

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

**IMPACTO DOS ATRIBUTOS BÁSICOS VELOCIDADE  
MÉDIA E HEADWAY DE UM CORREDOR DE BRT NO  
DESEMPENHO (PASSAGEIROS POR QUILÔMETRO) DE  
UMA REDE DE TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS**

**JUAN PABLO MIKAN PIZANO**

**ORIENTADOR: JOSÉ MATSUO SHIMOISHI, PH.D.**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES**

**BRASÍLIA/DF: JUNHO DE 2012**

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

**IMPACTO DOS ATRIBUTOS BÁSICOS VELOCIDADE MÉDIA E  
HEADWAY DE UM CORREDOR DE BRT NO DESEMPENHO  
(PASSAGEIROS POR QUILÔMETRO) DE UMA REDE DE  
TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS**

**JUAN PABLO MIKAN PIZANO**

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

**APROVADO POR:**

---

**Prof. José Matsuo Shimoishi  
(Orientador)**

---

**Prof. Joaquim José Guilherme de Aragão  
(Examinador Interno)**

---

**Prof. Alan Ricardo da Silva  
(Examinador Externo)**

**BRASÍLIA/DF, 28 DE JUNHO DE 2012**

## FICHA CATALOGRÁFICA

MIKAN PIZANO, JUAN PABLO

Impacto dos atributos básicos velocidade média e *headway* de um corredor de BRT no desempenho (passageiros por quilômetro) de uma rede de transporte público por ônibus. [Distrito Federal] 2012.

xiv, 92p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Transportes, 2012).

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

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. *Bus Rapid Transit* (BRT)

2. Avaliação de desempenho

3. Alocação de viagens

4. Passageiros por quilômetro

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MIKAN, J. P. P. (2012). Impacto dos atributos básicos velocidade média e *headway* de um corredor de BRT no desempenho (passageiros por quilômetro) de uma rede de transporte público por ônibus. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação T.DM-015 A/2012, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 106p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Juan Pablo Mikan Pizano.

TÍTULO: Impacto dos atributos básicos velocidade média e *headway* de um corredor de BRT no desempenho (passageiros por quilômetro) de uma rede de transporte público por ônibus.

GRAU: Mestre

ANO: 2012

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

---

Juan Pablo Mikan Pizano  
Jmikan18@gmail.com

## DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado a minha família em Colômbia, minha mãe, Elsa Beatriz Pizano Rodriguez, minha avó, Maria Inês Rodriguez de Pizano; sendo elas os meus maiores exemplos; e minha irmã Stephanie Mikan Pizano, formaram grandes apoios durante minha aprendizagem. E minha nova família no Brasil, do lado da Karla de Oliveira Rocha e nossa hermosa Maria Clara Mikan Rocha.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a continuação, em primeiro lugar, a nosso senhor Deus, por brindar a oportunidade de acreditar e crescer cada dia mais como profissional e como pessoa.

À minha família, minha mãe Elsa Beatriz Pizano Rodriguez, avó Maria Inês Rodriguez de Pizano e minha irmã Stephanie Mikan Pizano que foram de grande apoio sem importar a distância, sempre acreditando em mim com uma profunda fé, compreendendo a ausência durante todo o processo. A minha futura família, do lado da Karla de Oliveira Rocha e nossa futura bebe Maria Clara, que será um incentivo para seguir a adiante cada dia.

Agradecimentos para meu orientador , o professor José Matsuo Shimoishi, a professora Yaeko Yamashita, professor Pastor Willy Gonzáles, professor Alan Ricardo da Silva, professor Joaquin José Guilherme de Aragão e doutor Sideney Schreiner pelo acompanhamento, contribuição e desenvolvimento profissional de meu trabalho. Para o conjunto de docentes que com seu ensino fortaleceram conhecimentos e alimentam os ideais de cada aluno. Os funcionários do programa, pela colaboração, e, demais pessoais dentro do programa de pós graduação em transportes (PPGT) que fizeram do programa uma segunda casa durante o processo.

A todas aquelas pessoas com as que estabeleci grandes laços de amizade em Brasília e no resto do Brasil, pelos colegas e companheiros que compartilharam aulas e longas jornadas estudo, entre eles Ronny, Jose, Lilian, Alexandre e por todas aquelas pessoas boas que tive sorte de conhecer durante o mestrado que não citei o nome.

A todos meus familiares e amigos da Colômbia, que acreditaram e apoiaram, para a realização de este longo caminho fora de meu querido país, motivado para representar e deixar um pouco da Colômbia nos corações de cada Brasileiro.

Um agradecimento à PTV (Planung Transport Verkehr) em Karlsruhe - Alemanha e PTVBrasil em São Paulo, pela colaboração, fornecimento de informação e ferramentas na realização do estudo.

Para finalizar, agradeço ao Governo do Brasil com a representação do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudo concebida.

## **RESUMO**

# **IMPACTO DOS ATRIBUTOS BÁSICOS VELOCIDADE MÉDIA E HEADWAY DE UM CORREDOR DE BRT NO DESEMPENHO (PASSAGEIROS POR QUILOMETRO) DE UMA REDE DE TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS**

**Autor: Juan Pablo Mikan Pizano**

**Orientador: José Matsuo Shimoishi**

**Programa de Pós-graduação em transporte**

**Brasília, junho de 2012**

O objetivo principal do presente estudo é identificar os impactos do desempenho de produtividade das linhas de ônibus urbanos e o corredor de *Bus Rapid Transit* (BRT) em relação de atributos básicos de desempenho (velocidade média e *Headway*). São apresentados conceitos e exemplos de sistemas de transporte público (BRT), com enfoque em suas características e parâmetros. É apresentada, também, uma breve revisão sobre os elementos que conformam o corredor de BRT, bem como a descrição da alocação de viagens e ferramentas computacionais do mercado. O procedimento seguido durante o desenvolvimento do estudo compreende oito etapas: 1) coleta de informação; 2) construção da rede de transporte público; 3) verificação da rede de transporte público; 4) definição das linhas de desejo; 5) calibragem da rede; 6) alocação de viagens de transporte individual; 7) alocações do transporte público; e, 8) identificação das variações e impacto no desempenho de produtividade. Este procedimento foi aplicado para a rede da cidade de Hanói - Vietnã. Como resultado, foi possível identificar as variações e impacto do indicador de desempenho de produtividade, com relação às atributos básicos de desempenho determinados no estudo. Este tipo de estudo, pode ser parte de uma base, para a análise na reestruturação de linhas de transporte público urbano nas cidades.

