os veículos coletivos ocupam menos espaço por pessoa na via – no caso dos ônibus – ou retiram uma grande parte de potenciais usuários de veículos individuais de circulação – no caso dos sistemas sobre trilhos e hidroviários, que trafegam em vias exclusivas.

Os modos de transporte público dependem de uma grande vontade política por parte dos gestores públicos para seu sucesso. Sobretudo nos países em desenvolvimento, o transporte público enfrenta uma série de obstáculos que deterioram a qualidade do serviço e contribuem para a imagem negativa que o mesmo possui entre a população destes países. Os problemas incluem desde o mau planejamento e gerenciamento do sistema até a corrupção que extingue as verbas destinadas às melhorias do serviço.

Segundo VASCONCELOS (2000), o mau gerenciamento leva à ineficiência, falta de confiabilidade, superlotação, desconforto e má utilização de recursos. Uma configuração de rede de transporte público que leve em conta as principais necessidades dos usuários de acordo com as possibilidades de uso do solo das cidades pode contribuir para que o serviço de transporte público sofra sensíveis melhorias em sua operação. A seguir são apresentadas as duas modalidades de transporte público urbano mais comumente utilizadas na maioria das cidades do mundo. Outros tipos como o transporte urbano aquaviário e o por cabos não serão abordados, dada a sua pequena participação no universo dos transportes públicos das cidades brasileiras.

2.3.1. Modos de transporte rodoviário

Os veículos que fazem o transporte público urbano por meio rodoviário – ônibus e trólebus – normalmente operam compartilhando o espaço das vias com os demais veículos (trânsito misto) (MOLINERO e ARELLANO, 2005; VUCHIC, 2007). Em algumas cidades, no entanto, foram criados sistemas de ônibus que circulam por vias exclusivas adquirindo características de modos ferroviários, conhecidos genericamente como Bus Rapid Transit (BRT).

VUCHIC (2007) define ônibus como veículos dirigidos, com pneus de borracha, que podem ter uma grande variedade de características técnicas e operacionais. A maioria dos ônibus é dotado de uma carroçaria simples, dois eixos e um total de seis rodas com pneus. No entanto, há também modelos articulados com três eixos e até dez rodas e bi-articulados, com quatro eixos e até catorze rodas. A capacidade dos veículos, que nos ônibus convencionais é 70 lugares, pode variar entre quinze (microônibus) e 140 (bi-articulado). Em relação à propulsão, a mais comum é através de motor a diesel, embora outras fontes de energia também sejam utilizadas, como a eletricidade (trólebus), o biodiesel e o hidrogênio. Segundo MOLINERO e ARELLANO (2005) e VUCHIC (2007), os ônibus e trólebus apresentam três características gerais:

- Capacidade de operar em praticamente qualquer via: esta característica permite que as rotas possam ser distribuídas sobre qualquer via e que não sejam obrigadas a operar sobre certos direitos de passagem. Além disso, as paradas podem ser alocadas em uma grande variedade de locais. Estes dois aspectos facilitam as alterações temporárias de rotas ou as modificações parciais ou totais no itinerário.

Por outro lado, esta flexibilidade torna mais difícil a separação do tráfego dos ônibus dos demais veículos e contribui para que os ônibus tenham uma identidade e uma imagem própria fracas.

- Baixo custo de implantação (exceto BRT): devido à infraestrutura necessária ser mínima, a implantação, alterações e ampliações de rotas e paradas são rápidas e simples. A infraestrutura reduzida, contudo, resulta em uma baixa perenidade e geralmente em pouca influência das linhas de ônibus no uso do solo e na configuração da forma urbana.
- Capacidade limitada: este meio de transporte é ideal para rotas com baixo a moderado volume de passageiros. Para demandas superiores a 15 000 passageiros por hora faz-se necessário buscar outras opções de modos de transporte com maior capacidade.



Figura 2.3 – Exemplos de transporte público rodoviário: trólebus (esq.) e ônibus convencional (OBERLEITUNGSBUS, 2010)

2.3.2. Modos de transporte ferroviário

As principais tecnologias do transporte ferroviário urbano são o bonde, o veículo leve sobre trilhos (VLT), o trem rápido, o metrô e o trem suburbano. Conforme MOLINERO e ARELLANO (2005) apontam, os meios de transporte ferroviário utilizados nas cidades apresentam quatro características que os distinguem dos demais modos. Estas características são:

- Guia externa: ao contar com uma guia externa ou trilho, o veículo é guiado fisicamente pela via e o condutor controla apenas a velocidade do mesmo. Esta condição permite que se utilize somente a largura mínima necessária do direito de passagem ao mesmo tempo em que se obtém uma viagem mais confortável. A presença de infraestrutura visível ao longo do trajeto contribui para agregar uma identidade mais forte aos sistemas ferroviários.

Os trilhos permitem a operação dos veículos em trens (acoplados) e a automatização do sistema. Contudo, os trilhos também implicam em elevados custos de implantação, além de limitar os deslocamentos dos veículos apenas sobre a rede estabelecida.

- Tecnologia férrea: o uso do conjunto roda de aço e trilho resulta em um mecanismo básico e simples para o movimento de veículos. Esta combinação possibilita mudanças de direção de maneira rápida, simples e sem erros. Ao mesmo tempo, sua baixa resistência ao rolamento (dez vezes menor do que as rodas pneumáticas) traz como consequência imediata um consumo muito baixo de energia por tonelada de peso.

Entretanto, por contar com um coeficiente de atrito baixo, os modos ferroviários apresentam problemas como limitações nas rampas mais inclinadas e a distância de frenagem, que necessita ser muito maior do que nos veículos rodoviários. Além disso, nas curvas fechadas, os veículos com tecnologia férrea produzem mais ruído.

- Propulsão elétrica: por serem movidos a propulsão elétrica, os veículos ferroviários urbanos apresentam bons rendimentos dinâmicos, sobretudo em relação à aceleração. Ademais, seus componentes mecânicos são limpos, duráveis e de pouca manutenção, alcançando baixos níveis de ruído, assim como uma contaminação ambiental direta reduzida.

As principais desvantagens deste tipo de propulsão são as grandes despesas de implantação e a limitação de que o serviço só pode ser instalado onde haja rede eletrificada.

- Separação do direito de passagem: a falta de flexibilidade de movimento da tecnologia férrea torna sua operação em tráfego misto inferior em relação aos modos rodoviários. Porém, é mais fácil segregar o transporte ferroviário já que suas vias exclusivas, sem pavimentação, se distinguem facilmente das outras vias e não são invadidas por automóveis como acontece com as canaletas de BRT.



Figura 2.4 – Exemplos de transporte público ferroviário: VLT (esq.) e metrô (AMSTERDAMSE TRAM, 2010; METRÔ DE SÃO PAULO, 2010)

2.4. ELEMENTOS DO TRANSPORTE PÚBLICO URBANO

Um sistema de transporte público urbano é composto por uma grande variedade de elementos físicos e lógicos, necessários para a consecução do deslocamento (CEFTRU, 2007a). Os elementos lógicos do sistema de transporte são as estruturas normativa, funcional, de gestão, de produção e institucional, essenciais para a realização do transporte. Ao passo que os elementos físicos são as infraestruturas e equipamentos (CEFTRU, 2007a).

Para o propósito desta Dissertação são relevantes os componentes que dizem respeito diretamente à conformação da rede, os quais serão abordados neste tópico: os tipos de linhas e a infraestrutura disponibilizada para embarque e desembarque de passageiros, os pontos de parada e os terminais.

2.4.1. Tipos de linhas de transporte público urbano

De acordo com FERRAZ e TORRES (2004), as linhas de transporte coletivo podem ser classificadas quanto à função e quanto à forma ou traçado. As Figuras 2.5 e 2.6 ilustram as duas classificações.

Estas linhas são organizadas através de horários e itinerários pré-estabelecidos a fim de atender às necessidades locais de transporte. Em geral, ao se operar uma linha procura-se atender à demanda dos usuários quanto à pontualidade, à cobertura espacial, à frequência e à capacidade. Porém, o modo como estas linhas estão organizadas define o tipo de rede existente (NOZAKI *et al.*, 2009).

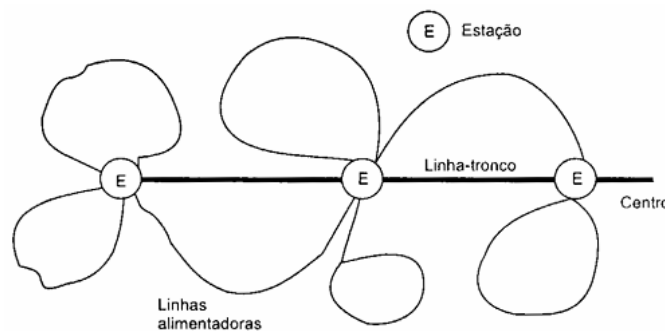


Figura 2.5 – Sistema tronco-alimentado (NOZAKI *et al.*, 2009)

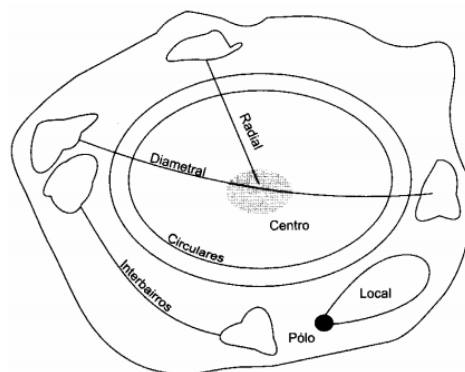


Figura 2.6 – Tipos de linhas de acordo com sua forma (NOZAKI *et al.*, 2009)

2.4.1.1. Classificação das linhas quanto à função

- Linha troncal: opera em grandes corredores ligando uma região a outra da cidade. Deve operar com veículos de alta capacidade devido à alta concentração de demanda;

- Linha alimentadora: fazem a ligação entre os subúrbios e as estações servidas por linhas troncais;
- Linha convencional: capta passageiros da origem e transporta para o destino em quaisquer pontos de parada da cidade;
- Linha expressa: linhas com pouca ou nenhuma parada intermediária;
- Linha especial: linhas que operam somente em horários de pico ou quando há demanda que surge por causa de algum evento que ocorrerá na cidade;
- Linha seletiva: é um serviço complementar com veículos mais confortáveis, como o ônibus executivo, por exemplo, podendo também ter tarifa mais elevada. É um serviço oferecido para atrair usuário de veículos particulares.

2.4.1.2. Classificação das linhas quanto à forma

- Linha radial: liga os bairros ao centro da cidade, onde normalmente há uma grande concentração de comércio e prestação de serviços.
- Linha diametral: faz a ligação de dois pontos da cidade passando pelo centro.
- Linha interbairro: faz a ligação de dois ou mais pontos na cidade sem passar pelo centro. Estas linhas também podem ser descritas como perimetrais
- Linha local: o percurso dessas linhas encontra-se dentro de uma região da cidade, região esta que pode conter um ou mais bairros, é estabelecida para atender um ou mais pólos de atração com viagens diretas.
- Linha circular: faz a ligação entre vários pontos da cidade. O seu percurso é um circuito fechado e o centro da cidade se localiza mais ou menos no centro do circuito, mas muitas vezes há a necessidade de que esta linha circular passe pelo centro da cidade para atender melhor a demanda de passageiros.

2.4.2. Pontos de parada e terminais

Os pontos de parada e os terminais do transporte público urbano são equipamentos públicos que permitem aos habitantes de uma cidade o acesso ao sistema e são essenciais na orientação e identificação dos pontos de embarque e desembarque, ou de integração de viagens.

2.4.2.1. Pontos de parada

NTU (2004) define os pontos de embarque e desembarque ou pontos de parada (Figura 2.7) como os locais determinados para que as pessoas acessem a rede de transporte coletivo, realizem transferência entre serviços ou modos e desembarquem próximo ao seu destino. MOLINERO E ARELLANO (2005) consideram os pontos de parada componentes importantes do sistema de transporte público posto que exercem uma influência considerável na operação, uma vez que:

- Limitam a capacidade da linha e, portanto, o número de veículos que podem operar.
- Sua localização e espaçamento devem ser adequados para atender o público.
- Exercem uma influência no consumo de combustível, o qual variará segundo o maior ou menor número de paradas.

A localização e o design das paradas e o espaçamento entre estas são os principais aspectos a serem levados em conta no planejamento dos pontos de parada de uma linha de transporte público urbano (VUCHIC, 2007) e terminam por influenciar a rede como um todo. A implantação de paradas seletivas, onde apenas algumas linhas param, pode ser uma solução viável para a existência de diferentes tipos de serviços – convencionais, expressos, semiexpressos – em um mesmo corredor viário. Esta dinâmica permite uma maior variedade de opções para o passageiro se deslocar sobre a rede no tempo que lhe for mais conveniente.



Figura 2.7 – Ponto de parada com abrigo (Acervo pessoal)

2.4.2.2. Terminais

Um terminal (Figura 2.8) pode ser definido como qualquer lugar de embarque e desembarque de passageiros, sendo local de origem ou destino de viagens. Exigem infraestrutura suficiente e instalações específicas para acomodar o fluxo de tráfego que lhes é exigido e controlado (NTU, 2004). Geralmente, o que distingue um terminal de uma parada é a sua capacidade de receber um fluxo maior de veículos e passageiros. Além de propiciar mais segurança e conforto ao usuário, os terminais poderão oferecer serviços complementares, com lojas de conveniência e serviços públicos, reduzindo o impacto do transbordo e do tempo de espera (NTU, 2004).

Os terminais são naturalmente os locais mais apropriados para a realização dos transbordos dos passageiros, inclusive entre modos distintos. Como exemplo, a NTU (2004) cita a integração das modalidades de menor capacidade com os sistemas metro-ferroviários, que geralmente ocorre em terminais de transferência, principalmente nas estações de ponta de linha. De uma composição lotada, em horário de pico, podem desembarcar mais de 1.000 passageiros de uma só vez, que se dirigem a destinos diversos, necessitando utilizar diferentes linhas de ônibus para completar a viagem. Esta situação fora dos terminais de integração se torna demasiado complexa, podendo acarretar tumultos, congestionamento no sistema viário e acidentes.

A integração em terminais será um importante elemento a ser levado em conta para a configuração de uma rede de transporte público urbano que seja acessível aos usuários. Definitivamente, dada a sua importância para a conformação do espaço urbano onde se inserem, os terminais constituem-se como importantes nós na rede de transporte público urbano, distribuindo os veículos e as pessoas para seus locais de destino, sejam outros terminais, sejam outros pontos da cidade.



Figura 2.8 – Terminal de ônibus urbanos (Acervo pessoal)

2.5. TRANSPORTE PÚBLICO E MODELO FUNCIONAL

No planejamento do transporte coletivo o modelo funcional é desenvolvido em conjunto com o modelo de delegação e o modelo de gestão (Figura 2.9). Conforme CEFTRU (2006b) e TACO *et al.* (2006) colocam, cada um dos modelos trata de um aspecto relacionado ao projeto do novo sistema de transporte da cidade e envolve múltiplos estudos, planos, programas e projetos. O modelo de delegação deverá estabelecer as regras da delegação dos serviços a terceiros, o modelo de gestão deverá contemplar a forma como se fará a regulação dos contratos e o gerenciamento do serviço de transporte e modelo funcional deverá definir a estrutura global da oferta e da prestação do serviço de transporte.

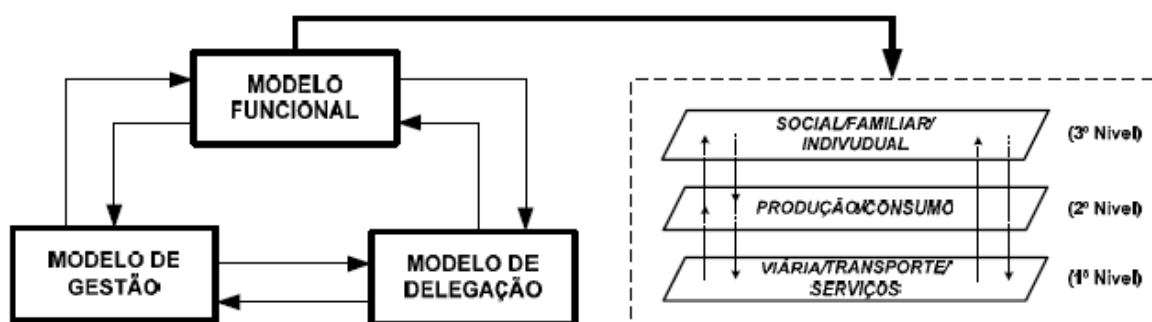


Figura 2.9 – Esquema de planejamento do modelo de transporte coletivo (TACO *et al.*, 2006)

O modelo funcional deverá, ainda, especificar os seguintes aspectos, dentre outros (TACO *et al.*, 2006):

- Os serviços que serão ofertados pelo novo sistema de transporte: estrutural (troncal), local (alimentador e interbairro), complementares (confortáveis), etc.;
- Tipo de integração entre modos e serviços (ex: integração temporal por sentido realizada por bilhetagem eletrônica e por diversos modos de transportes);
- Tecnologia veicular por tipo de serviço e de modo (veículos articulados, convencional, *padron*, microônibus, peruas, motor dianteiro ou traseiro, piso alto e piso baixo, etc.);
- A rede de linhas que atenderá cada serviço: itinerário, frequência e frota;
- Plano de infraestrutura física: corredores, faixas exclusivas, terminais, pontos de parada, estações de transbordo ou transferência, plataformas.

Neste trabalho, para montagem da rede de transporte público urbano serão utilizados os procedimentos para definição do modelo funcional desenvolvido pelo CEFTRU (2006b), que leva em conta as seguintes etapas:

- Identificação dos elementos essenciais do Sistema de Transporte Público;
- Levantamento e identificação de problemas do Sistema de Transporte Público;
- Identificação dos Pólos de Desenvolvimento e de suas áreas de influências na configuração do Sistema de Transporte Público;
- Identificação espacial de Pontos de Articulação e conexão do Sistema de Transporte;
- Determinação dos eixos estruturais do Sistema de Transporte Público;
- Configuração do Modelo Funcional.

Por conta disto tudo, uma rede de transporte público urbano adequadamente estruturada, na qual estejam corretamente identificados os pólos concentradores de viagens e as ligações mais eficientes entre estes nós, servirá como base para o desenvolvimento do modelo funcional a ser aplicado em uma determinada cidade.

2.6. TRANSPORTE PÚBLICO E MOBILIDADE URBANA

O transporte público é predominantemente um modo de transporte urbano, sobretudo nos grandes aglomerados. O meio-ambiente urbano é particularmente adequado para o transporte público uma vez que fornece condições fundamentais para sua eficiência,

nomeadamente a alta densidade e a demanda significativa de mobilidade em curtas distâncias (RODRIGUE *et al.*, 2009).

Nas palavras do Ministério das Cidades, a mobilidade é um atributo associado às pessoas e aos bens; corresponde às diferentes respostas dadas por indivíduos e agentes econômicos às suas necessidades de deslocamento, consideradas as dimensões do espaço urbano e a complexidade das atividades nele desenvolvidas. Já a mobilidade urbana, mais especificamente, é um atributo das cidades e se refere à facilidade de deslocamento de pessoas e bens no espaço urbano. Tais deslocamentos são feitos através de veículos, vias e toda a infraestrutura (vias, calçadas, etc.). É o resultado da interação entre os deslocamentos de pessoas e bens com a cidade (BRASIL, 2007).

Em CEFTRU (2007a), a mobilidade é incluída como um dos objetivos do planejamento de transporte juntamente com a eficiência e a eficácia do transporte. Porém, ela é algo mais do que o transporte. Atualmente a mobilidade é considerada como um subsistema da cidade onde os serviços de transporte são “apenas” o produto final de uma cadeia controlada por um sistema urbano que abarca diversos agentes, os quais interagem em ambiente não controlado, conhecido como espaço urbano (TACO *et al.*, 2006).

Na estrutura urbana, a disponibilidade e a possibilidade de acesso às infraestruturas urbanas, tais como o sistema viário ou as redes de transporte público, propiciam condições maiores ou menores de mobilidade para os indivíduos isoladamente ou para partes inteiras do território (BRASIL, 2007). Por ser a mobilidade, nas palavras de TACO *et al.*, (2006), um dos elementos-chave do planejamento de redes de transportes e estar estreitamente relacionada com os serviços de transporte público, consequentemente a rede de transporte público deverá servir como suporte para proporcionar a mobilidade das pessoas ao longo do espaço urbano.