## **RESUMEN**

# **IMPACTO DE LOS ATRIBUTOS BÁSICOS VELOCIDAD MÉDIA Y HEADWAY DE UN CORREDOR DE BRT EM EL DESEMPEÑO (PASAJEROS POR KILÓMETRO) DE UNA RED DE TRANSPORTE PÚBLICO POR BUSES**

**Autor: Juan Pablo Mikan Pizano**

**Orientador: José Matsuo Shimoishi**

**Programa de Pós-graduação em transporte**

**Brasília, junio de 2012**

El objetivo principal del presente estudio es identificar los impactos del desempeño de productividad das líneas de buses urbanos y el corredor de *Bus Rapid Transit* (BRT) en relación de atributos básicos de desempeño (velocidad media y *Headway*). Son presentados conceptos y ejemplos de sistemas de transporte público (BRT), con enfoque en sus características y parámetros. Es presentada, también, una breve revisión sobre los elementos que conforman el corredor de BRT, bien como a descripción de la asignación de viajes y herramientas computacionales del mercado. El procedimiento seguido durante el desenvolvimiento del estudio comprende ocho etapas: 1) colecta de información; 2) construcción de la red de transporte público urbano; 3) verificación de la red de transporte público urbano; 4) definición de las líneas de deseo; 5) calibración de la red; 6) asignación de viajes de transporte individual; 7) asignación del transporte público; e, 8) identificación de las variaciones e impacto en el desempeño de productividad. Este procedimiento fue aplicado para la red de la ciudad de Hanói - Vietnam. Como resultado, fue posible identificar las variaciones e impacto del indicador de desempeño de productividad, con relación a los atributos básicos de desempeño determinados en el estudio. Este tipo de estudio, puede ser parte de una base, para el análisis en la restructuración de líneas de transporte público urbano en las ciudades.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	1
1.1	APRESENTAÇÃO	1
1.2	PROBLEMA	2
1.3	HIPÓTESE	2
1.4	OBJETIVOS	2
1.4.1	Objetivos específicos	3
1.5	JUSTIFICATIVA	3
1.6	METODOLOGIA	4
1.6.1	Primeira Etapa – Revisão bibliográfica	4
1.6.2	Segunda Etapa – Avaliação do desempenho de transporte público	4
1.6.3	Terceira Etapa – Alocação de Viagens	5
1.6.4	Quarta Etapa – Descrição de procedimento para identificar os impactos no desempenho de produtividade	5
1.6.5	Quinta Etapa – Estudo de caso	5
1.6.6	Sexta Etapa – Análise de resultados	5
1.6.7	Sétima Etapa – Conclusões e considerações	5
1.7	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	5
<b>2</b>	<b>SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO TIPO BRT</b>	7
2.1	APRESENTAÇÃO	7
2.2	EXPERIÊNCIAS DE IMPLANTAÇÃO DE BRT	7
2.3	DEFINIÇÃO DO <i>BUS RAPID TRANSIT</i> (BRT)	9
2.4	COMPONENTES DO SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO BRT	12
2.4.1	Tipos de via	13
2.4.2	Estações	14
2.4.3	Veículos	17
2.4.4	Arrecadação de tarifa	18



2.4.5	Sistemas inteligentes de transporte (ITS do termo em inglês Intelligent Transportation System) .....	18
2.4.6	Serviços e planos de operação .....	19
2.4.7	Elementos de marketing .....	19
2.5	BENEFÍCIOS DO BRT .....	19
<b>3</b>	<b>AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE TRANSPORTE PÚBLICO</b> .....	<b>20</b>
3.1	APRESENTAÇÃO .....	20
3.2	QUALIDADE DOS TRANSPORTES PÚBLICOS .....	21
3.3	DESEMPENHO NOS CORREDORES BRT .....	23
3.3.1	Atributos de desempenho do corredor BRT .....	24
3.4	INDICADORES DE DESEMPENHO DE SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO .....	27
3.5	CARACTERÍSTICAS COMPARATIVAS DE DESEMPENHO DE SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO.....	30
3.5.1	Capacidade do sistema .....	30
3.5.2	Acessibilidade de preços .....	32
3.5.3	Tempos de viagem /Velocidade.....	32
3.5.4	Divisão modal .....	33
3.5.5	Frequência do serviço.....	34
3.5.6	Confiabilidade.....	34
3.5.7	Conforto.....	34
3.5.8	Segurança de trânsito.....	34
3.5.9	Serviço ao usuário.....	34
3.5.10	Integração .....	35
3.5.11	Imagem e status .....	35
<b>4</b>	<b>ALOCAÇÃO DE VIAGENS</b> .....	<b>36</b>
4.1	APRESENTAÇÃO .....	36

4.2	MÉTODOS DE ALOCAÇÃO .....	38
4.2.1	Modelo de alocação “todo ou nada” .....	39
4.2.2	Modelos de alocação por métodos estocásticos.....	39
4.2.3	Alocação com congestionamento .....	40
4.2.4	Alocação equilíbrio estocástico do usuário.....	41
4.2.5	Modelos de alocação do transporte público .....	41
4.2.6	Modelo de alocação de transporte público baseado no Headway .....	43
4.3	FUNÇÕES DE DESEMPENHO.....	45
4.4	ALOCAÇÃO DINAMICA.....	47
4.5	FERRAMENTA COMPUTACIONAL .....	48
4.5.1	Ferramentas na modelação de transporte .....	48
<b>5</b>	<b>DESCRIÇÃO DE PROCEDIMENTO PARA IDENTIFICAR OS IMPACTOS NO DESEMPENHO DE PRODUTIVIDADE .....</b>	<b>51</b>
5.1	APRESENTAÇÃO .....	51
5.2	ESTRUTURA GERAL DO PROCEDIMENTO .....	51
5.2.1	Etapa 1- Coleta de Informação .....	51
5.2.2	Etapa 2- Construção da rede de transporte público urbano.....	51
5.2.3	Etapa 3- verificação da rede de transporte público urbano .....	51
5.2.4	Etapa 4- Definição de linhas de desejo .....	52
5.2.5	Etapa 5- Calibragem da rede de transporte .....	52
5.2.6	Etapa 6- Alocação de viagens do transporte individual .....	52
5.2.7	Etapa 7- Alocação de viagens do transporte público urbano .....	52
5.2.8	Etapa 8- Identificação das variações no desempenho de produtividade das linhas de transporte público urbano .....	52
5.3	PROCEDIMENTO REALIZADO PARA O DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO	
	53	
<b>6</b>	<b>ESTUDO DO CASO .....</b>	<b>59</b>
6.1	APRESENTAÇÃO .....	59