2.7. TÓPICOS CONCLUSIVOS

O transporte tem como objetivo final a garantia das condições necessárias ao bom deslocamento do sujeito e/ou objeto. Por bom deslocamento entende-se o deslocamento eficiente, eficaz e que permita a acessibilidade do objeto a ser transportado.

O transporte público urbano, essencialmente coletivo, é considerado como uma das principais soluções para atenuar os congestionamentos das áreas urbanas, uma vez que podem transportar grandes quantidades de pessoas em poucos veículos. Não obstante, os modos de transporte público dependem de uma grande vontade política por parte do poder público para seu pleno funcionamento, pois a falta de políticas públicas voltadas ao transporte público urbano degrada a qualidade do serviço como um todo e de seus componentes, dentre eles a rede.

Os modos de transporte público urbano interferem diretamente na conformação da RTPU. Veículos rodoviários como o ônibus possuem grande flexibilidade de rotas e horários dado que circulam em praticamente qualquer via terrestre urbanizada. Já os veículos dos modos ferroviários como o metrô e o VLT dependem de uma infraestrutura física e operacional mais rígida, o que pode ocasionar restrições para a implantação de redes destes modos. Entretanto, a RTPU pode mesclar as duas tecnologias, dando a cada uma hierarquias e funções distintas. Através dos pontos de parada e dos terminais, os usuários do serviço de transporte público urbano podem ter acesso ao sistema, realizar integrações e obter informações sobre os serviços disponíveis.

O desenvolvimento de um modelo funcional é parte integrante do planejamento do transporte público. Através do modelo funcional são estudados e especificados aspectos como a tecnologia veicular adotada, os tipos de linhas a serem implantadas e o plano de infraestrutura física (corredores exclusivos, pontos de parada etc.). A garantia da mobilidade é um importante elemento para o deslocamento das pessoas no espaço urbano.

3. REDE DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO

3.1. APRESENTAÇÃO

As pessoas, quando desejam se deslocar, esperam sair do seu lugar de origem e chegar ao destino da maneira mais rápida, segura e confortável possível. Ao sair de sua residência, circular pelas ruas e avenidas da cidade e chegar ao trabalho, por exemplo, o indivíduo está se deslocando sobre a rede, valendo-se sempre de algum modo de transporte. As redes de transporte, então, representam a união de vários agrupamentos de origem-caminho-destino de modo a formar um conjunto de pontos interligados por outro conjunto de linhas. O estudo das redes de transportes engloba diversas áreas do conhecimento humano, como a geografia dos transportes, a sociologia e a teoria dos grafos.

Entretanto, as noções de rede não se limitam apenas à ciência dos transportes. Como exemplos, COX (1972) cita as redes de telecomunicação, que consistem de linhas telefônicas ligando lugares; também se pode falar de redes sociais, onde pares de pessoas são consideradas conexões caso elas se comuniquem entre si. Há ainda as redes formadas pelas relações diplomáticas dos países, nas quais as ligações são configuradas pelos diálogos entre os embaixadores. Um tipo mais moderno de rede, surgido com a evolução dos estudos da informática, e que está presente em grande parte das empresas, são as redes de computadores. Apesar da vasta aplicação dos conceitos de rede, todos sempre carregam a ideia de uma determinada quantidade de pontos, concretos ou abstratos, unidos por relações de vários tipos.

Neste capítulo, serão apresentados primeiramente os conceitos mais difundidos a respeito do tema redes de um modo geral, inclusive as variadas acepções do termo além de um breve histórico sobre o estudo das redes. Em seguida, aborda-se as redes de transporte e, mais especificamente, as redes de transporte público urbano e sua importância para o desenvolvimento econômico. O tópico seguinte apresenta a teoria dos grafos aplicada ao estudo das redes de transportes, onde serão expostos os conceitos de nós, arcos, centróides e outros elementos fundamentais ao desenvolvimento da pesquisa. A penúltima parte do capítulo é dedicada ao estudo das medidas de análise de rede, que possibilitará a identificação e seleção dos indicadores. Finalmente, é feita uma breve conclusão a respeito das informações descritas ao longo do capítulo.

3.2. CONCEITOS DE REDES

O termo rede é normalmente utilizado para descrever uma estrutura que pode ser tanto física (ou seja, vias e intersecções ou conexões), como conceitual (ou seja, pontos em um espaço virtual e ligações ou relações entre dois pontos). Representa-se uma rede com dois tipos de elementos: um conjunto de pontos; e um conjunto de segmentos de linhas conectando esses pontos. Caso seja importante identificar fluxos direcionais em uma rede, a cada segmento pode ser associado um sentido, uma orientação (TORRES, 2003). Os pontos são denominados nós ou vértices, já as ligações são chamadas de arcos ou arestas.

A história de desenvolvimento das redes surgiu pela necessidade de distribuição de alguns serviços, como saneamento, energia elétrica, água e, por último, transporte. Tais redes, no início, foram classificadas por DUPUY (1998) como redes técnicas urbanas, pois eram responsáveis apenas pela distribuição adequada desses serviços em ambientes urbanos onde existia maior concentração populacional, sendo, portanto, analisadas por meio de fluxos materiais.

ALMEIDA (2008) observa que, com o incremento populacional e conseqüente aumento da demanda por esses serviços, surgiu a necessidade de se estender as análises para um campo mais amplo, surgindo o que os estudiosos chamam de conceito moderno de rede. Os pontos fundamentais que o caracterizam se sustentam não apenas pelas análises de fluxos materiais, mas também pelas suas dimensões principais, que respondem a questões do por que construir uma rede e como será sua estrutura.

Na próxima seção serão apresentados os conceitos sobre redes de transportes e sua importância para o pleno funcionamento dos serviços de transporte público urbano.

3.3. REDES DE TRANSPORTES

A vasta literatura encontrada sobre redes de transportes trata o assunto como mais do que a simples estrutura de linhas e pontos. PRICINOTE (2006) e ALMEIDA (2008), por exemplo, assumem uma rede de transporte como uma estrutura física constituída por elementos de um sistema de transporte e por elementos abstratos como desejos, ações, relações existentes entre a infraestrutura de transporte e o meio onde se insere. O grau do

relacionamento entre estes dois elementos definirá a intensidade das alterações geográficas que ocorrerão no meio.

TEODOROVIĆ (1986) define rede de transporte como um conjunto de nós e um conjunto de ramificações através dos quais as atividades de transporte são efetuadas. Dependendo da área do transporte envolvida, os nós podem representar cidades, cruzamentos viários, aeroportos, estações ferroviárias, portos, etc., os quais são interligados por ramificações específicas como ruas, estradas, aerovias, hidrovias, etc. Segundo o autor, todas as demandas por transporte surgem em determinados nós, seja para deslocar bens ou pessoas, seja para transmitir informações.

Já para PONS e BEY (1991), as redes de transporte constituem o sistema arterial da organização regional, isto é, sua estrutura, e possibilitam a circulação dos fluxos, tanto de mercadorias, de pessoas, como de informação. Uma rede de transporte representa o que o sistema de transporte dispõe para satisfazer o movimento desejado do objeto de transporte na área em estudo (TORRES, 2003).

Embora LAKSHMANAN *et al.* (2001) apontem as redes de transportes como fundamentais para conectar as economias regionais aos principais mercados consumidores e produtores de forma a gerar oportunidades de desenvolvimento às nações, é importante ter em mente que a implementação de uma rede raramente é algo premeditado. A maioria se forma como consequência das melhorias contínuas geradas pelo surgimento de oportunidades, dos investimentos e de mudanças de conjuntura político-econômica (RODRIGUE *et al.*, 2009).

FERREIRA (2006) ressalta que as redes de transporte não são um início e um fim em si próprios. Sua função é atender demandas de deslocamentos. Estas redes devem ser observadas num ambiente mais amplo, interagindo com entidades de naturezas diversas, influenciando-as e por estas sendo influenciadas. O autor chama este ambiente de “ambiente de transportes”, composto de múltiplas dimensões que interagem com o sistema de transporte.

Outra observação importante feita por TEODOROVIĆ (1986) é que os custos infra-estruturais, os custos relacionados à oferta de transporte e o nível de serviço dependem

basicamente do desenho da rede e da organização dos transportes sobre esta rede. Desta forma, a configuração da rede de transporte assume-se como crucial para o sucesso do serviço de transporte, o que garantirá a satisfação das necessidades das pessoas. Nesta Dissertação será dado enfoque principal às redes de transporte público urbano levando em conta a integração entre os principais modos.

3.3.1. Redes de transporte público urbano

Dentre as várias modalidades de redes de transporte, destaca-se a rede de transporte público urbano (RTPU), que engloba os modos de transporte público urbano. Nas redes de transporte público urbano os arcos são as ruas, avenidas, linhas férreas, ciclovias, enfim, os locais por onde os veículos trafegam, e os nós podem ser, dependendo da abordagem, os terminais e pontos de parada, os cruzamentos viários ou os locais mais importantes que demandam a existência dos serviços de transporte, aqui identificados como os pólos de desenvolvimento.

NOZAKI *et al.* (2009) afirmam que todo aglomerado urbano que dispõe de transporte público organizado possui uma rede de transporte e que essa rede é o sistema formado pelo conjunto das linhas de transporte coletivo. Ao mesmo tempo, a NTU (2004) observa que a relação entre a rede de transporte público e a estrutura urbana se dá de duas maneiras principais: de um lado, o uso do solo nas diversas áreas da cidade condiciona o volume de passageiros que utiliza a RTPU. De outro, a configuração da rede influi no modo como a cidade se expande e os usos se distribuem no espaço urbano ao determinar a acessibilidade de cada local, pelo menos para os usuários dos transportes públicos. Consequentemente, a configuração da RTPU precisa ser definida de tal forma que otimize os deslocamentos da população levando em conta a eficiência e a eficácia dos mesmos.

3.3.2. Definição das redes de transporte público urbano

O processo de definição e desenho das redes de transporte público urbano, consoante visto na estrutura semântica das RTPUs (Apêndice A), transcorre com a união de três elementos oriundos da determinação dos padrões de deslocamento dos habitantes da cidade: o atendimento das necessidades dos indivíduos, a demanda pelo serviços de transporte público e a hierarquia das vias urbanas. A seguir estes elementos serão melhor descritos como forma de subsidiar a compreensão da configuração das RTPUs e dar prosseguimento ao desenvolvimento do sistema de indicadores.

3.3.2.1. Atendimento das necessidades dos indivíduos e a demanda pelos serviços de transporte público urbano

As necessidades de sobrevivência do ser humano fazem com que este demande deslocamentos com o objetivo final de supri-las. O transporte público, portanto, deve cumprir seu papel de possibilitar estes deslocamentos de forma que o indivíduo consiga sair do seu ponto de origem e chegar ao destino final com rapidez, segurança e conforto, dentre outros aspectos.

A demanda, por sua vez, influencia diretamente o modo de transporte público a ser implantado em um dado local. É tarefa dos planejadores realizar os estudos de demanda que determinarão o modo mais apropriado. A Figura 3.1 a seguir ilustra uma comparação entre os principais modos de transporte público urbano segundo as demandas médias ideais que cada um consegue suportar.

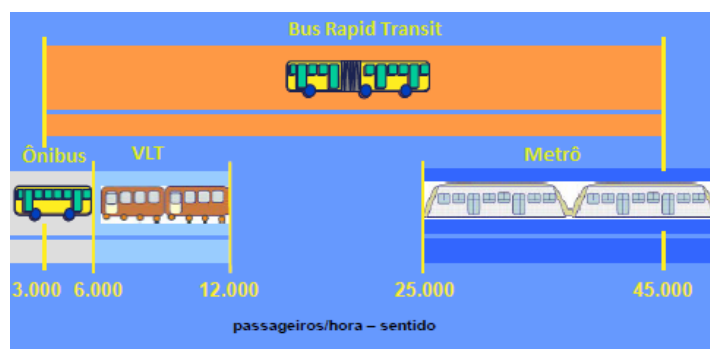


Figura 3.1 – Capacidades dos transportes públicos (adaptado de BRASIL, 2008)

A escolha do modo errado pode trazer sérios problemas operacionais e, sobretudo, financeiros ao sistema. Isto acontece, por exemplo, quando a escolha da tecnologia é feita antes dos estudos que comprovem a sua real eficácia. Como exemplo, BRASIL (2008) cita o caso onde a tecnologia é imposta pela vontade de alguma autoridade política ou pela pressão de grupos de interesse ou de vendedores da tecnologia em questão. Então, depois de escolhida a tecnologia cabe à cidade se adequar a ela. Para isso, o governo necessita realizar intervenções como a redução da rede devido a limitações de financiamento e o aumento das tarifas para cobrir os elevados custos do sistema, e ainda investir em massivas campanhas de *marketing* para convencer a população que o sistema é de seu interesse.

Não obstante, a RTPU – neste caso, por ônibus – deve ser projetada de forma a cobrir o máximo possível do território onde a população está localizada. Contudo, para otimizar a circulação dos ônibus e maximização da demanda, os planejadores do transporte público urbano geralmente desenham a rede sobre as vias urbanas de maior capacidade – arteriais e coletoras. Um sistema tronco-alimentado, porém, pode ser útil na tarefa de trazer passageiros de áreas mais remotas para os maiores corredores, expandindo a rede.

3.3.2.2. Hierarquia das vias urbanas

As vias de transporte seguem uma categorização que termina por influenciar diretamente o uso e ocupação do solo, tanto no meio urbano como no rural. O Código de Trânsito Brasileiro (CTB) (BRASIL, 1997) classifica as vias abertas à circulação, de acordo com sua utilização, em:

a) Vias urbanas (ilustradas na Figura 3.2):

- De trânsito rápido: aquela caracterizada por acessos especiais com trânsito livre, sem interseções em nível, sem acessibilidade direta aos lotes lindeiros e sem travessia de pedestres em nível. Os melhores exemplos são as vias de trânsito rápido são os trechos urbanos das rodovias nacionais e estaduais.
- Arterial: aquela caracterizada por interseções em nível, geralmente controlada por semáforo, com acessibilidade aos lotes lindeiros e às vias secundárias e locais, possibilitando o trânsito entre as regiões da cidade.
- Coletora: aquela destinada a coletar e distribuir o trânsito que tenha necessidade de entrar ou sair das vias de trânsito rápido ou arteriais, possibilitando o trânsito dentro das regiões da cidade.
- Local: aquela caracterizada por interseções em nível não semaforizadas, destinada apenas ao acesso local ou a áreas restritas.

b) Vias rurais:

- Rodovia: via rural pavimentada.
- Estrada: via rural não pavimentada.

Esta nomenclatura é reproduzida com poucas alterações nas legislações estaduais e municipais e são levadas em contas tanto no planejamento urbano de forma geral, como no planejamento do transporte público.

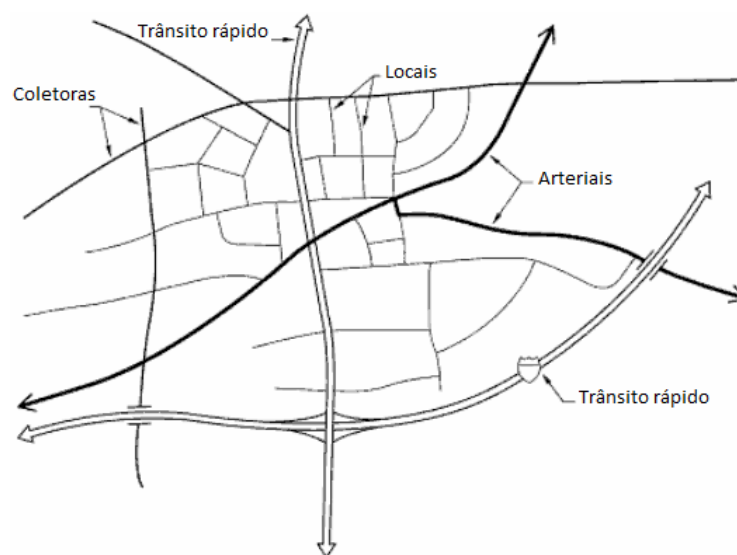


Figura 3.2 – Representação esquemática dos tipos de vias urbanas (adaptado de APA, 2006)

Nos Estados Unidos a hierarquia é semelhante. As vias urbanas são classificadas em arteriais principais (equivalente às vias de trânsito rápido), arteriais inferiores, coletoras e locais (APA, 2006). As vias urbanas podem ser comparadas em termos de sua acessibilidade aos lotes lindeiros e da mobilidade dentro do sistema viário. Conforme a Figura 3.3, as vias de trânsito rápido possuem o menor nível de acessibilidade às edificações marginais ao mesmo tempo em que possibilita a maior facilidade de deslocamento dos veículos ao longo de sua extensão. No outro extremo, nas ruas locais pode-se acessar da forma mais rápida os lotes lindeiros, enquanto que são impostas maiores barreiras ao tráfego motorizado, como os redutores de velocidade.

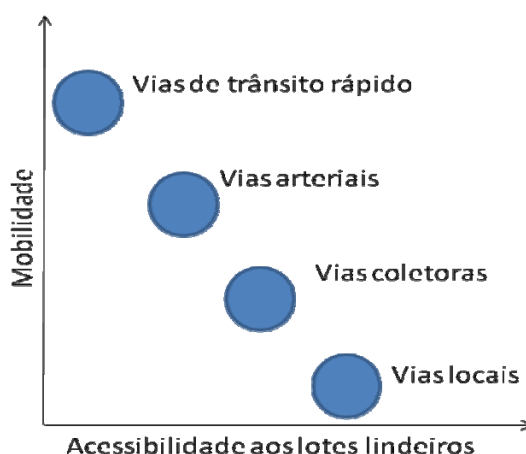


Figura 3.3 – Relação acessibilidade-mobilidade e os tipos de vias urbanas

No estudo das redes de transporte público urbano, a mobilidade e a acessibilidade são dois aspectos fundamentais e intrinsecamente relacionados. Por isso, o correto entendimento da hierarquia das vias será necessário no desenho de uma rede que cumpra satisfatoriamente seus objetivos.

3.3.3. As redes de transporte público urbano e o desenvolvimento econômico

A importância das infra-estruturas técnicas para o crescimento e o desenvolvimento econômico já é bastante discutida e documentada (ARAGÃO, 2008). Fazem parte destas infraestruturas a energia elétrica, a coleta e o tratamento do lixo, o saneamento básico, as telecomunicações, a provisão de água e, obviamente, os transportes.

PONS e BEY (1991) afirmam que as redes de transporte e de comunicações se encontram fortemente imbricadas com os territórios que articulam e são, por sua vez, expressão e consequência das inter-relações que aquelas mantêm com os sistemas socioeconômicos. Segundo DUPUY (1998), a rede se faz e se desfaz ao mesmo tempo em que o espaço econômico e social evolui. De um lado, aparecem redes equilibradas, conexas e desenvolvidas que possibilitam os intercâmbios em diversas escalas, e de outro, surgem redes desconexas, desequilibradas e desestruturadas que polarizam os territórios e contribuem para aumentar as desigualdades preexistentes.

Segundo TIAN *et al.* (2009), existem quatro padrões de rede de transporte público urbano: radial, em árvore, circular e triangular, dos quais os três primeiros são os mais utilizados. A escolha do padrão está intimamente relacionada com a forma da estrutura urbana da cidade, com o sistema urbano e com a malha viária. Nos estágios iniciais de urbanização de uma área, por exemplo, o efeito barreira das zonas urbana e rural é visível nas regiões mais afastadas. Neste momento, a estrutura de transporte público é predominantemente em forma de árvore. Com o desenvolvimento econômico da área, a capacidade de atração de um certo estabelecimento cresce; como consequência, a arquitetura da rede de transporte público torna-se radial convergindo para um único centro regional. O crescimento continuado irá ocasionar o surgimento de outros centros que também serão demandantes de transporte público. Surge então a necessidade de uma rede que interligue os diversos centros. Dessa forma, o padrão da rede de transporte público da região será um misto de radial e circular.

O desenvolvimento econômico, portanto, funciona como uma alavanca para o aprimoramento das redes de transporte público urbano devido ao inevitável aumento da demanda por transporte. Esta situação necessita ser tratada com cuidado para que a RTPU se desenvolva de forma sustentável, assegurando o deslocamento eficiente, eficaz e com boa acessibilidade aos usuários do sistema de transporte público sem penalizar o restante da cidade.

3.4. TEORIA DOS GRAFOS APLICADA AO ESTUDO DAS REDES DE TRANSPORTE

A teoria dos grafos é um ramo da matemática e da ciência da computação que estuda as relações entre os objetos de um determinado conjunto. Um grafo G é um par (V, E) onde V é um conjunto finito e não-vazio cujos elementos são chamados de vértices, enquanto E é um conjunto finito de pares não ordenados de elementos de V pares chamados arestas. As arestas representam conexões entre os vértices (FERREIRA, 2006).

TRUDEAU (1993) define grafo como um objeto que consiste de dois conjuntos chamados conjunto de vértices e conjunto de arestas. O conjunto de vértices é um conjunto finito não-vazio. O conjunto de arestas são subconjuntos com dois elementos do conjunto de vértices, além de poder ser vazio. Por exemplo, o grafo $G(V, E)$ mencionado no parágrafo anterior pode ser formado pelo conjunto de vértices $V=\{P, Q, R, S, T, U\}$ e o pelo conjunto de arestas $E=\{\{P, Q\}, \{P, R\}, \{Q, R\}, \{S, U\}\}$. A Figura 3.4. abaixo ilustra as três formas de representação dos grafos: direcionado, misto e não direcionado.



Figura 3.4 – Exemplos de representações de grafos: direcionado, misto e não direcionado (ALMEIDA, 2008)

Nas palavras de COELHO (2007), um grafo pode ser definido de forma não ambígua, por sua lista de arestas, que implica no conjunto de vértices que compõem o grafo. Grafos podem ser descritos ou mensurados através de um conjunto de propriedades:

- Grafos podem ser *direcionados* ou não;
- A *ordem* de um grafo corresponde ao seu número de vértices;
- O *tamanho* de um grafo corresponde ao seu número de arestas;
- Vértices, conectados por uma aresta, são ditos *vizinhos* ou *adjacentes*;
- A *ordem* de um vértice corresponde ao seu número de vizinhos;
- Um *caminho* é uma lista de arestas que conectam dois vértices;
- Um *ciclo* é um caminho que começa e termina no mesmo vértice;
- Um grafo sem ciclos é denominado *acíclico*.

Segundo TEODOROVIC (1986), embora os termos “grafo” e “rede” sejam empregados indistintamente, deve ser feita uma separação entre ambos. Consoante o autor, grafo denota apenas a relação estrutural entre os nós, enquanto que rede se refere a um grafo que possui relações quantitativas entre as ligações e os nós. Em outras palavras, a rede pode ser considerada um grafo dotado de valorações e significados que se aplicam ao contexto onde ela é utilizada (transporte, informática, etc.).

PONS e BEY (1991) afirmam que a aplicação da teoria dos grafos em geografia é um meio muito preciso para o estudo das redes de transporte público, subterrâneo, ferroviário ou de VLT, que possuem infra-estruturas isoladas, pois os vértices se adaptam perfeitamente aos pontos de origem e destino e os arcos às rotas. Os grafos também têm sido utilizados em diversos estudos de planejamento de transporte terrestre para detectar insuficiências e propor alternativas. Não obstante, por suas características, a teorias dos grafos pode ser aplicada a qualquer tipo de rede.

3.4.1. Elementos de um grafo

Os grafos são constituídos basicamente de nós ou vértices e arcos ou arestas. Nesta seção, além destes elementos essenciais, trata-se também dos centróides, assim denominados os nós que agregam características de uma região, além de outros elementos derivados da interação entre nós e arcos – cadeias, ciclos, caminhos e circuitos.

3.4.1.1. Nós e arcos

Os nós representam a interseção de arcos. Em um sistema de transporte os nós usualmente representam pontos estratégicos no espaço geográfico, tais como terminais, cidades, centros regionais, centros produtores, centros geradores ou atratores de demanda (ALMEIDA, 2008).

Os arcos em uma rede são a ligação existente entre dois pontos, matematicamente são chamados *links* e a notação (n_i, n_j) representa o *link* que conecta o nó $n_i \in N$ ao nó $n_j \in N$ (PRICINOTE, 2008). Segundo TAAFFE *et al.* (1996), os arcos podem representar facilidades de transporte (rodovias, hidrovias, ferrovias, rios) ou fluxos (pessoas, produtos, informações). Cada arco é tipicamente associado a uma impedância que afeta o fluxo. A unidade de medida da impedância depende da natureza da rede e do fluxo no arco. Impedância pode representar tempo, custo ou outra medida.

3.4.1.2. Centróides

Os nós onde se originam e se destinam viagens são denominados centróides. Alguns autores consideram o centróide como um tipo de nó que armazena e representa, em um ponto, dados relativos a uma determinada área. Os nós centróides são fundamentais para representar a conexão entre uma dada zona e a rede existente (ALMEIDA, 2008).

Uma das aplicações dos centróides ocorre na identificação dos pólos de desenvolvimento dentro da área de estudo para que os nós da rede, independente de quais forem, sejam adequadamente alocados no território urbano.

3.4.1.3. Cadeia e ciclo

Chama-se cadeia a sequência de arestas com uma conexão em comum com as outras, independentemente de possuir sentido ou não. Já um ciclo se refere a uma cadeia que se inicia e termina no mesmo nó e que não utiliza um nó mais de uma vez (RODRIGUE *et al.*, 2009).

3.4.1.4. Caminho e circuito

Caminho, em um grafo, é uma sequência de ligações que são percorridas no mesmo sentido. Considera-se que existe um caminho entre dois nós quando é possível deslocar-se por uma sequência ininterrupta de links. Descobrir todos os caminhos possíveis em um

grafo é fundamental para se medir a acessibilidade e os fluxos de tráfego (RODRIGUE *et al.*, 2009).

Um circuito, por sua vez, é um caminho onde o nó inicial coincide com o nó final. Em outras palavras, é um ciclo onde todos os vértices são percorridos no mesmo sentido. Os circuitos são muito importantes nos transportes porque vários sistemas de distribuição os usam para cobrir o máximo de território possível em uma direção (rota de entrega) (RODRIGUE *et al.*, 2009).

No grafo ilustrado na Figura 3.5, 2-3-6-5-2 é um ciclo, mas não um circuito. 1-2-4-1 é um ciclo e um circuito. Já 1-2-3-6 é apenas um caminho.

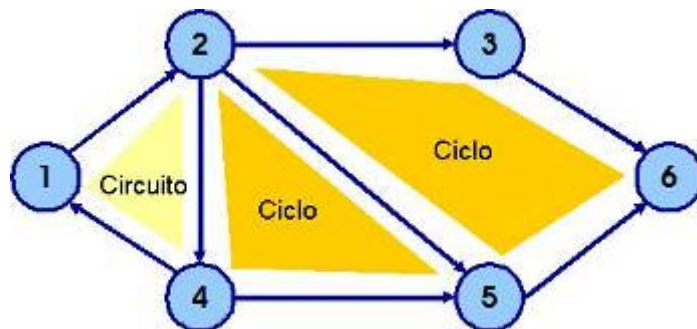


Figura 3.5 – Ciclos, circuitos e caminhos (adaptado de RODRIGUE *et al.*, 2009)

3.4.2. Atributos estruturais de um grafo

De acordo com RODRIGUE *et al.* (2009), existem três medidas empregadas para se determinar os atributos estruturais de um grafo. São elas o diâmetro do grafo, o número ciclomático e a ordem de um nó.

3.4.2.1. Diâmetro

O diâmetro de um grafo (d) representa a extensão do caminho mais curto entre os nós mais distantes entre si em uma dada rede, ou seja, d mede a extensão de um grafo e a distância topológica entre dois vértices (RODRIGUE *et al.*, 2009). Segundo os autores, o diâmetro permite medir o desenvolvimento de uma rede ao longo do tempo. Quanto maior for o valor de d , menos conectada a rede tenderá a ser.

3.4.2.2. Número ciclomático

O número ciclomático (μ) permite conhecer o número de ciclos das redes (PONS e BEY, 1991). RODRIGUE *et al.* (2009) observam que nas redes simples ou em árvore o número ciclomático é zero, pois este tipo de estrutura não possui ciclos. Por outro lado, quanto mais complexa é rede, maior será o valor de μ , de forma que este índice pode ser aplicado como um indicador do nível de desenvolvimento e complexidade de um sistema de transporte. O número ciclomático é determinado pela seguinte equação:

$$\mu = a - v + 1 \quad (4.1)$$

Em que:

μ : número ciclomático

a : número de arcos ou arestas

v : número de nós ou vértices

3.4.2.3. Ordem (ou grau) de um nó

A ordem ou grau de um nó (o) é determinado pela quantidade de arestas que ligam o nó em questão. É uma medida efetiva da importância nodal. Quanto maior o valor de o , maior importância terá o nó dentro do grafo, uma vez que muitas arestas convergem para ele. Nós *hubs* possuem altas ordens, enquanto que nós terminais possuem valores que podem se limitar à unidade (RODRIGUE *et al.*, 2009).

A Figura 3.6 ilustra uma rede informática cujo nó 6 é um *hub*, isto é, o vértice que possui a maior ordem ($o = 4$), que por sua vez é bem maior que os demais vértices da rede. Nos transportes, o conceito de *hub* é aplicado, sobretudo, no planejamento de transporte aéreo para designar aqueles aeroportos que são utilizados pelas companhias aéreas como ponto de conexão para transferir seus passageiros para o destino pretendido. Em uma rede de transporte público urbano, os *hubs* podem ser associados aos terminais de integração, para onde convergem várias linhas alimentadoras da região circundante que trazem a demanda dos subúrbios e de onde partem as linhas troncais que interligam as principais regiões da cidade.

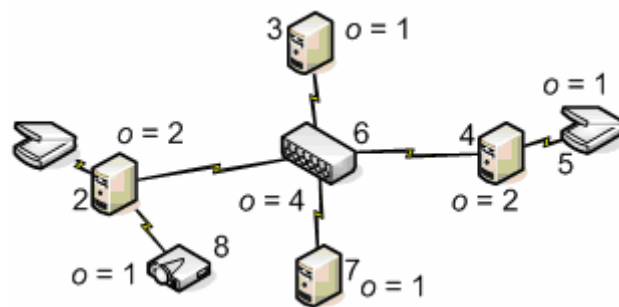


Figura 3.6 – Ordem de um nó. Nesta rede de computadores, o concentrador (nó 6) é o nó com maior ordem ($o = 4$)

3.5. AVALIAÇÃO DE REDES POR MEIO DE INDICADORES

Uma rede de transporte público que presta serviços com eficiência e qualidade precisa ser planejada, pois a simples interação dos agentes governamentais e operadores privados na rotina operacional do dia-a-dia não é suficiente para produzir este resultado. O ideal é que a concepção da rede de transporte público seja parte do processo de planejamento da mobilidade urbana como um todo, que engloba desde o trânsito e circulação geral de veículos até os deslocamentos não motorizados (NTU, 2004).

O planejamento de redes, por definição, consiste em antecipar decisões sobre a RTPU a ser implantada. Ele formula a visão de uma situação desejável da mobilidade das pessoas no futuro, a chamada imagem-objetivo. A avaliação, por sua vez, faz parte do processo de planejamento como forma de averiguar o quão a implementação da ação proposta está condizente com a imagem-objetivo definida para o objeto em estudo. A avaliação acompanha as ações de monitoramento do objeto e está presente nos três níveis do planejamento – estratégico, tático e operacional.

Como forma de quantificar e mensurar as características da rede de transporte público urbano a serem avaliadas, serão adotados índices numéricos conhecidos como medidas de análise de rede, os quais serão explanados no tópico a seguir.

3.5.1. Medidas de análise de rede

As medidas de análise de rede têm sua origem principalmente na topologia e na teoria dos grafos (TAAFFE *et al.*, 1996). Constituem uma série de indicadores que têm como fim a avaliação da configuração e do desempenho da rede de transporte com vistas à satisfação do seu resultado finalístico. A literatura consultada recorre frequentemente a um conjunto

de quatro medidas de análise de rede passíveis de serem utilizadas como indicadores. São elas: a conectividade (COX, 1972; PONS e BEY, 1991; BLACK, 2003; RODRIGUE *et al.*, 2009), a acessibilidade (COX, 1972; PONS e BEY, 1991; SCHÜRMANN *et al.*, 1997), a centralidade (COX, 1972; PONS e BEY, 1991) e a eficiência (COX, 1972; CAVADINHA e LIMA NETO, 2005).

Nos subitens 3.5.1.1 a 3.5.1.4 serão apresentadas as quatro medidas de análise de rede, cada uma composta por vários índices coletados nas obras de TAAFFE *et al.* (1996), RODRIGUE *et al.* (2009), CAVADINHA e LIMA NETO (2005), COX (1972), dentre outros. Estes índices foram propostos por diversos autores tais como, Z. Prihar (1956), Kansky (1963), Zagodzdon (1970, 1971) e Loboda (1973).

3.5.1.1. Conectividade

A conectividade da rede representa o grau no qual os deslocamentos diretos são possíveis em oposição aos indiretos, ou seja, as redes que estão mais conectadas são aquelas nas quais a quantidade de ligações diretas entre os nós é maximizada (COX, 1972). Na linguagem dos transportes, a conectividade representa a existência de opções de caminhos entre os diversos pontos do território, ou ainda a existência de linhas de ônibus. As medidas de conectividade, também chamadas medidas de coesão, permitem determinar o grau de comunicação entre vértices de um grafo (FERREIRA, 2006). Os índices de conexão são interessantes quando se analisa através do tempo o quanto o incremento das ligações tem estreita relação com a demanda de novas linhas (PONS e BEY, 1991).

Existem diversos índices que medem o grau de conexão das redes, muitos dos quais foram inicialmente desenvolvidos por Kansky e podem ser usados para (PONS e BEY, 1991; RODRIGUE *et al.*, 2009):

- Expressar a relação entre valores e as estruturas de rede que eles representam.
- Comparar diferentes redes de transporte em um determinado período de tempo.
- Comparar a evolução de uma rede de transporte em diferentes períodos de tempo.

O índice de conexão máxima [$ICM = v \cdot (v - 1) / 2$] permite, levando em conta o número de vértices, determinar a quantidade máxima de arestas que o grafo pode ter. O índice de Prihar [$IP = v \cdot (v - 1) / 2 \cdot a$] relaciona as arestas com os vértices, cujo valor máximo é a

unidade e cujos valores mínimos dependem da quantidade de vértices e arestas. Pode-se utilizar também o índice de Zagozdon [$IZ = (v^2 - v) - (a/2/v)$], que indica o número exato de arestas que faltam para completar o grafo, as quais correspondem a cada vértice de uma conexão a 100%, o que não significa que a rede seja ótima.

O índice gama de Kansky [$\gamma = a/3(v - 2)$ ou $\gamma = a \cdot 100/3(v - 2)$] relaciona o número de arestas existente e o maior número de arestas possível no grafo (PONS e BEY, 1991). O valor de gama fica entre 0 e 1, onde 1 indica uma rede completamente conectada, o que na realidade é praticamente impossível. Este índice é uma maneira eficiente de medir o progresso de uma rede ao longo do tempo (RODRIGUE *et al.*, 2009).

O índice alfa de Kansky [$\alpha = \mu/(2v) - 5$] é uma espécie de número ciclomático corrigido (PONS e BEY, 1991). É uma medida de conectividade que avalia o número de ciclos de um grafo em comparação com o número máximo de ciclos (TAAFFE *et al.*, 1996). Quanto maior o alfa, mais conectada será a rede. Portanto, é facilmente perceptível que as redes simples ou em árvore terão valor 0, enquanto que um valor 1 indica uma hipotética rede 100% conectada, o que é muito raro, pois isto implicaria em várias redundâncias (RODRIGUE *et al.*, 2009).

O índice beta de Kansky ($\beta = a/v$) assinala como à medida que o número de arestas aumenta a conectividade entre os vértices se eleva. Os valores deste índice variam entre 0 e 3. Os valores inferiores à unidade indicam redes em árvore e não conectadas, os valores próximos a 1 explicitam uma rede com um único circuito e entre 1 e 3 uma rede completa (PONS e BEY, 1991).

PONS e BEY (1991) apresentam ainda outras medidas elaboradas por Kansky que relacionam as medidas topológicas com outras correspondentes à valoração das redes, como a extensão e a demanda real. Por isso, constituem indicadores muito mais próximos à estrutura real das redes.

O índice eta de Kansky ($\eta = L/a$) mostra a relação entre a extensão real da rede e o número de arestas existentes ou também a relação entre o fluxo global da rede, se se trata de uma rede valorada, e o número de vértices ($\eta = F/v$) ou ainda a relação entre a extensão total da rede e o número de vértices ($\eta = L/v$) (PONS e BEY, 1991).

O índice iota de Kansky ($\iota = L/v_1$) representa a proporção entre a extensão da rede e os vértices estimados segundo as funções que desempenham ou a relação entre a extensão total da rede e o fluxo global da mesma ($\iota = L/F$) (PONS e BEY, 1991). Quanto menor o valor de ι , mais eficiente é a rede (RODRIGUE *et al.*, 2009).

O índice pi ($\pi = L/d$) representa a relação entre a extensão total da rede, valorada em unidade de distância ou de tempo, e a extensão total, nas mesmas unidades, do diâmetro da rede (medida de forma a indicar o número de arestas ou a distância do caminho mais curto entre os dois vértices mais distantes) (PONS e BEY, 1991).

3.5.1.2. Acessibilidade

As medidas de acessibilidade e as de centralidade, de acordo com FERREIRA (2006), são utilizadas para identificar a hierarquia dos vértices de uma rede. SCHÜRMANN *et al.* (1997) afirmam que a acessibilidade é o principal “produto” de um sistema de transporte. A acessibilidade determina a vantagem da localização de uma região em relação a todas (incluindo ela mesma). Os indicadores de acessibilidade medem os benefícios que os domicílios e empresas de uma área obtêm com a existência e o uso de uma infra-estrutura de transporte importante para sua região.

A acessibilidade de um local em relação a outro, segundo COX (1972), depende de dois fatores: se eles são ou não conectados por uma rota e a magnitude do custo de movimentação envolvido em ir de um lugar a outro. As medidas de acessibilidade e centralidade permitem conhecer a hierarquia dos vértices da rede (PONS e BEY, 1991).

O primeiro índice de acessibilidade mencionado por PONS e BEY (1991) é o de acessibilidade topológica absoluta (ATA) ou índice de Shimbél, único para cada vértice e que corresponde à soma das distâncias topológicas entre cada vértice e todos os demais. Esta distância é obtida a partir da confecção de matriz topológica ou matriz de distâncias mínimas. A soma de todos os índices de Shimbél constitui o grau de dispersão do grafo.

A elaboração da matriz topológica resulta imprescindível para que se conheça o peso de cada uma das arestas a partir no número de vezes que estas são utilizadas para se alcançar, pelo caminho mínimo, os vértices da rede. As arestas que possuem menores valores

topológicas são aquelas que hierarquizam o território e que correspondem em termos reais, por exemplo, às rodovias mais movimentadas (PONS e BEY, 1991). Cabe ressaltar que a distância topológica pode ser substituída por valores mais fidedignos como o comprimento dos arcos ou o fluxo de tráfego, por exemplo, conferindo assim uma maior exatidão na apuração da acessibilidade absoluta. A seguir é feita a demonstração de um exemplo do cálculo da ATA em uma rede hipotética (Figura 3.7).

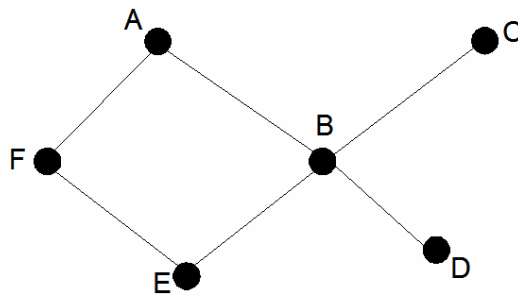


Figura 3.7 – Exemplo de uma rede

Com o valor da acessibilidade topológica absoluta de cada nó, preenche-se a matriz topológica abaixo (Tabela 3.1). Neste exemplo foram consideradas as distâncias topológicas propriamente ditas, ou seja, cada arco corresponde a uma unidade, independentemente do seu comprimento.