6.2	CARACTERÍSTICAS DA CIDADE HANÓI.....	59
6.3	REDE DE TRÁFEGO ATUAL DA CIDADE HANÓI .....	62
6.4	ÁREA DE ESTUDO .....	63
6.5	REDE DE TRANSPORTE PÚBLICO EM HANÓI .....	66
<b>7</b>	<b>ANALISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>71</b>
7.1	APRESENTAÇÃO .....	71
7.2	PASSAGEIROS POR QUILOMETRO COM RELAÇÃO VELOCIDADE MEDIA DO BRT .....	72
7.2.1	Quantificação da variação (Impacto) do passageiro por quilômetro do BRT, em relação à velocidade media do BRT .....	74
7.2.2	Quantificação da variação (impacto) do indicador passageiros por quilômetro das linhas de ônibus urbanos (BUS11 e BUS 27), em relação à velocidade media do BRT ...	77
7.3	VARIAÇÕES DO PASSAGEIRO POR QUILOMETRO COM RELAÇÃO AO <i>HEADWAY</i> .....	80
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>82</b>
8.1	CONCLUSÕES.....	82
8.2	RECOMENDAÇÕES .....	84
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>86</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Opções de veículos e capacidades de passageiros .....	17
Tabela 3.1 Atributos básicos de desempenho dos sistemas de transporte público .....	26
Tabela 3.2 Classificação das medidas de desempenho .....	28
Tabela 4.1 Opções de “software” para modelagem de transportes .....	50
Tabela 7.1 Variações passageiro por quilometro (BRT),com relação à velocidade média do BRT .....	72
Tabela 7.2 Variações passageiro por quilometro (BUS11), com relação à velocidade média do BRT .....	73
Tabela 7.3 Variações Passageiro por quilometro (BUS27), com relação à velocidade média do BRT .....	73
Tabela 7.4 Resultados Estatísticos da função linear para BRT .....	75
Tabela 7.5 Resultados Estatísticos da função linear para Linha BUS11 .....	77
Tabela 7.6 Resultados Estatísticos da função linear para Linha (BUS27).....	79
Tabela 7.7 Variações Pass.km das linhas com respeito alterações do <i>Headway</i> .....	80

## LISTA DE FIGURAS

Figura.2-1: Sistema trinário .....	8
Figura 2-2: Espectro de qualidade dos transportes públicos sobre pneus .....	11
Figura 2-3: Faixas exclusiva de ônibus em São Paulo .....	12
Figura 2-4: Faixas exclusiva de ônibus em Rio de Janeiro .....	12
Figura 2-5: Faixa segregada para corredor BRT. ....	13
Figura 2-6: Faixa mista para corredor BRT .....	14
Figura 2-7: Faixa guiada - sistema de guia mecânico. ....	14
Figura 2-8: Configuração terminal BRT –microsimulação .....	15
Figura 2-9: Configuração estação simples BRT –microsimulação .....	16
Figura 2-10: Configuração estação escalonada BRT –microsimulação.....	16
Figura 2-11: Terminal rodoviário (Brasília)–microsimulação.....	17
Figura 3-1: Cadeia de qualidade .....	22
Figura 3-2: Atributos de desempenho Fonte: Vuchic (1981) .....	27
Figura 3-3: Visão tradicional da capacidade dos transportes públicos .....	31
Figura 3-4: Nova visão da capacidade dos transportes públicos .....	31
Figura 3-5: Capacidade de passageiros e investimentos para opções de transporte de massa ..	32
Figura 3-6: Comparação sistema BRT com sistemas ferroviários leves nos EUA .....	33
Figura 4-1: Visão moderna do modelo de transporte clássico .....	37
Figura 4-2: Principais técnicas de alocação de tráfego .....	39
Figura 4-3: Alocação de demanda variável no tempo .....	48
Figura 5-1 Estrutura geral do procedimento .....	53
Figura 5-2: 50 principais linhas de desejo entre zonas de tráfego .....	58
Figura 6-1: Limite da área urbana de Hanói .....	60
Figura 6-2: Estudo de áreas da cidade de Hanói.....	61
Figura 6-3: Composição veicular em uma interseção em Hanói .....	62
Figura 6-4: Zonas de tráfego que compõem a área de estudo em Hanói (313 zonas).....	64
Figura 6-5: Rede de Transporte de Hanói .....	65
Figura 6-6: Paradas de ônibus tradicionais e estações de BRT da rede geral de transporte público urbano em Hanói .....	66
Figura 6-7: Estações do corredor BRT .....	67
Figura 6-8: Linha do BRT e linhas de ônibus urbanos (BUS1-BUS10).....	67
Figura 6-9: Linha do BRT e linhas de ônibus urbanos (BUS11-BUS20).....	68
Figura 6-10: Linha do BRT e linhas de ônibus urbanos (BUS21-BUS30).....	68

Figura 6-11: Linha do BRT e linhas de ônibus urbanos (BUS31-BUS40).....	69
Figura 6-12: Linha do BRT e linhas de ônibus urbanos (BUS41-BUS50).....	69
Figura 6-13: Linha do BRT e linhas de ônibus urbanos (BUS51-BUS60).....	70
Figura 7-1 Fluxo geral na rede segundo os modos Bus, BRT e Pé .....	71
Figura 7-2 Dispersão das variações Pass.km (BRT), em relação à velocidade média do BRT	75
Figura 7-3 Dispersão das variações Pass.km (BUS11) em relação à Velocidade média do BRT .....	77
Figura 7-4 Dispersão das variações Pass.km (BUS27) em relação à Velocidade média do BRT .....	79
Figura 7-5 Variações Pass.km das linhas Bus11, Bus27 e BRT, segundo <i>Headway</i> .....	81
Figura 8-1 Linha de ônibus urbano 27 (BUS27) com corredor de BRT.....	83
Figura 8-2 Linha de ônibus urbano 11 (BUS11) com corredor BRT .....	84