Tabela 3.1 – Matriz topológica

Nó	A	B	C	D	E	F	Σ
A	0	1	2	2	2	1	8
B	1	0	1	1	1	2	6
C	2	1	0	2	2	3	10
D	2	1	2	0	2	3	10
E	2	1	2	2	0	1	8
F	1	2	3	3	1	0	10
Σ	8	6	10	10	8	10	52

Da tabela acima depreende-se que o nó mais acessível é o nó B, pois é o que possui o menor valor de ATA. Em outras palavras, a ATA mostra que para se alcançar o nó 2 é necessário percorrer um menor caminho. Já o valor da acessibilidade topológica global (52) aponta que a rede do exemplo possui, de modo geral, nós com uma boa acessibilidade

entre si. Conforme o valor da acessibilidade topológica global se aproxima e ultrapassa a centena, a acessibilidade torna-se cada vez menos favorecida.

A acessibilidade topológica absoluta permite deduzir outros índices que apresentam resultados análogos aos do índice de Shimbél. Um deles é a extensão média da via a partir de cada vértice da rede (EMV), que constitui o quociente entre a acessibilidade topológica absoluta e o número de vértices (PONS e BEY, 1991).

Outro é o índice de acessibilidade topológica relativa (ATR), que varia entre 0 para o nó mais acessível e 100 para o de menor acessibilidade. Elaborado por Stutz, é determinado pela fórmula $\Omega = A_y - A^*/(A^* - A^*) \cdot 100$, onde A_y representa o valor de ATA de cada nó, A^* , o valor mínimo de Shimbél da rede em questão e A^* seu valor máximo (PONS e BEY, 1991).

3.5.1.3. Centralidade

A centralidade, também chamada de organização hierárquica da rede, nas palavras de COX (1972), corresponde à quantidade de ligações que um determinado nó possui. Em outras palavras, quanto mais conectado um nó for ao resto da rede, mais centralizado ele será, e esta característica é extrapolada para toda a rede. Analisando redes ferroviárias interurbanas de alguns países, o autor concluiu que aqueles com redes mais centralizadas são caracterizados por uma condição na qual a população de uma cidade representa uma maior proporção em relação à população total do país, conforme explicitado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Relação centralidade da rede x participação da capital na população do país

	Centralidade	Proporção da população da capital em relação ao total do país (%)
França	2,00	15,0
Reino Unido	1,60	14,4
Áustria	1,56	22,0
Itália	1,05	3,7
Espanha	0,94	8,0
Turquia	0,94	2,7
Romênia	0,88	7,1
Argélia	0,87	7,7

A centralidade topológica média (CToM) da rede vem determinada pelo quociente entre o valor de Shimbela e o número total de vértices da rede menos um. Esta centralidade média pode ser calculada para cada vértice e sua representação cartográfica sobre o território permite traçar linhas de isoacessibilidade. A matriz de distâncias topológicas permite a obtenção das distâncias de todos os vértices da rede em relação a um ponto qualquer, por exemplo, um lugar que atraia muitas viagens, como um centro comercial (PONS e BEY, 1991). As autoras ainda observam que os valores de centralidade média desempenham, neste sentido, um papel muito significativo para a localização ótima de infra-estruturas ou de equipamentos diversos de modo a oferecer uma maior cobertura territorial.

A centralidade espacial média (CEM) possibilita conhecer a posição dos vértices da rede em função de sua disposição espacial e a das vias. É obtida de forma semelhante à CToM, dividindo-se o valor da acessibilidade de cada nó em unidade de distância por $v - 1$, sendo v o número de nós que conformam a rede. O valor mínimo indica o ponto mais central da rede. Com os valores obtidos para cada vértice, é possível traçar linhas de isocentralidade espacial, isto é, linha que unem pontos de igual distância em quilômetros no conjunto da rede (PONS e BEY, 1991).

Finalmente, a centralidade temporal média (CTeM) permite cartografar as linhas de isocentralidade temporal. Através dos tempos de percurso que valoram os arcos, são ponderadas as características das vias (PONS e BEY, 1991).

3.5.1.4. Eficiência

As medidas de eficiência das conexões, segundo FERREIRA (2006) relacionam o quanto as conexões da rede estão sendo eficientes para ligar os seus vértices. Ainda segundo o autor, os indicadores de eficiência representam a relação entre recursos empregados e os resultados obtidos a partir desta atividade.

Dos quatro tipos de medidas de análise de rede empregadas neste trabalho, a eficiência é a única que não leva em conta unicamente os nós e arcos da rede de transporte. Suas principais variáveis são dados operacionais do sistema de transporte público, como despesas das viagens e a ocupação do veículo.

CAVADINHA e LIMA NETO (2005), baseando-se nas obras de TOMAZINIS, VUCHIC e MOLINERO e ARELLANO, avaliam a eficiência de uma rede de transporte público urbano a partir de sete indicadores: quatro representando os pontos de vista do operador e dos usuários e três representando o ponto de vista do governo e da sociedade. Dentre os três últimos, dois já foram expostos, os índices alfa e gama de Kansky, razão pela qual serão expostos a seguir apenas os cinco indicadores restantes. O índice de cobertura da rede é o único que representa o ponto de vista do governo e da sociedade.

A despesa operacional por lugares x quilômetro (DOLK) representa a eficiência através do custo operacional direto unitário do serviço oferecido sobre a rede para uma linha de ônibus, para uma parte do sistema, ou para um sistema completo. Esta medida é determinada pela fórmula $DOLK = CDO/LKM$, onde CDO é o custo direto operacional e LKM é a quantidade de lugares totais oferecidos por quilômetro (CAVADINHA e LIMA NETO, 2005; SILVA, 2009).

O custo total da viagem (CTV) representa o custo unitário de uma viagem realizada sobre a rede, avaliando o quanto foi econômica a produção dos serviços sobre a rede. Este indicador recebe interferência direta da rede através de seus itinerários, pois é de acordo com eles que são designados o tamanho da frota e das equipes e estruturas necessárias para produzir o serviço adequado. Pode ser calculado para uma linha de ônibus, para uma parte do sistema, ou para um sistema completo. Determinado pela equação $CTV = COT/QVR$, onde COT é o custo operacional total e QVR é a quantidade de viagens realizadas (CAVADINHA e LIMA NETO, 2005).

A relação que representa a intensidade do serviço (IS) reflete o nível de serviço dado sobre a rede. Quanto maior esta intensidade, melhor é o nível de serviço da rede, que pode ser analisado por linha de ônibus, por uma parte do sistema, ou considerando o sistema completo. Calcula-se a intensidade do serviço através da expressão $IS = LKM/VKM$, onde VKM é a quantidade de veículos por quilômetro (CAVADINHA e LIMA NETO, 2005).

A quantidade de lugares totais oferecidos por quilômetro por pessoal de operação x hora (LKMPOH) reflete a eficiência da utilização de mão-de-obra de operação na produção dos serviços sobre a rede de uma linha de ônibus, de uma parte do sistema, ou de um sistema completo. Uma redução neste indicador pode alertar para uma ociosidade na alocação de

mão-de-obra de operação. A fórmula que determina esta medida é $LKMPOH = LKM/POH$, onde POH é a quantidade de pessoal de operação por hora (CAVADINHA e LIMA NETO, 2005).

Finalmente, o índice de cobertura da rede (ICR) representa a extensão da cobertura de uma rede de transporte público sobre uma determinada região da cidade. O ICR varia entre zero e a unidade e quanto mais próximo dela, melhor os serviços que cobrem a área da região. Na fórmula $ICR = ACS/ARA$, o ACS é a área coberta pelos serviços, ou seja, a área servida pelo sistema de transporte público, também chamada de bacia primária de transporte por MOLINERO e ARELLANO (2005), cuja distância máxima é a aceitável de percorrer a pé caminhando. Já a ARA é a área da região atendida, considerada como o somatório das áreas dos municípios ou distritos onde o sistema de transporte ou parte dele está inserido (MOLINERO e ARELLANO, 2005; CAVADINHA e LIMA NETO, 2005).

3.6. TÓPICOS CONCLUSIVOS

Todos os conceitos de rede exibidos neste capítulo carregam consigo a ideia de pontos conectados por ligações. Os pontos são chamados genericamente de nós ou vértices e as ligações de arcos ou arestas. As redes são úteis para o desenvolvimento da infra-estrutura para a distribuição de alguns serviços urbanos, como o saneamento, a energia elétrica e, até mesmo, o transporte público, tanto que são conhecidas como redes técnicas urbanas.

Nas redes de transportes os nós podem representar cidades, cruzamentos viários, aeroportos, estações ferroviárias, portos, etc., os quais são interligados por ramificações específicas como ruas, estradas, aerovias, hidrovias, etc. As redes de transportes se apresentam como importantes elementos na realização dos deslocamentos das pessoas, além de interligar as economias regionais aos mercados consumidores e produtores.

Dentre as várias modalidades de redes de transporte, há a rede de transporte público urbano (RTPU), que precisa ser configurada de forma a otimizar os deslocamentos de seus usuários considerando a eficiência e a eficácia destas movimentações. O desenvolvimento econômico surge como uma alavanca para o aprimoramento das RTPUs na medida em que gera mais necessidades de deslocamentos das pessoas, obrigando o poder público a investir no aprimoramento da rede e do serviço de transporte público de forma geral.

A teoria dos grafos mostra-se útil na representação e avaliação das redes de transporte público. Seus conceitos e elementos podem ser correlacionados com os componentes de um sistema de transporte, permitindo a representação esquemática da rede de forma a contribuir para sua avaliação. Como visto anteriormente, as vias podem ser ilustradas pelos arcos e os terminais pelos nós. Outro conceito importante levantado com o estudo da teoria dos grafos foi o de centróide, espécie de nó especial que concentra as características de uma região e que pode auxiliar na localização dos terminais mais importantes do sistema de transporte público urbano.

Para se avaliar a configuração da RTPU serão adotados indicadores. A avaliação por meio de indicadores é parte do processo de planejamento em seus três níveis – estratégico, tático e operacional – e deve ser aplicada continuamente para se aproximar o máximo possível da imagem-objetivo determinada para o objeto em estudo.

A última etapa do capítulo apresentou as medidas de análise de rede, um conjunto de índices numéricos que quantificam e avaliam a configuração das redes em relação às características de conectividade, acessibilidade, centralidade e eficiência. Os índices se baseiam na quantidade de nós e arcos da rede e também em outras variáveis como o comprimento dos arcos e os custos operacionais. No capítulo seguinte, será feita a seleção para que se defina quais dos índices podem ser empregados como indicadores para avaliação da configuração da RTPU.

4. INDICADORES

4.1. APRESENTAÇÃO

O termo indicador é amplamente referido em diversos ambientes, quer acadêmico quer profissional, quer público quer privado. Isto se deve, em grande parte, à popularização do processo de planejamento que envolve os diferentes níveis de decisão (estratégico, tático e operacional) e da gestão da informação, que busca levar a informação correta aonde ela é necessária, para quem e quando ela é necessária (CEFTRU, 2006a).

Na prática, um indicador, ou um sistema de indicadores, graças a sua forte capacidade de condensar informações, configura-se como uma ferramenta de grande contribuição para o planejamento, seja de que área for. Nesta Dissertação, por exemplo, será desenvolvido um sistema de indicadores que possibilite a avaliação da configuração das redes de transporte público urbano com vistas a garantir um deslocamento eficaz, com eficiência e que facilite a acessibilidade dos usuários ao transporte público.

O sistema de indicadores destinado especificamente para o objetivo descrito no parágrafo anterior será detalhado próximo capítulo. Antes, porém, faz-se necessário conhecer os conceitos e os termos comumente utilizados no universo dos indicadores. O presente capítulo inicialmente aborda estes conceitos e ainda as características e funções, além dos tipos de indicadores. O quinto tópico é dedicado à metodologia geral de elaboração de um sistema de indicadores, moldada por MAGALHÃES (2004). O processo é descrito na íntegra e serve como alicerce para o desenvolvimento no sistema apresentado no Capítulo 5. Por fim, são listados os tópicos conclusivos.

4.2. CONCEITOS DE INDICADORES

Os indicadores são, hoje, elementos centrais no processo de tomada de decisão, a exemplo da Economia, principal exemplo de utilização desses elementos no planejamento e gestão de um setor. Eles são os principais elementos de informação e é sobre eles que o conhecimento sobre diversos temas é construído pelos tomadores de decisão. Eles determinam, portanto, o que e como se percebe determinado objeto, afetando diretamente as decisões (MAGALHÃES, 2004).

Entretanto, deve-se tomar cuidado na escolha dos indicadores a serem utilizados em um dado estudo ou trabalho para que as variáveis em análise possam ser determinadas da maneira mais clara e sólida possível. Além disso, o tema “indicador” traz consigo alguns termos que à primeira vista parecem sinônimos: dados, indicadores e índices, mas que compreendem diferentes elementos, características e níveis de representação. MAGALHÃES (2004) observa que inúmeras definições existem para estes termos, no entanto, é conveniente reduzir seu universo de denotação.

Dado é o mais básico componente de um indicador (SEGNESTAM, 2002), representando valores selecionados a partir de um domínio de atributos pertencentes a uma entidade. Daí decorrem outras três definições: entidade, atributo e valor do atributo, sistematizadas por CORREIA (2004):

- Entidade: fenômeno do mundo real que possui um significado bem definido;
- Atributo: característica definida de uma entidade, ou ainda, uma propriedade descritiva que é associada a uma entidade;
- Valor do Atributo: qualidade ou quantidade específica atribuída a um atributo.

Desta forma, um objeto, ou entidade, pode ser representado através de diversos dados. No entanto, de acordo com o nível de análise, a representação de uma entidade através de uma grande quantidade de dados é contraproducente e pouco ajuda no processo de tomada de decisão. É nesta lacuna de elementos de síntese que os indicadores desempenham seu papel (MAGALHÃES, 2004).

Um *indicador* propriamente dito é um dado, uma informação, valor ou descrição que retrata uma situação, um estado de coisas. Portanto, é um conceito vinculado à função, ao papel daquele dado, informação, valor ou descrição. Além desta característica, um indicador deve ter abrangência de expressão, ou seja, deve informar além daquilo que expressa diretamente. Por exemplo, o indicador “taxa de pavimentação de vias” expressa também a qualidade habitacional e a oferta dos serviços de infra-estrutura básica naquele lugar, bem como a possibilidade de acesso do transporte coletivo e da coleta de lixo. Portanto, diz muito mais sobre o lugar do que a simples existência de pavimentação. Sendo assim, quando se trata de dados, o termo ‘indicador’ pode se referir a uma informação

numérica simples, a agregações matemáticas de informações ou mesmo de índices, visando expressar dada situação (NAHAS, 2003).

Finalmente, segundo NAHAS (2003), um *índice* é uma agregação matemática, um conceito atrelado a uma estrutura formal de cálculo. De maneira geral, o índice é uma agregação, proposta de representação de todo um sistema, ou tema, por um único elemento, normalmente adimensional, sendo empregado em aproximações iniciais e proporcionando uma descrição geral sobre o tema analisado. Deste modo, um índice o elemento que “personifica”, que expressa um indicador e sua distinção é feita apenas para valorizar a agregação de dados, as regras de relacionamento entre estes dados, além de sua estrutura de cálculo.

Por fim, a análise do indicador, sob determinado contexto e enfoque e orientado a um determinado propósito, gera a informação que, segundo SEGNESTAM (2002), é a base do processo de tomada de decisão. A informação é, portanto, o resultado da análise de indicadores e índices, sendo politicamente relevante. No caso de uma rede de transporte público, a informação buscada pode estar relacionada com a configuração ou com o desempenho da mesma, o que depende da escolha correta dos indicadores.

4.3. CARACTERÍSTICAS E FUNÇÕES DOS INDICADORES

Um dos princípios fundamentais de um indicador é seu poder de síntese e elevado poder de representação, características estas nem sempre presentes em todo dado analisado. Diante da infinidade de dados existentes, para se selecionar dentre eles indicadores é conveniente adotar um critério que garanta a qualidade, utilidade e eficácia na provisão de informação, cuja geração é sua função fundamental (MAGALHÃES, 2004).

Segundo o autor, são características necessárias a um indicador:

- Relevância à escala da análise (espacial e temporal);
- Adequação às necessidades do grupo-alvo (especialistas, gestores, público, etc.);
- Pertinência aos objetivos do planejamento;
- Facilidade de compreensão, clareza, simplicidade e ausência de ambigüidades;
- Viabilidade, dentro do contexto da disponibilidade de dados e grandeza de custos de obtenção;

- Reduzidos em número; e
- Representatividade, aproximando ao máximo possível de um consenso.

Outro critério importante no processo de seleção dos indicadores é observar a capacidade destes em cumprir suas funções. MAGALHÃES (2004) aponta como funções de um indicador:

- Prover informações sobre os problemas enfocados;
- Subsidiar o desenvolvimento de políticas e estabelecimento de prioridades, identificando fatores-chave;
- Contribuir para o acompanhamento das ações definidas; e
- Ser uma ferramenta de difusão de informações em todos os níveis.

Por definição, os indicadores condensam informação, possibilitam a aproximação a problemas complexos através da simplificação e servem como elementos de difusão de informação devendo sua seleção ser bastante cuidadosa (MAGALHÃES, 2004). Além do mais, os indicadores projetam uma situação ideal da variável em questão, o que nem sempre poderá ser alcançado em função de outros elementos que interferem no desenvolvimento e implantação das políticas públicas, tais como a questão política e a econômica.

4.4. TIPOS DE INDICADORES

Para responder às diferentes necessidades de informação e respaldar diversos tipos de análise, existem diferentes tipos de indicadores. Esta classificação pode ser feita em função do nível de análise a que se prestam, como também pela sua função, ou dimensão de representação (MAGALHÃES, 2004).

A EEA (1999) classifica os indicadores em quatro grupos de acordo com sua dimensão de representação: descritivos, de desempenho ou eficácia, de eficiência e global. A caracterização de cada tipo está sintetizada na Tabela 4.1, adaptada de EEA (1999) e MAGALHÃES (2004).

Tabela 4.1 – Tipos de indicadores por função

Tipo de indicador	Descrição
Descritivo	Descrevem, caracterizam um determinado tópico. Refletem como está a situação, sem referência de como deveria ser.
Desempenho ou Eficácia	Comparam as condições atuais com uma série de valores de referência, a exemplo de metas ou resultados esperados.
Eficiência	Possibilitam a avaliação da eficiência das ações, refletindo qual a relação, quantitativa e qualitativa, entre meios empregados e resultados obtidos.
Global	São os mais abstratos e sintéticos dos indicadores. São, em geral, índices, agregações de diversos indicadores transmitindo uma visão geral sobre o tópico tratado.

FCM (2002) *apud* MAGALHÃES (2004) classifica os indicadores, pelo nível de análise a que se prestam, em indicadores operacionais, funcionais e estratégicos, caracterizados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Tipos de indicadores por nível de análise

Tipo de indicador	Descrição
Operacional	São em geral dados desagregados sobre determinado objeto que é usado nas decisões do dia-a-dia.
Tático ou Funcional	São resultados da análise de indicadores operacionais diversos, mas relacionados, a fim de se obter uma visão geral sobre determinado tópico, utilizado em níveis intermediários de decisão.
Estratégico	Permitem avaliações globais de objetivos e/ou ideais mais amplos, utilizados nos níveis mais altos de decisão.

4.5. METODOLOGIA GERAL PARA ELABORAÇÃO DE UM SISTEMA DE INDICADORES

Apesar da grande utilidade dos indicadores, sua utilização não deve ser feita indiscriminadamente sob o risco de se obter resultados imprecisos e pouco confiáveis. Visando evitar a confiança cega em quaisquer indicadores, MAGALHÃES (2004) estudou diversos modelos de estruturação de indicadores e chegou à metodologia apresentada a seguir, elaborada com base em trabalhos de outros autores como SEGNESTAM (2002) e

EEA (1999). A metodologia proposta, esquematizada na Figura 4.1, é composta de 14 atividades divididas em duas etapas: elaboração e implementação. A etapa de elaboração é composta por 10 atividades e é o momento mais importante do desenvolvimento do sistema de indicadores sendo determinante da viabilidade de todo o sistema. A etapa de implementação é composta por quatro atividades, e é a parte mais custosa do processo, pois prevê a confecção de base de dados, desenvolvimento de softwares e treinamento de recursos humanos. Cada um destes passos e suas respectivas atividades estão descritas a seguir (MAGALHÃES, 2004).

4.5.1. Etapa de elaboração

Atividade 01 - Definição do agente que vai coordenar o processo: garante que haverá um agente que catalisa e coordena o processo. Este agente deve ocupar uma posição de neutralidade e credibilidade para que não se criem arestas desde o início do processo (MAGALHÃES, 2004).

Atividade 02 - Estabelecimento de uma rede de cooperação: neste ponto opta-se, ou não, por um processo participativo. Apesar do desenvolvimento interno de um sistema de indicadores ser a solução mais fácil, rápida e menos polêmica, existe sempre o risco da inaceitabilidade do sistema por falta de consenso. Desta forma, apesar de mais trabalhoso, o processo participativo pode conduzir a melhores resultados, com sistemas melhor aceitos entorno do qual existe um consenso que o sustenta, incluindo os principais agentes. Esta etapa prevê também a inclusão de especialistas na área, que possam enriquecer o escopo do sistema e adicionar certo rigor científico necessário à formulação dos indicadores. A identificação dos principais agentes é aqui desenvolvida, e é essencial para o planejamento estratégico (MAGALHÃES, 2004).

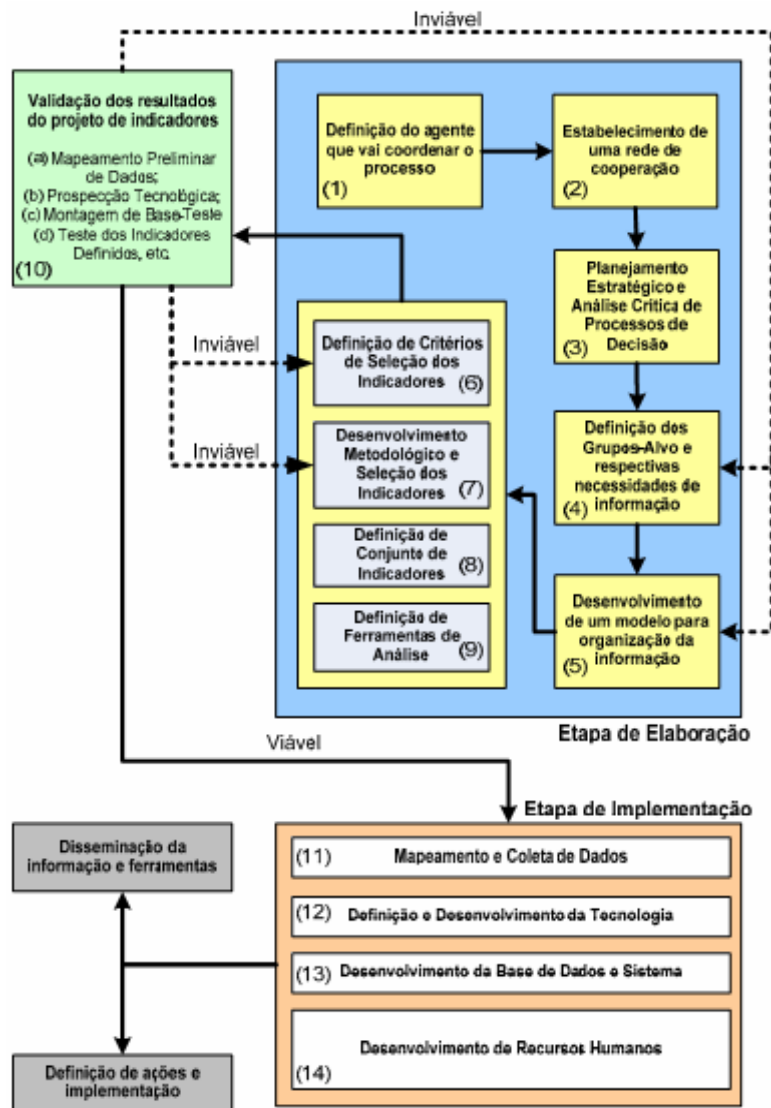


Figura 4.1 – Metodologia proposta para montagem de sistema de indicadores (MAGALHÃES, 2004)

Atividade 03 - Planejamento estratégico e análise de processos de decisão: essa etapa é fundamental no desenvolvimento de um sistema de indicadores. Antes de proceder-se a qualquer outra etapa deve-se verificar se já existe um planejamento estratégico. Esta importância decorre do fato que o Planejamento Estratégico define elementos como visões, preocupações, princípios e objetivos que são norteadores das decisões e, portanto, elementos de orientação na elaboração do sistema de indicadores. A análise crítica de processos de decisão é essencial na compreensão, identificação e crítica dos critérios sobre os quais os agentes decidem, critérios estes que são os elementos a serem representados no sistema de indicadores. É a etapa necessária a contextualização do sistema, determinando sua orientação às necessidades reais e práticas (MAGALHÃES, 2004).

Atividade 04 - Definição dos grupos-alvos e necessidades de informações: os principais agentes, ou usuários do sistema, são identificados e suas necessidades de informação sistematizadas, ou seja, determina-se o que cada um precisa saber para desempenhar seu papel. Em função deste levantamento, são definidos os elementos a serem representados no sistema de indicadores e os perfis de necessidades de informação, a fim de orientar a definição dos conjuntos de indicadores (MAGALHÃES, 2004).

Atividade 05 - Desenvolvimento de um modelo para a organização da informação: os modelos de estruturação servem como ferramenta de análise e sistematização de um problema. É, portanto, uma ferramenta de desenho do sistema de indicadores e da definição das necessidades de informação. Dependendo do grupo-alvo e suas necessidades de informação, pode-se adotar um modelo de organização diferenciado. Estes modelos auxiliam na determinação do que é relevante para o conjunto de indicadores, qual o nível de refinamento necessário para cada tipo de problema, evitando que existam ambigüidades e redundâncias (MAGALHÃES, 2004).

Atividade 06 - Definição de critérios de seleção: esta etapa estabelece para cada elemento ou preocupação, a ser representado no sistema quais as diretrizes ou critérios para a seleção dos indicadores. São exemplos de critérios passíveis de serem utilizados: escala espacial e temporal, adequação aos tipos de análises desejados, clareza, complexidade de cálculo, disponibilidade, representatividade dos dados utilizados, dentre outros. A principal função destes critérios é constituir parâmetros para a seleção dos indicadores (e dados utilizados) e identificação da necessidade de desenvolvimento de novas metodologias (MAGALHÃES, 2004).

Atividade 07 - Desenvolvimento metodológico e seleção dos indicadores: de posse dos elementos a serem representados no sistema e tendo definidos os critérios de seleção, parte-se para o levantamento dos indicadores existentes. Uma vez concluído este levantamento, analisa-se e discute-se qual dos indicadores deve ser utilizado para representar cada elemento do sistema. Se não houver um consenso ou se não existirem indicadores adequados, deve-se proceder ao desenvolvimento de novos indicadores (MAGALHÃES, 2004).

O desenvolvimento de novos indicadores consiste na elaboração de uma metodologia de representação para o elemento focado. Esta metodologia engloba desde a fundamentação teórica até os procedimentos de coleta e cálculo do indicador (MAGALHÃES, 2004).

Atividade 08 - Definição de conjuntos de indicadores: selecionados os indicadores para cada elemento do sistema, procede-se à definição dos conjuntos de indicadores. Conjuntos de indicadores são concebidos como o escopo de indicadores necessários a cada grupo-alvo para o pleno desempenho de suas atividades. Portanto, estes conjuntos são direcionados a responder as necessidades de informação de cada usuário (MAGALHÃES, 2004).

Atividade 09 - Definição de ferramentas de análise: consiste na definição das ferramentas de análises, ou quais recursos analíticos cada grupo-alvo precisa ter à disposição para utilizar de forma integral seu conjunto de indicadores (ex. mapas, ferramentas de estatística e análise espacial, tabelas, gráficos, etc.) (MAGALHÃES, 2004).

Atividade 10 - Validação dos resultados do projeto de indicadores: conforme definido por SEGNESTAM (2002), deve-se verificar a aceitabilidade e viabilidade do sistema de indicadores em casos onde não existem experiências anteriores. Trata-se de uma pesquisa prévia sobre aceitação pelos diversos grupos-alvos e disponibilidade de recursos, dados, tecnologia para a montagem do sistema de indicadores (que corresponde a uma versão reduzida da etapa de implementação), além de possíveis testes estatísticos dos indicadores. Isto evita que um projeto inviável seja posto efetivamente em prática (MAGALHÃES, 2004).

Se o sistema for considerado inviável, pode-se rever o processo nos seguintes pontos:

- Desenvolvimento metodológico e seleção dos indicadores;
- Definição dos critérios de seleção;
- Desenvolvimento dos modelos de organização da informação; e,
- Definição dos grupos-alvos e necessidades de informação.

Sendo viável, parte-se para a etapa seguinte: a implementação do sistema.

4.5.2. Etapa de implementação

Atividade 11 - Mapeamento e coleta de dados: consiste no levantamento de dados disponíveis e das possíveis formas de obtenção de novos dados que se mostrem necessários. Deve-se considerar também a aplicação de metodologias para a avaliação da qualidade dos dados e definição de procedimentos de coleta (MAGALHÃES, 2004).

Atividade 12 - Definição e desenvolvimento da tecnologia: neste item se avalia e seleciona, ou desenvolve, uma tecnologia específica para o desenvolvimento da base e do sistema de informação (necessidade de informatização, sistemas operacionais, bancos de dados e softwares e pacotes de desenvolvimento, definição da arquitetura do sistema, etc.) (MAGALHÃES, 2004).

Atividade 13 - Desenvolvimento da base de dados e sistema: aqui, são efetivamente realizados a coleta, tratamento, conversão, inserção e verificação dos dados mapeados na etapa 8, adotando as definições da etapa 9. As funcionalidades desejadas (visualização, edição, consulta, ferramentas de análise, etc.) são implementadas, constituindo o sistema (MAGALHÃES, 2004).

Atividade 14 - Desenvolvimento de recursos humanos: consiste na formação de profissionais capazes de utilizar adequadamente o sistema para o desenvolvimento de suas atividades. Isto pode ser feito através de cursos, oficinas, workshops, incentivos à pesquisa acadêmica, dentre outras atividades (MAGALHÃES, 2004).

Por fim, o autor assinala dois outros processos que devem ocorrer naturalmente a reboque do desenvolvimento desta metodologia. O primeiro é a disseminação de informações e ferramentas, ou seja, a documentação de todo o sistema, possibilitando a troca de experiências. O segundo é a definição de ações e implementação, como resultado da formação de conhecimentos e alternativas através do uso dos indicadores pelos diversos gestores.

4.6. TÓPICOS CONCLUSIVOS

Os indicadores possuem um forte poder de síntese e elevado poder de representação, características estas nem sempre presentes em todo dado analisado. Por conta disto, deve-se ter cautela ao se empregar um determinado índice como indicador. Em outras palavras,

um indicador deve indicar mais do que sua expressão numérica diz, e ainda servir como parâmetro para o desenvolvimento de políticas e ações que dizem respeito às áreas de atuação onde estão sendo empregados.

A metodologia para elaboração de um sistema de indicadores, desenvolvida por MAGALHÃES (2004), será a principal referência para o sistema de indicadores proposto neste trabalho. No Capítulo 5, serão apresentadas as adequações consideradas necessárias para que se obtenha os indicadores desejados, o que culminará no estudo de caso do Capítulo 6.

5. ELABORAÇÃO DO SISTEMA DE INDICADORES PARA AVALIAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DE REDES DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO

5.1. APRESENTAÇÃO

Uma vez tendo sido compreendidos os conceitos e definições apresentados nos três capítulos da Revisão Bibliográfica, parte-se para o desenvolvimento do sistema de indicadores que permitirá avaliar a configuração das redes de transporte público urbano através dos indicadores. O sistema de indicadores proposto é baseado na metodologia apresentada por MAGALHÃES (2004), com as devidas adaptações que visam adequar as peculiaridades da avaliação de redes de transporte público urbano.

O presente capítulo é dividido em três seções além desta Apresentação. O próximo item introduz a estruturação da metodologia e os passos para sua confecção levando-se em conta os objetos de estudo da Dissertação. Na seção 5.3 são apresentados os indicadores selecionados de acordo com os elementos de representação da rede, enquanto que a última parte é destinada às conclusões a respeito do sistema proposto, o qual será aplicado no capítulo seguinte através de um estudo de caso.

5.2. ESTRUTURAÇÃO DA METODOLOGIA DE DEFINIÇÃO DO SISTEMA DE INDICADORES

MAGALHÃES (2004) descreve a metodologia para montagem conforme a Figura 4.1 do sistema de indicadores, dividindo-a em duas etapas: elaboração e implementação. Este capítulo enfocará apenas seis passos da etapa de elaboração, dado que os outros itens da metodologia são aplicáveis a trabalhos mais complexos. Na Figura 5.1 abaixo é apresentada o roteiro da metodologia adaptada a este estudo acadêmico. Desta forma a metodologia fica mais adequada para o desenvolvimento da Dissertação e suas limitações, tais como a escassez de tempo e de recursos para elaboração de um trabalho mais complexo envolvendo os diversos atores. Dessa forma as seguintes etapas serão desenvolvidas:

- 1- Planejamento estratégico e análise de processo de decisão;

- 2- Definição dos grupos-alvos e respectivas necessidades de informação;
- 3- Desenvolvimento de um modelo para organização da informação;
- 4- Definição de critérios de seleção dos indicadores;
- 5- Definição do conjunto de indicadores;
- 6- Definição de ferramentas de análise.

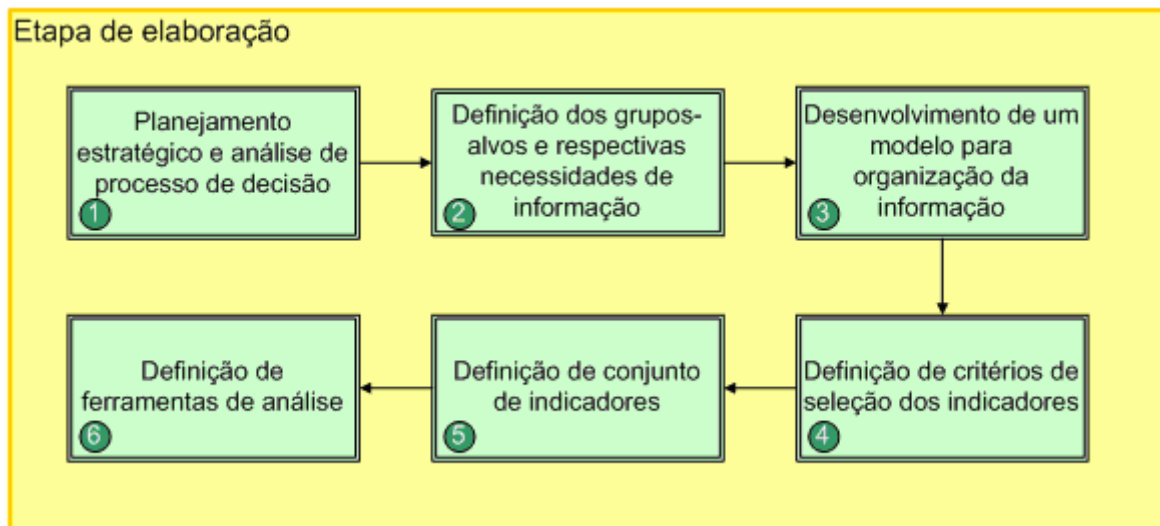


Figura 5.1 - Etapas da elaboração do conjunto de indicadores baseado em MAGALHÃES (2004)

A seguir são detalhadas as etapas que nortearão a construção do conjunto de indicadores.

Atividade 1- Planejamento estratégico e análise de processos de decisão

Nesta etapa foi adotado como modelo de planejamento estratégico e processo de tomada de decisão a estrutura desenvolvida em BRASIL (2006), apresentada por meio da Figura 5.2, que considera o processo de planejamento estratégico, tático e operacional com a implementação até a avaliação das ações, metas como do próprio resultado finalístico que altera o objeto estudado. Assim, é dentro desse contexto de planejamento e tomada de decisão que é desenvolvido o conjunto de indicadores de configuração de RTPUs.

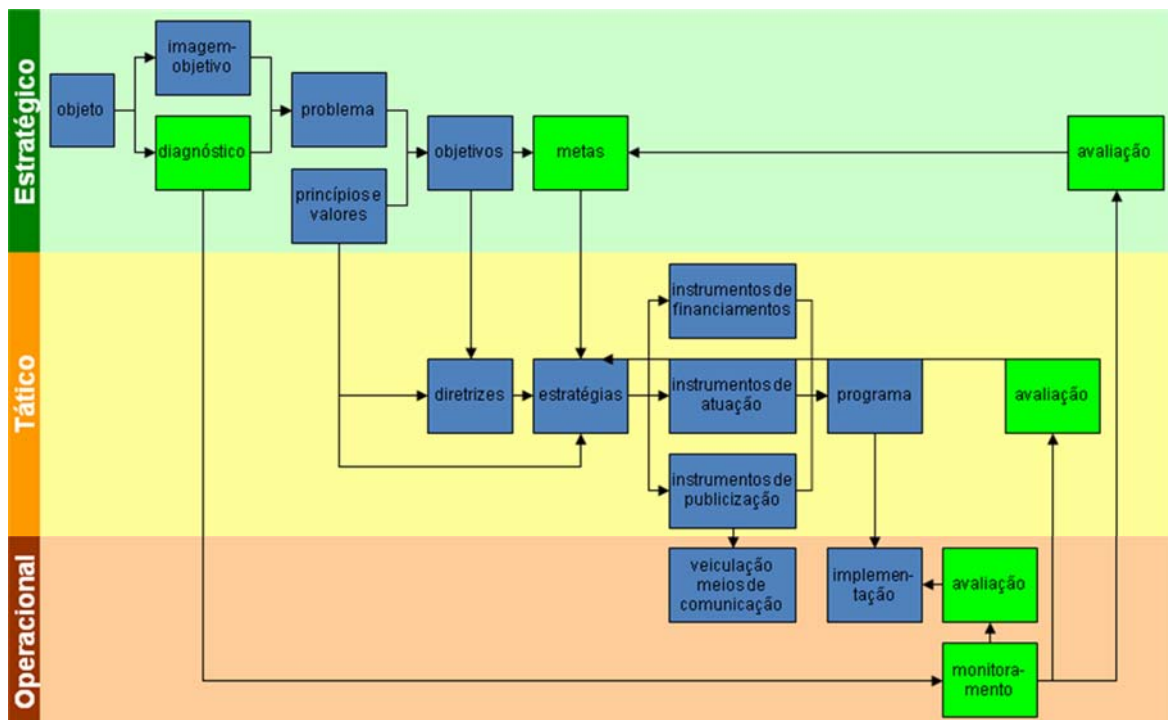


Figura 5.2 – As etapas do planejamento estratégico situacional (BRASIL, 2006)

Atividade 2- Definição dos grupos-alvos e respectivas necessidades de informação

Entendem-se como grupos-alvos as categorias de atores demandantes de informações do sistema de indicadores, compreendidos não por instituições específicas ou componentes da sociedade, mas por seus papéis desempenhados no contexto da rede de transporte público.

A especificação de grupos-alvos faz-se necessária para que a construção do sistema de indicadores possa ser orientada ao uso, satisfazendo as necessidades práticas de informação de cada ator principal. Foram sistematizados no estudo quatro papéis: o usuário da rede de transporte público, o prestador de serviço de transporte, o provedor de infra-estrutura e o planejador. Seguem suas definições:

- **Usuário da rede de transporte:** Papel desempenhado por quem tem a intenção de se deslocar sobre a rede de transporte público.
- **Prestador do serviço de transporte:** Papel desempenhado por quem executa o serviço de transporte e utiliza a rede de transporte público para a sua execução.
- **Provedor de infraestrutura:** Papel representado por quem fornece a infra-estrutura de transportes para prover a rede de transporte público.

- **Planejador:** Papel exercido por aquele que desenvolve as estratégias e atua sobre o transporte definindo a rede de transporte público

Atividade 3 - Desenvolvimento de um modelo para organização da informação

Para responder às diferentes necessidades de informação e respaldar diversos tipos de análise, existem diferentes tipos de indicadores. Estes diferentes tipos podem ser classificados em função do nível de análise a que se prestam, como também pela sua função ou dimensão de representação. Classificados por sua dimensão de representação os indicadores podem ser descritivos, de desempenho ou eficácia, de eficiência e global (EEA, 1999) conforme apresentados a seguir:

- **Descritivo:** descrevem, caracterizam um determinado tópico. Refletem como está a situação, sem referência de como deveria ser.
- **Desempenho ou Eficácia:** comparam as condições atuais com uma série de valores de referência, a exemplo de metas ou resultados esperados.
- **Eficiência:** possibilitam a avaliação da eficiência das ações, refletindo qual a relação, quantitativa e qualitativa, entre meios empregados e resultados obtidos.
- **Global:** são os mais abstratos e sintéticos dos indicadores. São, em geral, índices, agregações de diversos indicadores transmitindo uma visão geral sobre o tópico tratado.

Quando do desenvolvimento do sistema de indicadores, deve-se levar em conta o tipo de informação que se deseja obter. Este trabalho busca adotar indicadores de resultado finalístico para avaliar a configuração física de uma rede de transporte público urbano. Embora não apareçam entre os tipos expostos nas tabelas acima, os indicadores de resultado finalístico equivalem, quanto à função, aos indicadores descritivos e, em parte, pelos globais, uma vez que os resultados finalísticos são conformados pela situação que a rede demonstra em relação à imagem-objetivo. Já em relação ao nível de análise, os indicadores de resultado finalístico se inserem no nível estratégico, pois informam condições mais generalizadas a respeito da rede, norteando a tomada de decisões que irão afetá-la como um todo.

Atividade 4 - Definição de critérios de seleção dos indicadores

Esta etapa teve como objetivo o levantamento das principais diretrizes ou critérios para a seleção dos indicadores. Esse levantamento é de grande importância para a análise dos indicadores existentes e para o desenvolvimento de novos indicadores condizentes com as necessidades de informação dos grupos-alvos. As principais fontes pesquisadas foram: ROYUELA (2001); SEGNESTAM (2002); TCU (2000); FCM (2002); e OECD (2002).

Levando-se em consideração as características e objetivos do estudo a ser desenvolvido, há que se definir o conjunto de critérios que sejam adequados ao tema em questão, à escala de análise e às necessidades do público-alvo. Os critérios dizem respeito basicamente à facilidade de aplicação dos indicadores em quaisquer situações onde determinado problema surja. Em linhas gerais, os indicadores devem ser de fácil compreensão ao mesmo tempo em que condensam informações consistentes sobre o objeto avaliado. Por conseguinte, os seguintes critérios para a seleção de indicadores foram definidos:

- **Representatividade:** Os indicadores devem representar adequadamente os respectivos elementos informacionais;
- **Clareza:** Os indicadores devem ser de fácil compreensão, tanto em relação à sua métrica quanto à descrição e unidade, evitando-se a possibilidade de ambigüidades.
- **Comparabilidade:** Devem permitir a comparação significativa entre resultados de mesma agregação (estados, modos, trechos viários, períodos etc.);
- **Viabilidade:** Devem ser viáveis de serem coletados, em termos de tempo e recursos.

Atividade 5 - Definição do conjunto de indicadores

A metodologia aqui apresentada evidencia alguns aspectos da estrutura proposta por MAGALHÃES (2004) e contribui com o detalhamento de algumas etapas fundamentais, e também com procedimentos operacionais para a definição dos indicadores conforme CEFTRU (2007a). As etapas apresentadas são:

Definição dos elementos que se deseja representar: Cada elemento de representação definido é um elemento a ser focado no planejamento da rede, e que necessita ser representado por um indicador (ou mais). Portanto, a definição dos elementos de

representação é uma etapa chave para a proposição de um sistema de indicadores. Para isso o entendimento do objeto é importante e é representado pela Figura 5.3.

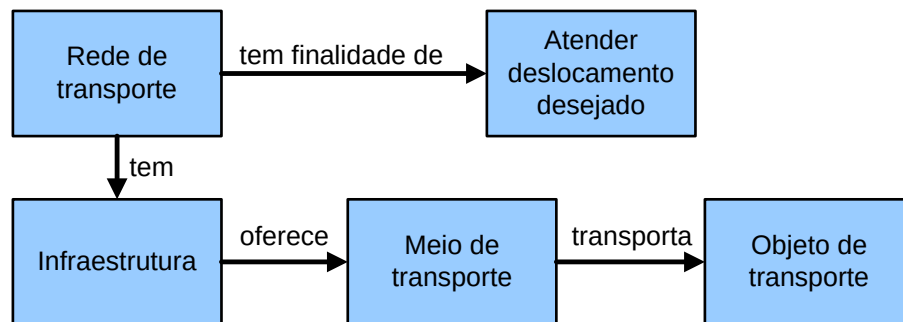


Figura 5.3 – Entendimento do objeto rede de transportes

Identificação de Objetivo/Preocupação: Os elementos de representação foram propostos de acordo com as finalidades da rede de transporte público. Essa etapa de identificação dos elementos que se deseja representar teve como produto a estruturação do entendimento de rede de transporte público e é apresentado na Figura 5.4.

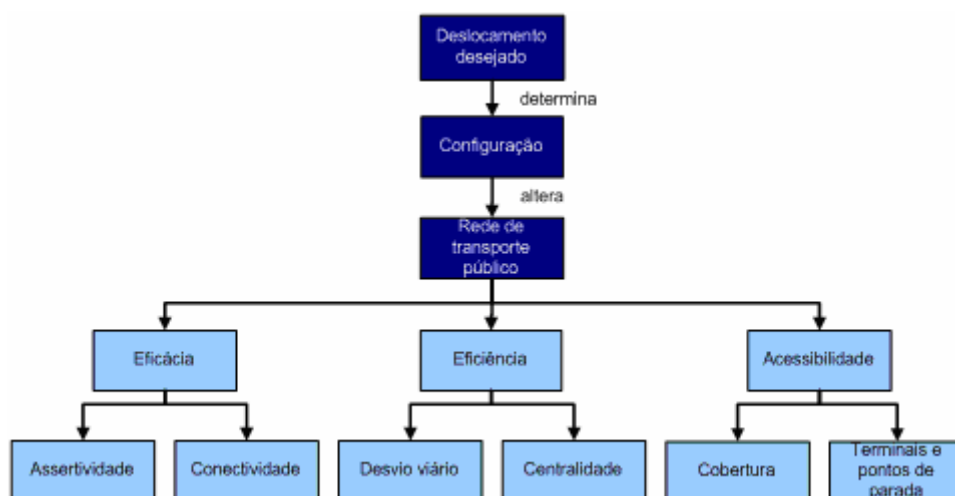


Figura 5.4 – Elementos de representação dos objetivos de uma rede de transporte público

Descrição dos elementos de representação: Para definição dos conceitos dos elementos de representação são aqui apresentadas com base em pesquisa bibliográfica.

1- Rede de transporte público:

É a infraestrutura viária que oferece um serviço de transporte público, transportando o usuário.

2- Eficácia da rede de transporte público:

É a propriedade da rede quando esta atende aos requisitos de assertividade e conectividade.

3- Acessibilidade da rede de transporte público:

Característica da rede quando esta possibilita o acesso ao máximo de locais possíveis.

4- Eficiência da rede de transporte público:

É a propriedade da rede quando é eficaz com o mínimo de insumos e externalidades negativas.

5- Assertividade da rede de transporte público:

É a propriedade da rede que indica que ela existe e que cobre o máximo possível em uma região.

6- Conectividade da rede de transporte público:

Propriedade da rede que indica que os seus nós estão mais ou menos conectados.

7- Cobertura espacial da rede de transporte público:

Característica que indica o quanto do território se encontra dentro da área de influência da RTPU de acordo com o modo de transporte adotado.

8- Terminais e Pontos de parada da rede de transporte público:

São os pontos que permitem o acesso do sujeito à rede. Representados esquematicamente pelos nós.

9- Desvios viários na rede de transporte público:

Diferença entre a distância viária e a distância em linha reta dos arcos da rede.

10- Centralidade na rede de transporte público:

É a classificação hierárquica dos nós em função da quantidade de arcos que convergem para eles.

Identificação das necessidades de informação dos grupos-alvos: as necessidades de informação foram identificadas de acordo com as preocupações dos atores interessados, sendo que estas deveriam servir de base na tomada de decisão de cada ator. A definição destas necessidades determina o escopo de elementos a serem representados no sistema de indicadores e os perfis de necessidades de informação a fim de orientar a seleção, o aperfeiçoamento e o desenvolvimento de indicadores. A determinação dos grupos-alvos e suas necessidades de informação são apresentadas a seguir:

- **Usuário:** é do interesse do usuário todos os indicadores exceto conectividade e centralidade.
- **Provedor de infraestrutura:** é do interesse do provedor somente o indicador cobertura espacial.
- **Prestador do serviço:** é do interesse do prestador todos os indicadores exceto centralidade.
- **Planejador:** é do interesse do planejador todos os indicadores.

Análise dos indicadores existentes: Essa etapa é essencial para identificação dos indicadores que podem ser utilizados. A sua análise pode ser verificada na Tabela 5.1, onde os indicadores existentes são submetidos a critérios definidos anteriormente. Apenas os indicadores que atendem a todos os critérios serão aproveitados.

Tabela 5.1 – Análise para seleção de indicadores

Tipo	Índice	Representatividade	Clareza	Comparabilidade	Viabilidade
Conectividade	Índice de conexão máxima		x		x
	Índice de Prihar				
	Índice de Zagazon				
	Índice gama	x	x	x	x
	Índice alfa	x			
	Índice beta	x	x	x	x
	Índice eta	x	x		
	Índice iota	x	x		
	Índice pi	x	x		x
	Índice de acessibilidade topológica absoluta	x	x	x	x
Acessibilidade					

	Extensão média da via		x		x
	Índice de acessibilidade topológica relativa		x		x
Centralidade	Centralidade topológica média				
	Centralidade espacial média				
	Centralidade temporal média				
Eficiência	Despesa operacional por lugares x km	x		x	
	Custo total da viagem	x		x	
	Intensidade do serviço	x		x	
	Quantidade de lugares totais oferecidos x km por pessoal de operação x hora	x		x	
	Índice de cobertura da rede	x	x	x	x

Sendo assim, depura-se que os únicos indicadores encontrados que podem ser utilizados para a avaliação da configuração das redes de transporte público urbano são os índices gama e alfa de Kansky para a conectividade, o índice de acessibilidade topológica absoluta para a acessibilidade e o índice de cobertura da rede para a eficiência.

Atividade 6 – Definição de ferramentas de análise

Os recursos analíticos que cada grupo-alvo precisa ter disponível para utilizar de forma irrestrita o conjunto de indicadores são:

- Mapas e fotografias aéreas da área de estudo;
- Dados sobre a configuração da rede de transporte público urbano;
- Expressão numérica dos indicadores.

5.3. SELEÇÃO DOS INDICADORES

A etapa mais importante da metodologia de elaboração do sistema de indicadores é, provavelmente, a da seleção dos indicadores. Aqui, com base nos passos anteriores, serão definidos quais índices têm condições de serem utilizados como indicadores. As

características de eficácia, eficiência e acessibilidade serão consideradas na seleção dos indicadores. A seleção dos indicadores tomará por base os índices descritos nos tópicos a seguir. Em linhas gerais, buscaram-se indicadores e métricas que permitissem avaliar a configuração da rede quanto a seus arcos e nós, em detrimento daqueles que avaliam o serviço de transporte público em relação a seus elementos lógicos, tais como horários e demanda.

Além disso, procurou-se ainda responder alguns questionamentos que os atores envolvidos no processo gostariam que os indicadores lhe respondessem. Assim, as perguntas por atores considerados foram:

Com relação à conectividade da rede de transporte público, os grupos interessados e suas respectivas preocupações são:

- **Prestador:** o quão conectados devem estar os nós para que o usuário usufrua de uma boa rede?
- **Planejador:** a rede está conectada da maneira que se espera de uma boa rede?

Com relação à assertividade da rede de transporte público, os grupos interessados e suas respectivas preocupações são:

- **Usuário:** a rede está disponível onde eu preciso que ela esteja?
- **Prestador:** a minha rede está disponível para o máximo de usuários?
- **Planejador:** quantos arcos são necessários para uma boa assertividade de rede?

Com relação aos desvios viários da rede de transporte público, os grupos interessados e suas respectivas preocupações são:

- **Usuário:** a rede me obriga a fazer muitos desvios?
- **Provedor de infraestrutura:** é possível fazer uma rede de transporte público com menos desvios?
- **Prestador:** a minha rede possui um nível de desvios viários aceitável?
- **Planejador:** qual o nível de desvios aceitável para uma rede de transporte público?

Com relação à centralidade da rede de transporte público, os grupos interessados e suas respectivas preocupações são:

- **Planejador:** qual o nível de centralidade aceitável para uma rede de transporte público?

Com relação aos terminais e pontos de parada da rede de transporte público, os grupos interessados e suas respectivas preocupações são:

- **Usuário:** existem terminais e pontos de parada suficientes para eu acessar a rede?
- **Prestador:** existem terminais e pontos de parada suficientes para os usuários acessarem a rede?
- **Planejador:** quantos terminais e pontos de parada são necessários para atender a demanda?

Com relação à cobertura espacial da rede de transporte público, os grupos interessados e suas respectivas preocupações são:

- **Usuário:** a rede está a uma distância que me permita alcançá-la caminhando?
- **Prestador:** qual a porcentagem do território está a uma distância da rede que seja aceitável de se percorrer caminhando?
- **Planejador:** qual o nível de cobertura aceitável para uma boa rede de transporte público urbano?

5.3.1. Indicadores de eficácia

A eficácia nos transportes, conforme explicitado no item 2.2, diz respeito à disponibilidade do meio para com o sujeito. Em outras palavras, um transporte eficaz é aquele que existe (assertividade) e é ofertado durante um período de tempo minimamente contínuo (tempestividade). Por analogia, a rede que proporciona o deslocamento eficaz é aquela que possui as mínimas ligações necessárias para permitir a circulação sobre seus arcos. Os indicadores de eficácia, portanto, apontam que a rede está fisicamente disponível para ser utilizada pelos usuários do transporte público. No contexto desta Dissertação, os indicadores de eficácia selecionados foram a conectividade e a assertividade da rede, por

serem aqueles que se adéquam às características da avaliação, que considera apenas a configuração física da RTPU.

Das medidas de conectividade listadas no item 3.5.1.1 foram aproveitadas como representantes dos indicadores de eficácia apenas os índices gama e beta de Kansky – agora renomeados como índice de conectividade (ICon) e índice de assertividade (IA), respectivamente – uma vez que eles se prestam diretamente à determinação da existência da rede enquanto coisa concreta. Os outros índices de conectividade foram descartados por não atenderem a todos os critérios de seleção dos indicadores.

a. Elemento de representação: conectividade da rede.

Indicador: índice de conectividade (ICon): permite que se determine quantas arestas faltam para que todos os nós da rede estejam conectados entre si com ligações diretas (RODRIGUE *et al.*, 2009). Relaciona o número de arestas existentes com o máximo de arestas possíveis para a rede. O índice de conectividade varia de 0 à unidade.

b. Elemento de representação: assertividade da rede.

Indicador: índice de assertividade (IA): indica a proporção entre o número de arestas e o de vértices. Quanto maior o número, mais conectada a rede será (RODRIGUE *et al.*, 2009). Cada rede possui um IA máximo e mínimo de acordo com a sua quantidade de vértices, assim o índice de assertividade varia entre $IA_{\min} = (v - 1)/v$ e $IA_{\max} = 3(v - 1)/v$.

5.3.2. Indicadores de eficiência

Os elementos selecionados para representar a eficiência da rede foram o desvio viário e a centralidade. Eles trazem em si a ideia da concentração de uma porção maior da rede em um menor espaço, uma vez que a eficiência está relacionada com o mínimo de externalidades negativas e a grande dispersão espacial da rede implica em maiores tempos de viagem, o que contribui para uma imagem negativa do serviço. Os indicadores definidos para avaliar tais elementos foram o índice de desvio e o índice de centralidade.

Os índices da medida de análise de rede chamada de eficiência do item 3.5.1.4 não foram incluídos entre os indicadores de eficiência. A exclusão se deu pelo fato de tais índices

possuírem entre suas variáveis elementos extrínsecos à configuração física das redes de transporte público urbano como, por exemplo, despesas operacionais e custos de viagens.

- a. Elemento de representação: desvios viários da rede.

Indicador: índice de desvio (ID): indica a eficiência espacial da rede. É o quociente entre a distância em linha reta (DD) e a distância viária (DV). Indica a eficiência espacial da rede. Quanto mais próximo de 1, mais eficiente ela é (RODRIGUE *et al.*, 2009). Para se conhecer o índice de desvio da rede como um todo, calcula-se a média simples dos índices de cada nó.

- b. Elemento de representação: centralidade da rede.

Indicador: índice de centralidade dos nós da rede (ICN): análogo ao índice de acessibilidade topológica absoluta (ATA), mostra a soma das distâncias viárias entre todos os nós da rede. Menores valores do índice de centralidade indicam uma rede mais compacta e, portanto, mais eficiente. Grandes valores de ICN indicam uma rede dispersa e pouco eficiente (PONS e BEY, 1991).

5.3.3. Indicadores de acessibilidade

Os indicadores de acessibilidade possuem como papel principal apontar se determinada RTPU permite que os indivíduos tenham acesso ao máximo de lugares possíveis. O prejuízo à acessibilidade resultará em restrições ao deslocamento dos usuários do transporte público, impedindo ou dificultando o acesso aos locais de destino. Assim, na seleção dos indicadores de acessibilidade, deve-se levar em conta se o índice em questão, além de satisfazer os requisitos inerentes a qualquer indicador, permite que se determine se a RTPU oferece variadas opções de acesso aos nós da rede. Por conseguinte, os índices de acessibilidade do item 3.5.1.2 foram rejeitados por se prestarem mais diretamente aos nós do que à rede propriamente dita. Abaixo são listados os indicadores de acessibilidade juntamente com seus respectivos índices numéricos.

- a. Elemento de representação: cobertura espacial da rede.

Indicador: índice de cobertura da rede (ICR): quociente entre a área servida pelo sistema de transporte público (ACS), considerando a unidade medida sendo o tempo ou a distância percorrida a pé aceitável de caminhar até o ponto de parada – usualmente 500 metros – e a área da região atendida (ARA), somatório das áreas

dos municípios ou distritos onde o sistema ou parte do sistema de transporte está inserido (CEFTRU, 2007b). O ICR varia de 0 a 100%.

- b. Elemento de representação: terminais e pontos de parada da rede.

Indicador: número relativo de terminais e pontos de parada (NRTP): determinado pela divisão da quantidade de nós da rede por 500m. Este número deve ser comparado com o NRTP ideal que a rede deveria apresentar em função de seu comprimento total em quilômetros ($NRTP_i = L/0,5/500$).

Na Tabela 5.2 a seguir são listados de forma esquemática os indicadores e seus índices selecionados para compor o sistema de indicadores para avaliar a configuração das redes de transporte público urbano.

Tabela 5.2 – Sistema de indicadores de configuração de redes e seus respectivos índices

Característica da rede	Elemento de representação	Indicador	Fórmula	Objetivo
Eficácia	Conectividade	Índice de conectividade (ICon)	$ICon = a/3(v - 2)$	Determinar o percentual de arestas que a rede possui em relação ao máximo que ela pode ter
	Assertividade	Índice de assertividade (IA)	$IA = a/v$	Determinar o nível de conectividade de um grafo a proporção entre a quantidade de arestas e de vértices
Eficiência	Desvio viário	Índice de desvio (ID)	$ID = DD/DV$	Determinar a eficiência espacial da rede através da proporção entre as distâncias diretas e viárias dos seus arcos.
	Centralidade	Índice de centralidade dos nós da rede (ICN)	$ICN = \sum_j^n c_{ij}$	Determinar a hierarquia dos nós através das distâncias viárias entre os mesmos.
Acessibilidade	Cobertura	Índice de cobertura da rede (ICR)	$ICR = ACS/ARA$	Determinar o percentual de área que a área de influência da rede cobre no território
	Número de terminais e pontos de parada	Número relativo de terminais e pontos de parada (NRTP)	$NRTP = v/500$	Determinar a quantidade de terminais de ônibus em funcionamento na região de estudo

5.4. TÓPICOS CONCLUSIVOS

Este capítulo procurou expor a metodologia para elaboração de um sistema de indicadores para a avaliação da configuração de redes de transporte público urbano, que teve como base os trabalhos de MAGALHÃES (2004) e FERREIRA (2006). O reagrupamento das etapas originais em novos itens trouxe uma maior concisão nos procedimentos de elaboração do sistema.

Com a adaptação da metodologia existente, foram definidos seis passos para a elaboração do sistema de indicadores. Estes são: planejamento estratégico e análise do processo de decisão; definição dos grupos-alvos e respectivas necessidades de informação; desenvolvimento de um modelo para organização da informação; definição dos critérios de seleção dos indicadores; definição do conjunto de indicadores; e definição das ferramentas de análise. Cada passo mereceu uma descrição ao longo do capítulo, onde foram identificados elementos importantes como as necessidades de informações dos atores envolvidos e os critérios a serem considerados na seleção dos indicadores.

Por fim, foram determinados os indicadores de eficácia, eficiência e acessibilidade e os índices que os representam. De posse do sistema de indicadores planejado, segue-se a sua aplicação em um estudo de caso no Capítulo 6.

6. ESTUDO DE CASO: AVALIAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DE UMA REDE DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO POR MEIO DE INDICADORES

6.1. APRESENTAÇÃO

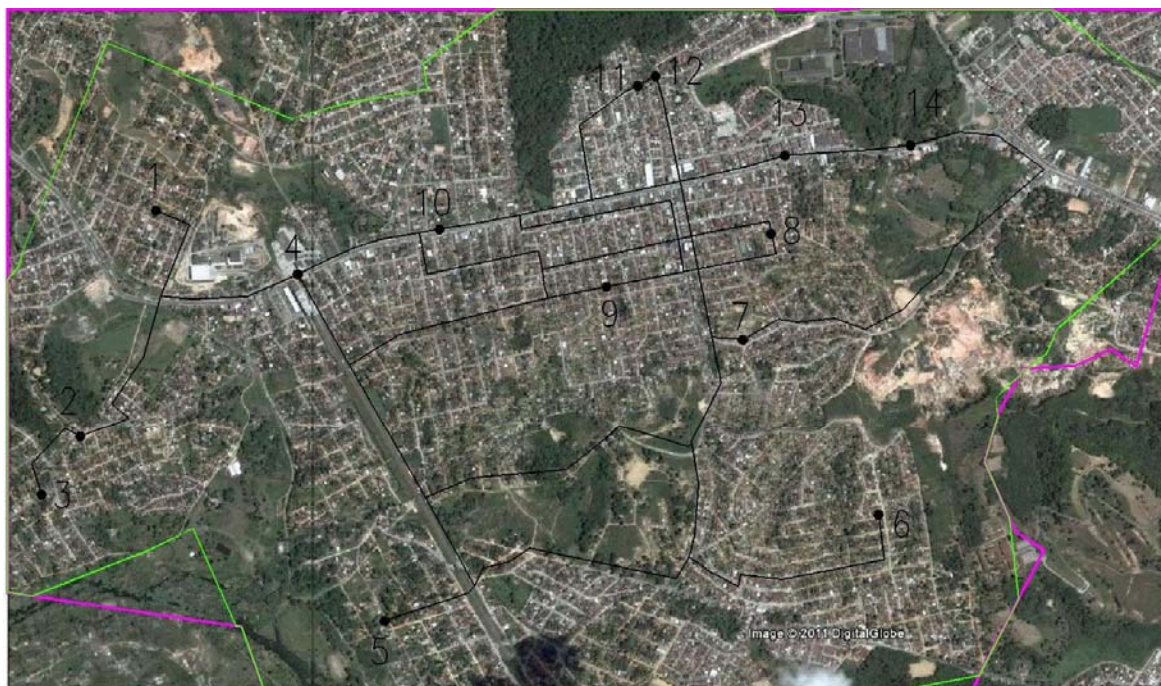
Definidos os indicadores, o passo seguinte do trabalho diz respeito sua validação da metodologia por meio de um estudo de caso. Aqui os indicadores serão testados para que se descubra até que ponto chega sua eficácia e possibilita que eventuais equívocos sejam corrigidos.

O primeiro item do estudo de caso aborda a definição da área de estudo, apresentado as características da mesma, com enfoque especial para a conformação da rede de transporte público urbano. Posteriormente, a RTPU em questão será finalmente avaliada quanto à sua configuração através dos indicadores de eficácia, eficiência e acessibilidade. O terceiro tópico resume os resultados da aplicação dos indicadores. No final, são expostos os tópicos conclusivos.

6.2. DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para o exemplo apresentado nesta Dissertação, devido a limitações de tempo e recursos, optou-se por isolar um trecho de uma área urbana e lançar sobre ela uma rede de transporte público hipotética. No entanto, optou-se por manter o máximo possível as características encontradas nas cidades brasileiras de médio porte.

A área de estudo caracteriza-se por ser um trecho de um município que abriga aproximadamente 220 mil habitantes, dotado de serviço de transporte público urbano por ônibus. O trecho selecionado possui área de 1850 hectares e cerca de 100 mil habitantes. Na Figura 6.1 está retratado um mapa do trecho que mostra sua forma urbana predominantemente em malha, com uma rodovia estadual que corta toda a mancha no sentido leste-oeste. Às margens da via principal situa-se a maior parte do comércio local, enquanto que os outros equipamentos distribuem fora do eixo principal. A parte norte é visivelmente a mais densamente ocupada, embora possua também grandes vazios urbanos ocupados por mata atlântica.



- Área da zona urbana
- Área coberta pelos serviços de transporte público

Figura 6.1 – Representação real da rede em estudo, com os limites da área urbana e da ACS

O sistema de transporte público urbano caracteriza-se pela presença de um grande corredor ao longo de toda a via principal. Existe um terminal urbano integrado (TUI) onde os usuários do sistema podem tomar mais de uma condução pagando apenas uma passagem. Este terminal também possui integração física com a estação rodoviária de ônibus interurbanos.

6.2.1. Definição da rede de transporte público urbano

A cidade em questão tem seu sistema de transporte público urbano composto por 41 linhas, subdivididas da seguinte maneira de acordo com a sua função:

- 2 linhas troncais, que partem do terminal integrado até os dois distritos industriais das extremidades, trafegando pela avenida principal;
- 20 linhas alimentadoras, que levam das áreas residenciais ao TUI;
- 17 linhas convencionais perimetrais, que ligam diversos pontos da cidade sem parar no terminal integrado;

- 2 linhas especiais circulares, que funcionam apenas de segunda a sexta. Uma liga a área onde se concentram as residências estudantis à universidade e a outra sai do TUI e circula apenas pelo centro.

Serão considerados como nós da rede os pontos de parada existentes no trecho estudado. Assim, tem-se uma rede de transporte público urbano formada por 14 nós e 24 arcos. Na Figura 6.2, é exibida a representação esquemática da rede como um grafo não-orientado.

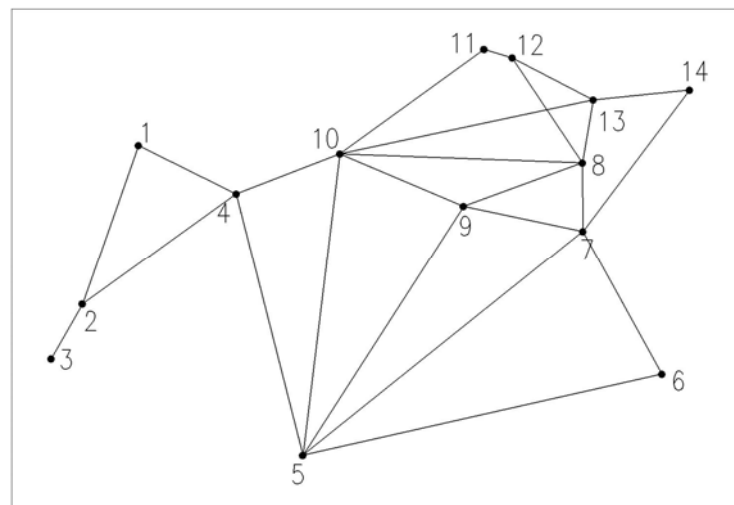


Figura 6.2 – Esquematização da rede em estudo

Com a quantidade de nós e arcos já conhecida é possível gerar o número ciclômático: $\mu = a - v + 1 = 24 - 14 + 1 = 11$. Portanto, a rede em estudo possui 11 ciclos com apenas 14 nós, o que reflete a sua forma de malha. Outro atributo a ser considerado nesta avaliação preliminar é a ordem dos nós. Observando-se a Figura 6.2, constata-se que os nós com maiores ordens são o nó 10 com $o = 6$, e os nós 5, 7 e 8 com $o = 5$ cada. É uma medida efetiva da importância nodal. Quanto maior o valor de o , maior importância terá o nó dentro da rede, uma vez que muitos arcos convergem para ele. Em uma rede de transporte público urbano, os hubs podem ser associados aos terminais de integração, para onde convergem várias linhas alimentadoras da região circundante que trazem a demanda dos subúrbios e de onde partem as linhas troncais que interligam as principais regiões da cidade. Assim, estes atributos credenciam os quatro pontos como potenciais locais para implantação de infraestruturas para integração da rede. A Tabela 6.1 apresenta as informações básicas da rede para a obtenção dos indicadores.

Tabela 6.1 – Dados da rede de transporte público urbano em estudo

Dado	Símbolo	Valor
Número de nós	v	14
Número de arcos	a	24
Número de ciclos	μ	11
Extensão total da rede	L	18,63km
Diâmetro da rede (viário)	d	4,90km
Área da zona urbana	S	9,81km ²
Área coberta pelos serviços de transporte público	ACS	8,60km ²

6.3. CÁLCULO DOS INDICADORES

A seguir, os indicadores são calculados de acordo com as características da RTPU em estudo. Para uma melhor didática na apresentação, optou-se por dividir cada elemento do bom deslocamento em um subtópico exclusivo onde são realizados todos os cálculos e comentários a respeito dos resultados.

6.3.1. Indicadores de eficácia

Os elementos selecionados para representar a eficácia da rede de transporte, que representa o seu desempenho operacional, foram a assertividade e a conectividade da rede. Indicadores esses que demonstram a sua disponibilidade e o nível de integração do espaço. Calculando-se os índices que expressam estes elementos têm-se os seguintes resultados:

O indicador de conectividade representado através do índice de conectividade (ICon) trouxe um resultado de $ICon = 24/3(14 - 2) = 0,67$. Isto significa que a RTPU em questão possui 67% da quantidade máxima de arcos que poderia ter conectados, em função da quantidade de nós e arcos existentes. Assim verifica-se que a rede poderia ser melhor conectada, implicando em uma melhor integração espacial dos diversos pares de origem/destino, não significando necessariamente que representaria uma rede mais otimizada, pois poderia enfrentar muitas sobreposições de linhas.

O indicador de assertividade apresenta resultado de $IA = 24/14 = 1,71$. Para uma rede com 14 nós, o IA mínimo seria de $IA_{\min} = 13/14 = 0,93$ e o IA máximo seria de $IA_{\max} = 2,57$. Sendo o IA efetivo igual 1,71, presume-se que a assertividade da rede em estudo está longe dos valores que atestam uma rede otimamente conectada. O resultado acima também está

em conformidade com os valores apresentados do ICon, que mostra que essa não é uma rede muito bem conectada, visto que, à medida que o número de arcos aumenta, a assertividade da rede se eleva, consoante se verifica na fórmula do índice de assertividade.

6.3.2. Indicadores de eficiência

O índice de desvio (ID) apura o elemento aqui denominado de desvios viários da rede. Após a determinação do ID de cada arco, chegou-se ao ID médio da rede, com um valor de 73%. Este número aponta que os arcos da rede em questão apresentam uma média de desvios viários de moderada a alta. Quanto mais próximo dos 100%, mais retilínea a rede tende a ser e, portanto, mais eficiente.

O índice de centralidade dos nós (ICN) tem valor de 397,30, sendo o nó 10 o mais central de toda a rede com um $ICN_{10} = 21,45$, não coincidentemente aquele com maior ordem. Isoladamente, o índice de centralidade dos nós não fornece muitas informações sobre a rede. Este indicador mostra sua utilidade quando se compara a evolução da rede ao longo do tempo, como será feito no tópico da análise de sensibilidade.

6.3.3. Indicadores de acessibilidade

O indicador que apresenta o número relativo de terminais e pontos de parada (NRTP), $NRTP = v/500$ apresenta como valores $14/500 = 0,028$. Tomando-se como base a extensão total da rede, 18,63km, e a distância considerada ideal entre pontos de parada de 500m ou 0,5km, deveria haver uma quantidade de nós de $18,63/0,5 = 37,26$ ou 38 nós. O cálculo do NRTP ideal dá como resultado $NRTP_i = 38/500 = 0,076$. Sendo assim, constata-se que o NRTP atual da rede encontra-se muito distante do valor máximo possível. Isto significa que existem diversos pontos do território que não são adequadamente atendidos por um ponto de parada ou terminal, prejudicando a mobilidade de parte da população, o que pode ocorrer em função de existência de vazios. Entretanto a existência de muitas paradas também leva a um tempo maior de viagem.

O último índice que atesta a eficiência da rede é o índice de cobertura da rede. O ICR é o resultado da divisão entre a área coberta pelos serviços (ACS), que corresponde a uma faixa de 500 metros de cada lado de cada arco da rede, e a área da região atendida (ARA), que corresponde aos limites da zona urbana. A distância de 500 metros para a delimitação da ACS foi determinada em função da distância máxima que uma pessoa aceita caminhar

até um ponto de ônibus. Assim, obteve-se uma ACS de 8,60km², uma ARA de 9,81km² e um ICR de 0,88, ou seja, 88% da zona urbana do município está a no máximo 500 metros da rede, isto é, de uma via por onde circulam ônibus urbanos. Aqui cabe salientar que o objeto de estudo é um trecho da rede do município e a ACS foi definida apenas sobre este trecho, razão pela qual o canto superior esquerdo da Figura 6.1 apresenta-se descoberto de linhas. A Tabela 6.2 abaixo agrupa os resultados dos seis indicadores levantados juntamente com os atributos da rede em estudo.

6.4. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS INDICADORES

A análise de sensibilidade dos indicadores tem o objetivo de testar os índices selecionados quanto à forma como estes se comportam quando submetidos a alterações em seus valores. Desta maneira, foram imaginados três cenários para serem comparados com a situação original. Nos subitens a seguir são descritos e analisados os três cenários. A Figura 6.3 ilustra o cenário zero na forma real e na representação esquemática da rede.

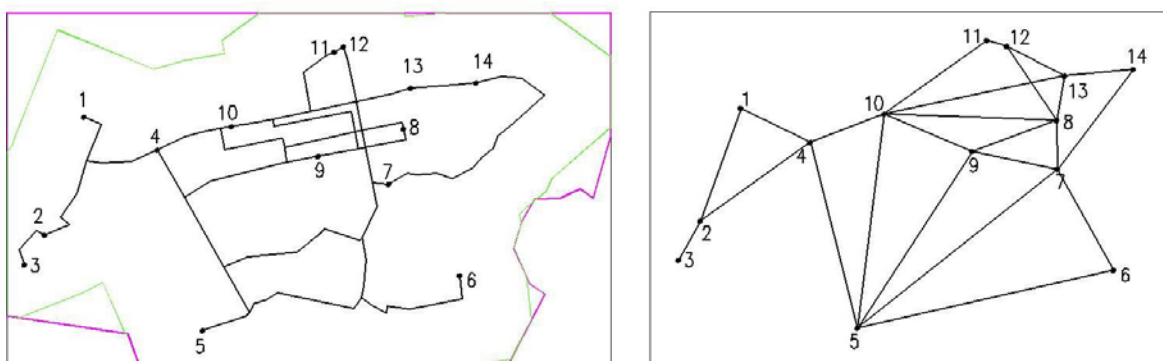


Figura 6.3 – Cenário zero

Tabela 6.2 – Cenário zero: situação atual

Atributos da rede			Eficácia		Eficiência		Acessibilidade	
v	14		ICon	0,6667	ID	0,73	NRTP	0,028
a	24		IA	1,7143	ICN	397,30	ICR	0,88
μ	11							
L	18,63	km						
d	4,90	km						
S	9,81	km ²						
ACS	8,60	km ²						

6.4.1. Cenário 1 – mais um arco

No primeiro cenário é criada uma ligação entre dois nós que não se conectam diretamente. No caso, optou-se por ligar os nós 1 e 10, originando um arco com 1,45km de extensão. Por isto, a rede passa a contar com 14 nós e 25 arcos e seu comprimento total aumenta para 20,08km. Com os novos atributos, quatro dos seis indicadores sofreram melhoras em seus valores e apenas um piorou levemente. Estas variações são indicadas nas tabelas através de cores: quando o indicador melhora em relação ao cenário zero, a célula é verde, quando piora, é vermelha.

Com o acréscimo de uma aresta na rede, aumentam a conectividade e assertividade da rede, conferindo-lhe maior eficácia, pois a nova ligação proporciona uma maior opção de deslocamentos entre os pontos de origem e destino. No quesito acessibilidade, o indicador de cobertura da rede apresentou aumento de 88% para 93% devido ao fato de o novo arco ter ampliado a ACS na porção noroeste do território, incorporando a população desta região à área de influência da rede. Entretanto, esta melhoria é neutralizada pela não elevação do número de relativo de terminais e pontos de parada, que permaneceu o mesmo, posto que não houve alteração no número de vértices. De fato, a acessibilidade não aumenta com a simples implantação de uma linha de ônibus em determinada via, e sim pela maior presença de pontos de acesso à linha.

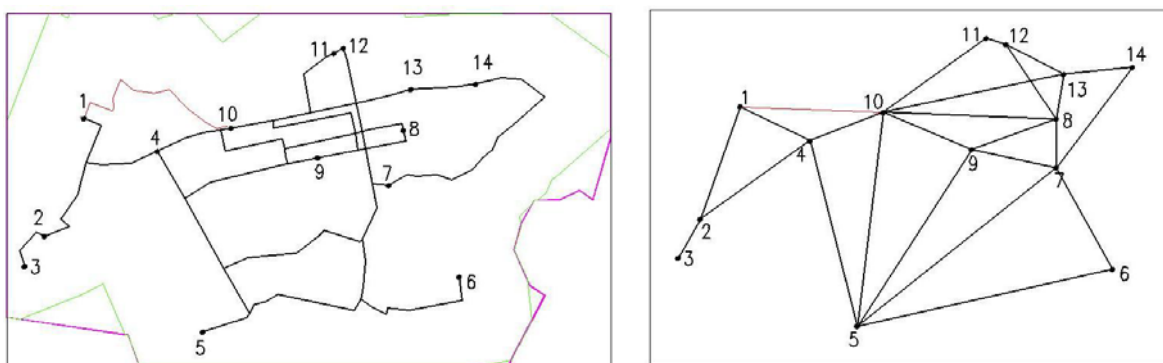


Figura 6.4 – Cenário 1

Tabela 6.3 – Cenário 1: acrescenta-se um arco

Atributos da rede			Eficácia		Eficiência		Acessibilidade	
v	14		Icon	0,6944	ID	0,72	NRTP	0,028
a	25		IA	1,7857	ICN	389,80	ICR	0,93
μ	12							
L	20,08	km						
d	4,90	km						
S	9,81	km ²						
ACS	9,09	km ²						

6.4.2. Cenário 2 – mais um arco e um nó

No cenário 2, a rede tem um de seus arcos dividido em dois por um novo nó. Então, passa a contar com 15 vértices e 25 arestas. Consultando-se a primeira coluna da Tabela 6.3, verifica-se que nenhum dos atributos do grafo se modificou. Porém, ao se analisar os indicadores de eficácia, eficiência e acessibilidade, constata-se que seus resultados são praticamente opostos aos do cenário 1, ou seja, os três índices que melhoraram na primeira alteração agora regrediram. Por outro lado, o número relativo de terminais e pontos de parada, principal indicador de acessibilidade, percebeu uma leve evolução, como era de se esperar.

Com este panorama, pode-se afirmar que a criação de um novo nó na rede juntamente com um arco é satisfatória em termos de acessibilidade pelos motivos mencionados no final do tópico anterior. Na prática, os indivíduos que têm como origem ou destino de seus deslocamentos qualquer ponto ao longo do arco 7-14 têm agora no nó 15 um novo ponto de parada e a possibilidade de alcançar estes lugares com mais rapidez, conforto e segurança. Ao mesmo tempo, a rede se torna menos eficaz e eficiente ao obrigar os veículos do transporte público a fazerem mais uma parada em seus itinerários.

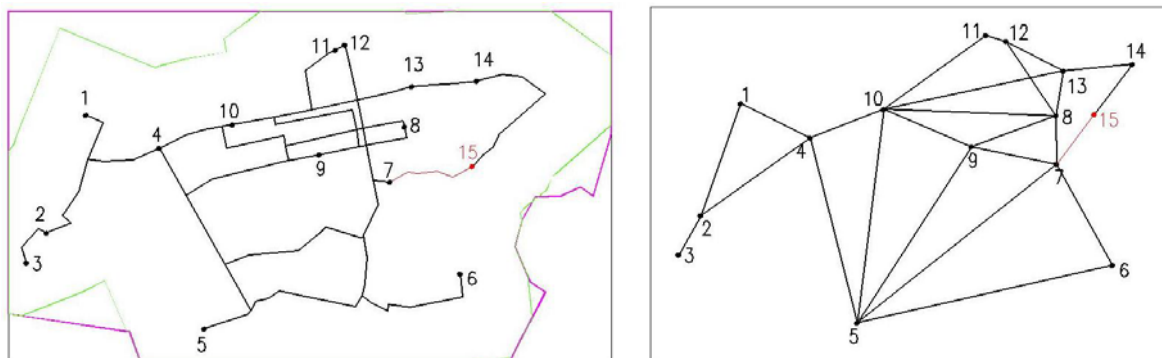


Figura 6.5 – Cenário 2

Tabela 6.4 – Cenário 2: acrescenta-se um nó e um arco

Atributos da rede			Eficácia		Eficiência		Acessibilidade	
V	15		ICon	0,6410	ID	0,73	NRTP	0,03
A	25		IA	1,6667	ICN	430,18	ICR	0,88
μ	11							
L	18,63	km						
D	4,90	km						
S	9,81	km ²						
ACS	8,60	km ²						

6.4.3. Cenário 3 – mais um nó e dois arcos

A terceira hipótese de alteração da rede sugere a criação de um novo nó em um ponto do território que até então se situava fora do grafo original (expansão da rede), conforme a Figura 6.6. Situação comum pela dinâmica de crescimento das cidades brasileiras. Ademais, para se integrar o novo ponto de parada à rede, também são criados dois arcos ligando o novo vértice 15 aos atuais 6 e 7. Assim, a rede passa a possuir 15 nós e 26 arcos e seu comprimento total aumenta para 19,59km (Tabela 6.5). No que concerne aos indicadores de eficácia, eficiência e acessibilidade, três avançaram e um retrocedeu em relação ao cenário zero. O índice de assertividade sofreu um aumento menor do que o do cenário 1, o NRTP ficou idêntico ao do cenário 2 e o índice de cobertura da rede subiu de 73% para 74%. Já o índice de centralidade dos nós apresentou o pior resultado dentre os três quadros, pois o novo nó 15 é distante de praticamente todos os outros vértices.

Observa-se, portanto, que o cenário 3 traz um resultado intermediário em relação aos outros dois. O aumento da centralidade sugere a adoção de novas medidas para integrar o sistema de transporte público da cidade e torná-lo mais eficiente. Já os indicadores que melhoraram – assertividade, desvio viário e número de terminais e pontos de parada – apontam que a rede ganha sempre com a incorporação de uma quantidade de arcos maior do que a de nós. Esse fato se deve à perda de tempo provocada pelo processo desaceleração-parada-embarque/desembarque-reaceleração que ocorre obrigatoriamente nos pontos de parada, aumentando consideravelmente o tempo de viagem.

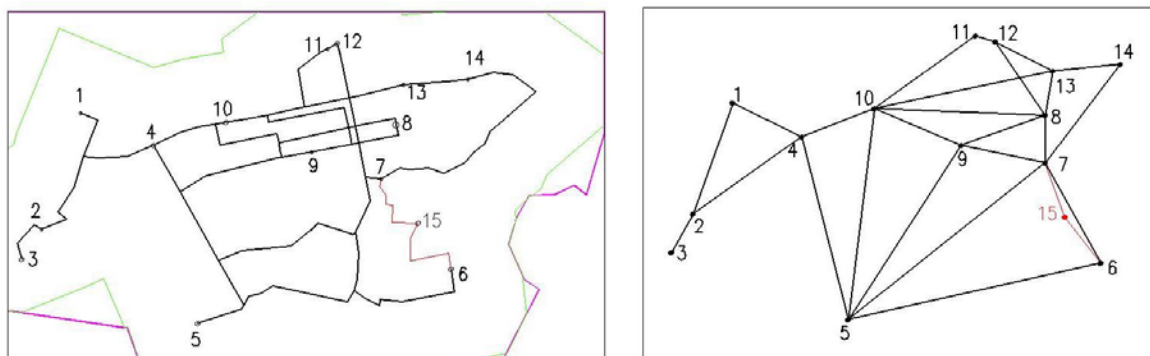


Figura 6.6 – Cenário 3

Tabela 6.5 – Cenário 3: acrescenta-se um nó e dois arcos

Atributos da rede			Eficácia		Eficiência		Acessibilidade	
v	15		ICon	0,6667	ID	0,74	NRTP	0,03
a	26		IA	1,7333	ICN	425,50	ICR	0,88
μ	12							
L	19,59	km						
d	4,90	km						
S	9,81	km ²						
ACS	8,60	km ²						

6.5. TÓPICOS CONCLUSIVOS

O estudo de caso sofreu sérias limitações de tempo e recursos. Como a simulação foi baseada em apenas um trecho da rede de uma cidade hipotética alguns indicadores podem não ter se comportado da maneira ideal, sobretudo, o índice de cobertura da rede e o número relativo de terminais e pontos de parada. De modo geral, os indicadores testados no estudo de caso são mais eficazes quando se realiza um comparativo de diferentes situações da mesma rede do que para se analisar a situação atual.

A análise de sensibilidade permitiu justamente verificar como a rede se comportaria em três situações de eventuais alterações ao longo do tempo. No cenário 1 foi inserido uma aresta, no cenário 2, um vértice e uma aresta, e no cenário 3, um vértice e duas arestas. O quadro comparativo com os resultados dos três cenários é apresentado na Tabela 6.6. Após a comparação entre os três quadros, é possível classificá-los da seguinte forma, conforme a Tabela 6.7.

Tabela 6.6 – Quadro comparativo dos três cenários

Cenário	Eficácia		Eficiência		Acessibilidade	
	Icon	IA	ID	ICN	NRTP	ICR
0 – situação atual	0,6667	1,7143	0,73	397,30	0,028	0,88
1 – mais um arco	0,6944	1,7857	0,72	389,80	0,028	0,93
2 – mais um nó e um arco	0,6410	1,6667	0,73	430,18	0,03	0,88
3 – mais um nó e dois arcos	0,6667	1,7333	0,74	425,50	0,03	0,88

Tabela 6.7 – Classificação comparativa entre os três cenários

	Eficácia	Eficiência	Acessibilidade
Cenário 1	1º	1º	3º
Cenário 2	3º	3º	1º
Cenário 3	2º	2º	2º

Finalmente, conclui-se dos resultados que, para uma rede de transporte se tornar mais eficaz e mais eficiente a melhor ação é a criação de novos arcos, ou seja, fazer os veículos do transporte público urbano trafegarem por novas vias. Já para uma rede mais acessível a solução é a criação de novos nós, novos pontos de parada onde os usuários do transporte público podem ter acesso aos veículo e à rede.

7. CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1. APRESENTAÇÃO

O último capítulo da Dissertação destina-se a apresentar as conclusões sobre o estudo desenvolvido, suas limitações e as recomendações sugeridas para a continuidade de trabalhos sobre o tema. Os três tópicos dedicados às considerações sobre o alcance dos objetivos, o método utilizado e o estudo de caso englobam tanto as conclusões quanto as limitações enfrentadas durante a confecção da Dissertação. No último item, são elencadas as recomendações.

7.2. CONSIDERAÇÃO SOBRE O ALCANCE DOS OBJETIVOS

A Dissertação se baseou na necessidade do melhor entendimento da RTPU, uma vez que ainda é pouco utilizado o contexto de rede nos serviços de transporte público por ônibus. No Brasil e em alguns outros países, a estrutura funcional do sistema de transporte público é baseado em linhas ou conjunto de linhas e os estudos tradicionais utilizam os modelos de planejamento clássico para a definição da rede. Assim o objetivo desse trabalho era de construir indicadores que pudessem “indicar” que algum dos seus atributos não está adequado. Entretanto, para isso é necessário realizar um estudo de *benchmark*, utilizando redes de transporte público consideradas eficientes para que se pudesse ser referenciada e serem esses indicadores buscados pelos municípios. Assim, esse trabalho contribui para que consiga obter os valores de referência, seja pela série histórica ou pelo *benchmark*.

7.3. CONSIDERAÇÃO SOBRE O MÉTODO UTILIZADO

O método adotado para o desenvolvimento do estudo teve embasamento tanto na revisão do conceito de definição dos indicadores e sua utilidade, quanto no entendimento do objeto transportes. A intenção foi de utilizar a essência de alguns estudos já realizados com sucesso nos últimos anos. Assim, o modelo de desenvolvimento de um sistema de indicadores de MAGALHÃES (2004), teoricamente robusto, subsidiou este estudo de indicadores para avaliação de redes de transporte. Muitas simplificações foram realizadas neste estudo, por ser uma pesquisa acadêmica onde o envolvimento de atores com poderes de decisão não foram considerados na homologação dos indicadores, mas algumas questões de interesse dos atores foram respondidas pelos indicadores propostos.

7.4. CONSIDERAÇÃO SOBRE O ESTUDO DE CASO

Verificou-se a limitação de alcance na validação dos indicadores frente aos seus objetivos, a qual se deu em função do estudo de caso realizado que foi de pequeno alcance pela pouca complexidade da rede testada. Entretanto, foi possível calcular os indicadores e contribuir para que o estudo possa ser continuado a fim de simplificar análise de redes nas reestruturações de serviço de transporte público por ônibus.

7.5. RECOMENDAÇÕES

O tema avaliação da configuração de redes de transporte público urbano ainda é relativamente pouco abordado no transporte brasileiro. Por este motivo, recomenda-se o aprofundamento dos estudos acerca do assunto:

- Análise de sensibilidade dos indicadores com maior quantidade de alterações na rede a fim de poder concluir o impacto de cada elemento da rede na sua eficiência, eficácia e acessibilidade;
- Aplicação dos indicadores em redes mais complexas;
- Aplicação em redes de transporte de outras modalidades;
- Análise temporal dos indicadores em função das evoluções das redes;
- Desenvolvimento de um *benchmark* com aplicações dos indicadores para avaliar os casos de sucesso de determinados municípios brasileiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, C. F. (2008) *Elaboração de Rede de Transporte Multimodal de Carga para a Região Amazônica sob o Enfoque de Desenvolvimento Econômico*. Tese de Doutorado em Transportes, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.
- AMSTERDAMSE TRAM (2010) *Wikipedia, de vrije encyclopedie*. Disponível em: http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Amsterdamse_tram&oldid=21652309. Acesso em 20 de junho de 2010
- APA (2006) *Planning and urban design standards*. American Planning Association, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.
- APTA (2005) *Public Transportation: On the Move...* American Public Transportation Association, Visual Reference Publications, Nova York.
- ARAGÃO, J. J. G. de (2008) *Fundamentos para uma Engenharia Territorial*. Texto para Discussão nº 2. Centro de Formação de Recursos Humanos em Transporte, Universidade de Brasília, Brasília. Disponível em: <http://www.ceftru.unb.br/pesquisa/td>. Acesso em 14 de maio de 2010.
- BARAN, P. (1964) On distributed communications: I. Introduction to distributed communications networks. In: *Memorandum RM-3420-PR*, The Rand Corporation, Santa Monica.
- BLACK, W. R. (2003) *Transportation: a geographical analysis*. Guilford, Nova York.
- BRASIL (1988) *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*: promulgada em 5 de outubro de 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm. Acesso em 8 de fevereiro de 2011.
- BRASIL (2006) *Gestão integrada da mobilidade urbana*: curso de capacitação. Ministério das Cidades, Brasília.
- BRASIL (2007) *PlanMob* – Caderno de Referência para Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana. Ministério das Cidades, Brasília.
- BRASIL (2008) *Manual de BRT – Bus Rapid Transit*: Guia de Planejamento. Ministério das Cidades, Brasília.
- CAVADINHA, E. V. C. e LIMA NETO, O. C. da C. (2005) Avaliação do desempenho de

- redes metropolitanas integradas de transporte público por ônibus sob o aspecto da eficiência. In: *Anais do XIX Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes – ANPET*, Recife. CD-ROM.
- CEFTRU (2006a) *Relatório de Apresentação do Plano de Trabalho e sua Metodologia de Condução*. Centro Interdisciplinar de Estudos em Transportes da Universidade de Brasília, Brasília.
- CEFTRU (2006b) *Projeto de Reestruturação do Transporte Coletivo de Manaus: Projeto Básico do Sistema*. Centro Interdisciplinar de Estudos em Transportes da Universidade de Brasília, Brasília.
- CEFTRU (2007a) *Relatório da Base de Fundamentos e Critérios para a Avaliação, Aperfeiçoamento e Desenvolvimento de Indicadores*. Centro Interdisciplinar de Estudos em Transportes da Universidade de Brasília, Brasília.
- CEFTRU (2007b) *Relatório de Elaboração do Sistema de Indicadores*. Centro Interdisciplinar de Estudos em Transportes da Universidade de Brasília, Brasília.
- COELHO, F. C. (2007) *Computação Científica com Python*. Lulu, Petrópolis.
- CORREIA, D. E. R. (2004) *Metodologia pra identificação da qualidade da informação: Uma aplicação para o planejamento de transportes*. Dissertação de Mestrado em Transportes, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.
- COX, K. R. (1972) *Man, Location, and Behavior: An Introduction to Human Geography*. John Wiley & Sons, Nova York.
- DUPUY, G. (1998) *El Urbanismo de las Redes: Teorias y métodos*. Colégio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Oikos-Tau, S.L. Industrias gráficas y editorial, Barcelona.
- EEA (1999) *Environmental Indicators: Typology and Overview*. European Environment Agency, Copenhagen.
- FERRAZ, A. C. P. e TORRES, I. G. E. (2004) *Transporte Público Urbano*. 2. ed. RiMa, São Carlos.
- FERREIRA, E. O. (2006) *Desenvolvimento de Sistema de Indicadores de Avaliação da Infra-Estrutura Rodoviária no Contexto do Desenvolvimento Regional*. Dissertação de Mestrado em Transportes, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.
- GALINDO, E. P. (2009) *Análise Comparativa do Entendimento do Transporte com*

- Objeto do Planejamento*. Dissertação de Mestrado em Transportes, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.
- IBGE (2010) *Perfil dos Municípios Brasileiros 2009*: Pesquisa de Informações Básicas Municipais. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- LAKSHMANAN, T. R., SUBRAMANIAN, U., ANDERSON, W. P. e LÉUTIER, F. A. (2001) *Integration of Transport and Trade Facilitation*. The World Bank, Washington.
- LE CORBUSIER, CHARLES, P. e JEANNERET-GRIS, E. (1993) *Carta de Atenas*. Hucitec, São Paulo.
- MAGALHÃES, M. T. Q. (2004) *Metodologia para Desenvolvimento de Sistemas de Indicadores: Uma Aplicação no Planejamento e Gestão da Política Nacional de Transportes*. Dissertação de Mestrado em Transportes, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.
- MANHEIM, L. (1979) *Fundamentals of Transportation Systems Analysis*. MIT Press, Cambridge, MA.
- METRÔ DE SÃO PAULO (2010) *Wikipédia, a enciclopédia livre*. Disponível em: http://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Metr%C3%B4_de_S%C3%A3o_Paulo&oldid=21642918. Acesso em 20 de junho de 2010.
- MOLINERO, A. R. M. e ARELLANO, L. I. S. (2005) *Transporte público: planeación, diseño, operación y administración*, 1ª reimpressão. UAEM, Toluca.
- NAHAS, M. I. P. (2003) *Indicadores Intra-Urbanos como Instrumento de Gestão da Qualidade de Vida Urbana em Grandes Cidades: Discussão Teórico-Metodológica*. Disponível em: http://ead01.virtual.pucminas.br/idhs/01_idhs/pdfs/nahas1.pdf. Acesso em 22 de junho de 2010.
- NOZAKI, E. de F. A., SANTOS, R. F. de S., TOZZI, L. A. e MULLER, C. (2009) Análise conceitual sobre arranjos de linhas de transporte público urbano. In: *Anais do XXIII Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes – ANPET*, Vitória. CD-ROM.
- NTU (2004) *Sistema REDES: construindo redes de transporte público de qualidade*. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos, Brasília.
- OBERLEITUNGSBUS (2010) In: *Wikipedia, Die freie Enzyklopädie*. Disponível em: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Oberleitungsbus&oldid=78475127>. Acesso em 20 de junho de 2010.
- PACIONE, M. (2009) *Urban geography: a global perspective*. 3. ed. Routledge, Nova York.

- PONS, J. M. S. e BEY, J. M. P. (1991) *Geografía de Redes y Sistemas de Transporte*. Editora Sintesis S.A., Madrid.
- PRICINOTE, M. A. (2008) *Metodologia para Identificação da Confiabilidade Topológica da Rede de Transportes Público Urbano*. Dissertação de Mestrado em Transportes, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília
- RODRIGUE, J.-P., COMTOIS, C. e SLACK, B. (2009) *The Geography of Transport Systems*. 2. ed. Routledge, Nova York.
- RODRIGUES, P. R. A. (2007) *Introdução aos Sistemas de Transporte no Brasil e à Logística Internacional*. 4. ed. rev. e amp. Aduaneiras, São Paulo.
- SAMPAIO, C. C. D. (2004) *Determinação de uma Rede Ótima de Transporte Utilizando Algoritmo Genético*. Dissertação de Mestrado em Transportes, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.
- SCHÜRMANN, C., SPIEKERMANN, K. e WEGENER, M. (1997) *Accessibility Indicators: Model and Report*. SASI Deliverable D5, Insitut für Raumplanung, Universität Dortmund, Dortmund. Disponível em: <http://www.raumplanung.uni-dortmund.de/irpud/pro/sasi/sasid5.htm>. Acesso em 5 de março de 2010.
- SEGNESTAM, L. (2002) *Indicators of Environmental and Sustainable Development: Theories and Practical Experiences*. World Bank, Washington, DC.
- SHIMBEL, A. (1973) Structural parameters of communication networks. *Bulletin of Mathematical Biology*, v. 15, n. 4, pp. 501-507. Disponível em: <http://www.springerlink.com/content/n644343k0816218r/>. Acesso em 5 de março de 2010.
- SILVA, W. P. da (2009) Métrica para desempenho de linhas urbanas de ônibus. In: *Anais do XXIII Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes – ANPET*, Vitória. CD-ROM.
- SORT, J. J. (2006) *Redes metropolitanas: Metropolitan networks*. Gustavo Gili, Barcelona.
- TAAFFE, E. J., GAUTHIER, H. L. e O’KELLY, M. E. (1996) *Geography of transportation*. 2. ed. Prentice-Hall, Upper Saddle River.
- TACO, P. W. G., QUEIROZ, M. P., TEDESCO, G. M. I., GUERRA, H. O., TEIXEIRA, G. L., SHIMOISHI, J. M. e ORRICO FILHO, R. D. (2006) Reestruturação do transporte coletivo urbano por ônibus: um modelo funcional. In: *Anais do XX Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes – ANPET*, Brasília.
- TEODOROVIĆ, D. (1986) *Transportation networks: a quantitative treatment*. Gordon and Breach Science Publishers, Nova York.

- TIAN, Y., CHEN, H. e XIAO, D. (2009) The layout method for town public transit network based on TOD. In: *International Conference on Transportation Engineering 2009*, v. 3. American Society of Civil Engineers, Reston.
- TORRES, A. C. S. (2003) *Determinação de Rotas Ótimas de Ônibus Urbanos Utilizando Algoritmo Genético*. Dissertação de Mestrado em Transportes, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.
- TRUDEAU, R. J. (1993) *Introduction to graph theory*. 2. ed. Dover Publications, Mineola, NY.
- VASCONCELLOS, E. A. (2000) *Transporte urbano nos países em desenvolvimento: reflexões e propostas*. 3. ed. Annablume, São Paulo.
- VUCHIC, V. R. (2007) *Urban transit systems and technology*. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.

APÊNDICES

APÊNDICE A – ESTRUTURA SEMÂNTICA DE UMA REDE DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO