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO

Nos últimos anos, diferentes estudos constataram que dois problemas das grandes cidades são o aumento dos congestionamentos e atrasos na rede urbana. Esses problemas ocorrem em função dos altos índices de crescimento populacional, que, somados ao precário serviço do transporte público urbano resultam em elevadas taxas de motorização (Banco Mundial, 2003). Estes dois problemas ocorrem, também, nas grandes cidades brasileiras, impossibilitando cada vez mais o deslocamento de pessoas e de bens. Esses problemas são comuns e tendem a piorar, considerando que pela primeira vez na história mais da metade da população mundial estará vivendo em áreas urbanas (UNFPA, 2008).

Segundo Wright (2006) uma forma de minimizar esse dois problemas, é com a implantação de Sistemas de Transportes de Massa (MRT - *Mass Rapid Transit*). Sistemas de Transporte de Massa são sistemas de transporte público de grande porte (capacidade), onde qualquer pessoa tem acesso a ele mediante pagamento de uma tarifa pré-estabelecida. Os sistemas de transportes públicos de massa permitem o deslocamento de um maior número de usuários com um número reduzido de veículos, possibilitando, portanto, redução do número de veículos circulando nas redes urbanas. As grandes cidades necessitam de mais transporte de massa, seja na forma de trens suburbanos, linhas de metrô ou corredores de *Bus Rapid Transit* (BRT). A otimização do desempenho do sistema justificaria o uso de receitas oriundas dos veículos particulares para custear melhorias no transporte público (Banco Mundial, 2003).

Uma das questões a serem verificadas para o bom desempenho do sistema de transporte público urbano é a análise de seu desempenho de produtividade, feito por meio da relação entre a sua oferta e demanda, bem como os impactos efetivos dos sistemas integrados. Segundo a NTU (1999), ainda são poucos os estudos sobre os impactos efetivos dos sistemas integrados. Além disso, estabelecer o equilíbrio entre a oferta e demanda do transporte público urbano é uma tarefa complexa, por diversos motivos, dentre eles a grande quantidade de dados necessários para a alocação de viagens. Salienta-se que os modelos de otimização, que façam alocação de viagens, são complexos e precisam de ferramentas computacionais, ou simuladores.

Uma das formas de avaliar o desempenho de produtividade do transporte público urbano é por meio de modelos de simulação e processos de otimização, possíveis por meio de simuladores. Estes modelos permitem avaliar diferentes configurações operacionais ou de infraestrutura, prevendo as possíveis consequências de um projeto de transportes antes de sua implementação. Cabe ressaltar que *"o uso de simuladores para prever o desempenho de um Bus Rapid Transit (BRT) mostra-se uma prática recomendável, pois auxilia na compreensão do sistema e permite, a um baixo custo, prever problemas de operação. Resultados obtidos no ambiente virtual potencializam a chance de sucesso de uma implantação real"* (Pereira, 2011).

Conforme o exposto, verifica-se que a avaliação do desempenho de produtividade em redes de transporte público é um tema ainda pouco abordado na literatura. Outro tema também pouco abordado é essa avaliação para corredores de BRT. Nesse sentido, apresenta-se o problema do presente estudo.

## **1.2 PROBLEMA**

Com o crescimento econômico do país nos últimos anos, estão previstos muitos investimentos de melhoria no transporte público urbano. Muitas cidades estão decidindo por implementação de corredor de BRT, assim para auxiliar nas tomadas de decisões dessa implementação, é importante que se conheça os diferentes desempenhos que um corredor de BRT pode ter e o seu impacto na rede de transporte público por ônibus. Então, a pergunta que este estudo visa responder é: Qual o impacto dos atributos básicos velocidade média e *headway* de um corredor de BRT no desempenho (passageiros.km) de uma rede de transporte público por ônibus?

## **1.3 HIPÓTESE**

O impacto dos atributos básicos velocidade média e *headway* no desempenho do corredor(es) de BRT é melhor do que na rede de transporte público por ônibus.

## **1.4 OBJETIVOS**

O objetivo geral é identificar os impactos dos atributos básicos velocidade média e *headway* de um corredor de BRT no desempenho (passageiros.km) de uma rede de transporte público por ônibus.



#### 1.4.1 *Objetivos específicos*

- Identificação das variações do indicador passageiros por quilômetro, no corredor BRT, com respeito a alterações na velocidade média desse sistema;
- Identificação das variações do indicador passageiros por quilômetro, nas linhas de ônibus urbano, com respeito a alterações na velocidade média do BRT;
- Quantificação da variação (impacto) da relação do indicador passageiros por quilômetro, do corredor BRT, com respeito à velocidade média desse sistema;
- Quantificação da variação (impacto) da relação do indicador passageiros por quilômetro, das linhas de ônibus urbanos, com respeito à velocidade média do BRT;
- Identificação das variações do indicador passageiros por quilômetro, no corredor BRT e linhas de ônibus urbanos segundo alterações do *Headway*.

### **1.5 JUSTIFICATIVA**

As grandes cidades, em função de seus altos índices de expansão e ocupação urbana, bem como a inclinação exacerbada pelo uso do transporte individual, padecem de problemas relacionados ao transporte público urbano, tais como congestionamento viário e poluição. Como consequência disto, essas cidades precisam de maiores investimentos em estudos de implantação de sistemas de transporte público de qualidade, assim como de estudos de avaliação de desempenho para sistemas de transporte públicos já existentes. Hoje existem diversas alternativas de transporte público em massa, como por exemplo, o Veículo Leve Sobre trilhos (VLT), Metrô, BRT. Estes sistemas de transporte público de massa geram um benefício à população em termos de custo e tempo, mas é essencial que haja equilíbrio entre a oferta e a demanda de transporte público urbano.

A procura do equilíbrio entre a oferta e demanda de transporte público urbano é importante para melhorar índices de mobilidade e acessibilidade, onde o desempenho dos sistemas de transporte público é um dos elementos essenciais para o seu correto equilíbrio. Atualmente, existem poucos estudos que tratam corredores BRT, isto leva a necessidade de realizar novas pesquisas sobre esse tema (NTU, 1999; Pereira, 2011). Apesar do aumento acelerado no número de corredores BRT, o impacto dos elementos de projeto no desempenho desse tipo de sistema ainda não é perfeitamente compreendido (Pereira, 2011). A frase anterior corrobora a necessidade de realizar estudos de avaliações de desempenho para sistemas de transporte

público urbano, principalmente frente à existência de diferentes ferramentas computacionais no mercado, que possibilitam o desenvolvimento de estudos com um maior grau de precisão.

Nesse contexto, o presente trabalho parte da necessidade de novos estudos acerca de corredores BRT e redes de transporte público de ônibus urbanos. Para tanto, é feita a relação entre o desempenho de produtividade e a velocidade média do BRT e o *Headway*, a partir de processos de alocação, mediante a utilização de uma ferramenta computacional. Este estudo permite obter uma visão global da situação da rede de transporte público urbano.

No tocante ao contexto nacional, observa-se que o Brasil está se enfrentando a novos desafios e grandes eventos de porte internacional, como a Copa de 2014 e os Jogos Olímpicos de 2016. No Brasil, nove das doze cidades sede da Copa do Mundo de Futebol de 2014 estão planejando a implantação de corredores BRT para a melhoria da mobilidade urbana (FBDS, 2011). Como consequência disto, a mobilidade e acessibilidade são peças fundamentais no desenvolvimento dos eventos nas grandes cidades Brasileiras.

## **1.6 METODOLOGIA**

O presente estudo possui o caráter científico, foi realizado a partir do método hipotético dedutivo. A sua construção buscou atingir os objetivos propostos, à partir de sete etapas.

### *1.6.1 Primeira Etapa – Revisão bibliográfica*

O primeiro passo é a revisão bibliográfica sobre os temas que compõem o estudo, apresentados no capítulo 2. Neste capítulo, serão abordados conceitos fundamentais referentes a sistemas de transporte público tipo BRT.

### *1.6.2 Segunda Etapa – Avaliação do desempenho de transporte público*

A segunda etapa, chamada avaliação do desempenho de transporte público, será apresentada no capítulo 3. Este capítulo discorre acerca de características comparativas de desempenho e avaliação da qualidade do transporte público, bem como o desempenho nos corredores BRT. Além disso, serão abordados os indicadores que formam o conjunto na operação de um sistema de transporte público urbano.

### 1.6.3 *Terceira Etapa – Alocação de Viagens*

A terceira etapa, apresentada no capítulo 4, é a definição dos modelos de alocação de viagens. Para tanto, é feita a identificação e diferenciação de conceitos relacionados com a modelagem de transportes. Dentro desse capítulo, são apresentados os principais programas computacionais.

### 1.6.4 *Quarta Etapa – Descrição de procedimento para identificar os impactos no desempenho de produtividade*

A quarta etapa, apresentada no capítulo 5, descreve a metodologia para identificar os impactos do desempenho de produtividade do corredor BRT e rede de transporte público de ônibus urbanos.

### 1.6.5 *Quinta Etapa – Estudo de caso*

A quinta etapa referente ao estudo de caso, é apresentada no capítulo 6. Este capítulo será empregado, para tentar comprovar o objetivo principal do estudo na cidade de Hanói – Vietnã. Caracteriza a área de estudo, considerando os aspectos mais representativos.

### 1.6.6 *Sexta Etapa – Análise de resultados*

A sexta etapa, apresentada no capítulo 7, expõe a análise e a interpretação dos resultados gerados mediante processos de alocação.

### 1.6.7 *Sétima Etapa – Conclusões e considerações*

A sétima e última etapa, apresentada no capítulo 8, traz a conclusão e a interpretação dos resultados, bem como algumas considerações para futuras pesquisas.

## **1.7 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

O estudo está conformado por oito capítulos e as referências bibliográficas. Além deste primeiro capítulo, onde foram apresentados a definição do problema, a hipótese, a justificativa, o objetivo e a metodologia. Em seguida, o segundo capítulo apresenta o sistema de transporte público tipo BRT, a suas experiências de implantação, bem como suas principais definições e características. O terceiro capítulo descreve a avaliação do desempenho de transporte público

urbano. O quarto capítulo descreve a alocação de viagens, com a descrição de ferramentas computacionais para complementar o processo de modelagem em transportes. O quinto capítulo descreve o procedimento para identificar os impactos do desempenho de produtividade no transporte público urbano, em função dos atributos básicos velocidade média do BRT e *Headway*. O capítulo 6 discorre acerca do estudo do caso. O sétimo capítulo apresenta a análise dos resultados gerados pelos processos de alocação. Finalmente, o oitavo capítulo expõe as conclusões do estudo e recomendações para futuros trabalhos.

## **2 SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO TIPO BRT**

### **2.1 APRESENTAÇÃO**

O presente capítulo relata os principais conceitos e exemplos de sistemas de transporte público tipo BRT. O aumento da implantação de BRTs nas grandes cidades busca, também, satisfazer demandas elevadas de transporte público, o que leva cada vez mais ao desenvolvimento de estudos relacionados a esse tema.

No Brasil, a proximidade de grandes eventos esportivos, como a Copa do Mundo de 2014 e as Olimpíadas de 2016, levam a pensar na escolha de uma tecnologia de transporte público eficiente, eficaz, de baixo custo e rápida implantação. Segundo Wright (2006), argumenta: Depois de comparar as opções de sistemas de transporte público de massas, conclui que tem poucas razões para que cidades em desenvolvimento favoreçam sistemas baseados em trens, onde as capacidades de passageiro serão de menos de 25.000 por hora por sentido. A menos que circunstâncias específicas se considerem como- A imagem do sistema é muito importante e a cidade tem o suficiente orçamento para conter os custos de inversão e operação- o tipo de transporte público baseado em trens para as cidades em desenvolvimento se compara de forma desfavorável com os sistemas BRT, na maioria dos termos e especialmente em parâmetros-chaves entre eles: o custo e flexibilidade (Wright, 2006).

Neste capítulo, são apresentadas algumas experiências de cidades que implantaram sistemas de BRT. Essas cidades consolidaram o BRT como uma alternativa para qualificar o transporte urbano sobre pneus. Essas experiências influenciaram outras cidades a encontrar soluções para o transporte de massa, com baixos custos e altos padrões de qualidade. Segundo o Banco Mundial (2003) os corredores BRT dos países em desenvolvimento tiveram, exceto em eixos de pesado volume de tráfego, um desempenho quase equivalente ao de sistemas por trilhos, mas a um custo muito menor.

### **2.2 EXPERIÊNCIAS DE IMPLANTAÇÃO DE BRT**

A primeira experiência do BRT ocorreu na década de 60 na cidade brasileira Curitiba/PR. Essa cidade desenvolveu o sistema de transporte público urbano integrado ao planejamento urbano.

Naquela época, a população curitibana variava entre 400.000 e 500.000 habitantes, aproximadamente, o que já comprometia os deslocamentos das pessoas. Em 1964, o então prefeito de Curitiba Ivo Arzua, indicou a necessidade de novas propostas para o planejamento urbano da cidade. Nesse contexto, o arquiteto Jaime Lerner propôs uma redução do tráfego no centro da cidade, a partir da implantação de um sistema de transporte público, prático e acessível, aprovado pelo Plano Geral de Curitiba em 1968, com um sistema trinário de transportes. Esse sistema é composto por duas vias, com direções opostas ao redor de duas faixas centrais de uso exclusivo de ônibus (Figura.2-1).

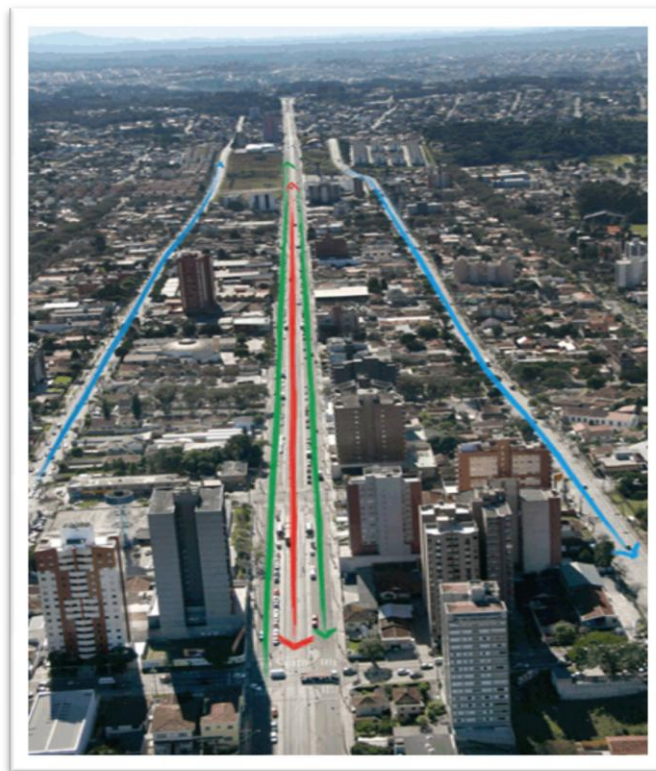


Figura.2-1: Sistema trinário  
Fonte: URBS (2012)

O planejamento do BRT em Curitiba, dos primeiros 20 quilômetros, ocorreu em 1972; a sua construção em 1973; e o início da prestação do serviço em 1974. A cidade de Curitiba no princípio queria a construção de um sistema de metrô, mas a falta de recursos levou a soluções mais criativas. Curitiba, sendo exemplo de BRT, influenciou outras cidades do Brasil a seguirem esse modelo. Observa-se, portanto, sistemas básicos de BRT nas seguintes cidades: São Paulo (1975), Goiânia (1976), Porto Alegre (1977) e Belo Horizonte (1981) (Wright, 2008).

Segundo Wright (2006), São Paulo opera, provavelmente, o maior sistema de transporte público BRT do mundo, em termos de quilômetros cobertos e exemplo de integração entre sistemas de ônibus e metrô, com similaridade à cidade de Hong Kong e Singapura.

Wright (2006), descreve a Porto Alegre, no Brasil, como a cidade que demonstrou a implementação do BRT com um custo relativamente baixo, onde o quilômetro do sistema foi construído por menos de 1 milhão de dólares e ressalta a implementação de uma técnica única de comboio de veículos na organização da sua estrutura de rotas.

O BRT durante os anos 90, não foi visto como opção de transporte em massa capaz de oferecer um serviço íntegro como os sistemas de metrô, não acreditavam em superar altas capacidades com velocidades razoáveis, mas com o início da construção do BRT na cidade de Bogotá – Colômbia, em 1998 com finalização no ano 2000 transformaram a percepção do BRT em todo o mundo. O avance que gerou o BRT em Bogotá a nível mundial com a empresa de transporte do terceiro milênio TRASMILENIO S.A., demonstrou a eficiência dos sistemas de transporte de massa tipo BRT para as grandes cidades do mundo. TRANSMILENIO S.A. junto com a prefeitura de Bogotá acrescentou a experiência e características dos sistemas BRT localizado em Curitiba em outras cidades do mundo, com o incremento na capacidade com a implementação de faixas de ultrapassagem nas estações e programas para estimular o uso do transporte público. Desde então, a experiência das cidades de Curitiba e Bogotá com seus sistemas BRT influenciou grandes cidades na procura de soluções para o transporte público de massa com baixos custos e altos padrões de qualidade. Wright (2008)

### **2.3 DEFINIÇÃO DO *BUS RAPID TRANSIT* (BRT)**

Segundo Wright (2008), a definição de BRT, "*é um sistema de transporte por ônibus que proporciona mobilidade urbana rápida, confortável e com custo eficiente através da previsão de infraestrutura segregada com prioridade de passagem, operação rápida e frequente e excelência em marketing e serviço ao usuário*".

No mundo, os BRT são conhecidos de diferentes termos, entre eles, sistema de ônibus de alta qualidade, metrô-ônibus, metrô de superfície, sistema de ônibus de alta capacidade entre outros, mas todos eles compartilham definição e formam parte do mesmo conjunto de soluções eficientes, para oferecer serviços de transporte de alta qualidade a custos eficientes em áreas urbanas. Segundo Wright (2008), o BRT permite a oferta de corredores de transporte público,

até mesmo em cidades com pouca renda desenvolvessem um sistema de transporte de massas que servisse às necessidades diárias de viagens do transporte público. Segundo (Shen *et al.*, 1998), só a metade das cidades que tem vias de ônibus as desenvolvem como parte de um pacote sistemático e global, sendo parte de uma rede de transporte de massa para a cidade, sendo ele que identificam os como BRT.

Segundo Wright (2008), o BRT é o sistema de transporte público de massas que basicamente imita as características de desempenho e conforto dos modernos sistemas de transporte sobre trilhos com um custo mais eficiente, para cidades que querem desenvolver rapidamente um sistema de transporte público, conseguindo se expandir por uma rede completa. O Manual de BRT (2008) ressalta a importância de se projetar um sistema de transporte público que atenda às características operacionais esperadas pelos clientes. O BRT também é definido como sendo "um modo de transporte público sobre pneus, veloz e flexível, que combina estações, veículos, serviços, vias e elementos de sistemas inteligentes de transporte (ITS) em um sistema integrado com uma forte identidade positiva que evoca uma única imagem" (Levinson *et al.*, 2003).

FTA (2009) define o BRT como "um transporte rápido de massa que apresenta a qualidade do transporte ferroviário e a flexibilidade do sistema de ônibus. Segundo Wright (2003), "BRT é um transporte público de alta qualidade, orientado ao usuário que realiza mobilidade urbana rápida, confortável e de custo eficiente". Por sua vez, Levinson *et al.* (2003), destacou os sete principais componentes: Vias, Estações, Veículos, Serviço, Estrutura de linhas, arrecadação de tarifa e Sistemas de tráfego inteligentes (centro de controle de operação). Todas essas definições fazem com que o BRT se distinga do serviço de ônibus convencional. De fato, as definições tendem a sugerir que o BRT tem muito mais em comum com sistemas ferroviários, especialmente em termos de desempenho operacional e serviço ao usuário. (ITDP, 2008)

A grande dificuldade que tem a definição do BRT é derivada dos múltiplos sistemas em operação adotados nas grandes cidades. Para facilitar o entendimento é apresentado o espectro de qualidade dos transportes públicos sobre pneus (Figura 2-2).



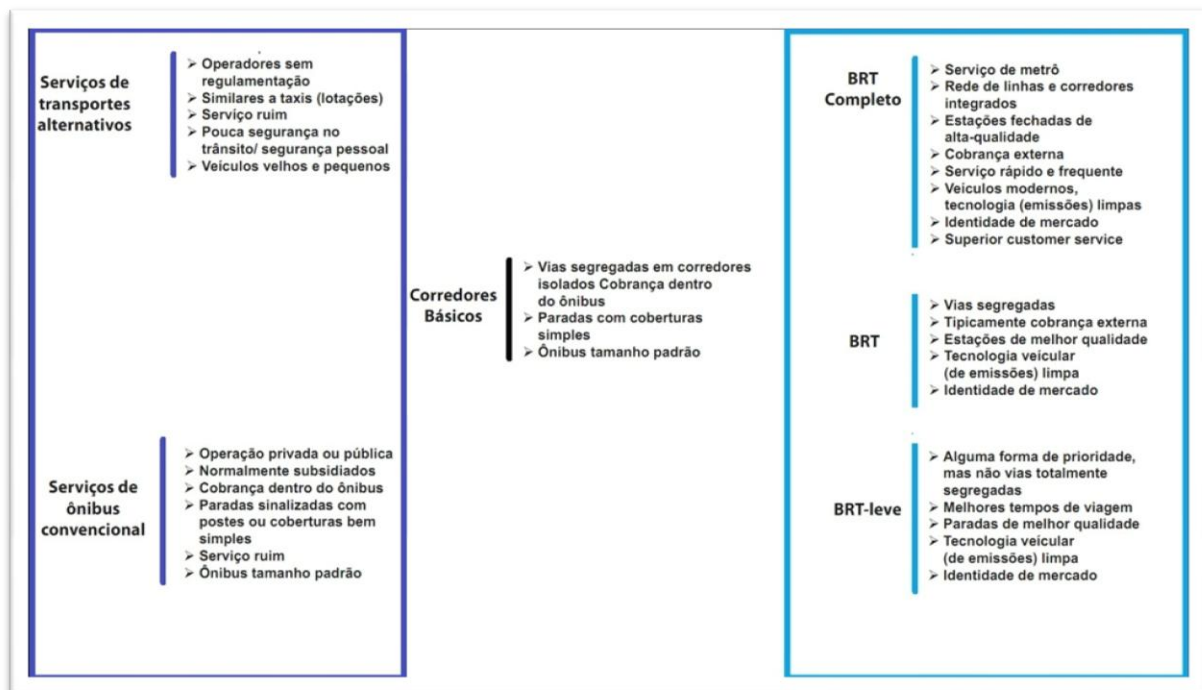


Figura 2-2: Espectro de qualidade dos transportes públicos sobre pneus  
 Fonte: Wright (2008)

De acordo com a descrição do tópico “BRT completo” da Figura 2-2, até novembro de 2006 existiam apenas dois BRT com essa configuração no mundo: Bogotá na Colômbia e Curitiba no Brasil. Outros sistemas como o de Goiânia, Quito e Ottawa no Canadá e Brisbane na Alemanha estão perto de serem classificados como “BRT completo”. Essas cidades precisam fazer implantações do tipo: conexão entre os corredores para determinar uma melhor rede sem nenhuma interferência entre eles e implementação da cobrança externa de bilhetes. Em Guayaquil (Equador), León (México) e Pereira (Colômbia) existem sistemas BRT, porém são operados em corredores limitados com a ausência de uma rede mais completa. (Wright, 2008)

Para a análise de soluções em transportes públicos faz-se necessária o uso de técnicas que retratem a realidade de forma simples e eficaz, tornando visíveis os impactos dos diversos parâmetros na operação. Estas técnicas são hoje em dia, tomados como simuladores e são mundialmente utilizados para o estudo de tráfego urbano (Ribeiro e Souza, 2004).

Como conclusão da Figura 2-2, o BRT não deve ser confundido com faixas segregadas de ônibus, essa é só uma das características que compõe o BRT. Segundo Wright (2008) há cidades que implementaram corredores básicos de “vias de ônibus” que, embora não alcancem o padrão de desempenho e conforto de um BRT. Algumas cidades do Brasil, as faixas exclusivas de ônibus não são utilizadas com o propósito que foi construído, entre eles temos os

exemplos das Figura 2-3e 2.4 que apresentam as interferências que dificulta o deslocamento dos ônibus e impede a finalidade da faixa segregada de ônibus.

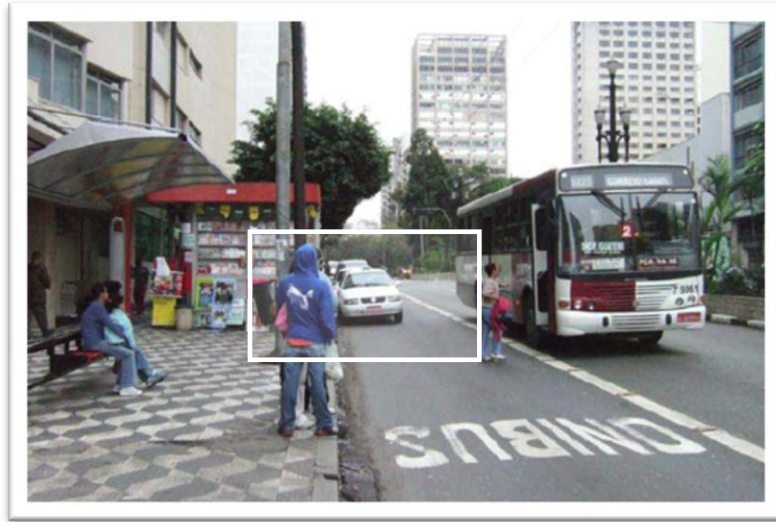


Figura 2-3: Faixas exclusiva de ônibus em São Paulo  
Fonte: Wright (2008)



Figura 2-4: Faixas exclusiva de ônibus em Rio de Janeiro.  
Fonte: Extra (2011)

## 2.4 COMPONENTES DO SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO BRT

Segundo FTA (2009), os sistemas de transporte público BRT, são compostos por sete elementos principais, eles são: Tipo de via, estações, veículos, arrecadação de tarifa, sistemas de transporte inteligentes, planos de operação e serviço e por último, elementos de marketing.

### 2.4.1 Tipos de via

A determinação de tipo de via que vai compor o corredor BRT pode apresentar diferentes impactos operacionais, em especial no tempo de viagem e velocidade. Na literatura do transporte podem se classificar as vias para corredores BRT em: Faixa segregada e faixa mista.

- Faixa segregada: São faixas com sob características especiais (Direito exclusivo de tráfego na via, priorizando o sistema de transporte público em relação à rede), estas faixas são segregadas do fluxo por meios físicos (meio fio) ou demarcação horizontal por meio da linha contínua, geralmente podem ter variações positivas na velocidade e tempo de viagem (Figura 2-5).



Figura 2-5: Faixa segregada para corredor BRT.  
Fonte: Site [blogpontodeonibus.wordpress.com](http://blogpontodeonibus.wordpress.com) (2011)

- Faixa mista: São faixas onde a totalidade do fluxo compartilha as mesmas características da via, nenhum veículo tem direito sobre a via, geralmente a velocidade do BRT vai depender do fluxo em geral (Figura 2-6).



Figura 2-6: Faixa mista para corredor BRT  
Fonte: site Coletivo (2011)

- Faixa guiada: Esta faixa opera com veículos guiados nas laterais, com o controle dos veículos durante o percurso. Os sistemas de guias automáticas são ótico, magnético ou mecânicos. A vantagem desta faixa é minimizar a sua largura e melhorar a precisão no ingresso das estações (Figura 2-7).

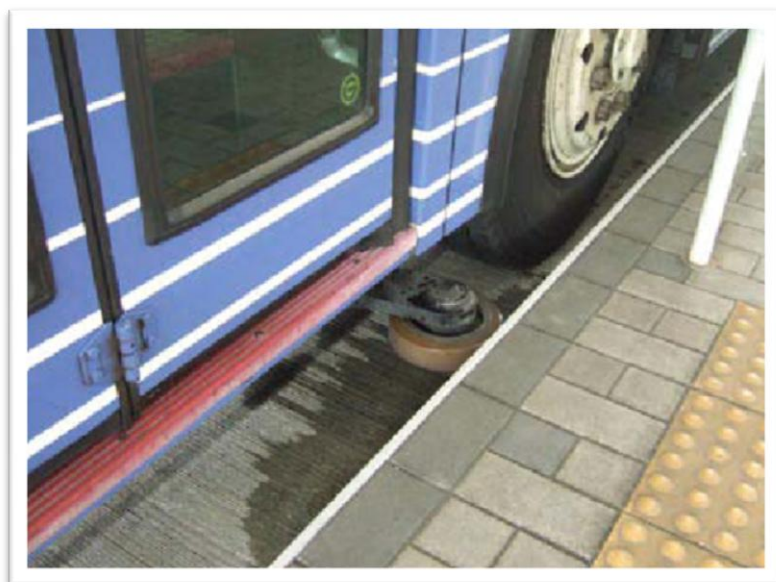


Figura 2-7: Faixa guiada - sistema de guia mecânico.  
Fonte: Wright (2008)

#### 2.4.2 Estações

As estações são a ponte entre o usuário e o sistema de transporte público BRT, sendo este o ponto de entrada que gera as primeiras sensações de segurança, conforto e credibilidade entre

outras para o usuário. Estas estações podem variar entre a mais simples até os terminais com conexões para outros modos de transporte, oferecendo muito mais serviços que só um médio de deslocamentos. As configurações das estações não tem uma solução correta, isso depende das circunstancias locais e espaço definido para as mesmas estações. Segundo Sorratini e Silva (2005), *"a grande maioria das cidades brasileiras apresenta linhas de transporte coletivo por ônibus do tipo radiais e diametrais. Dessa forma, os deslocamentos entre bairros –caso típico das viagens atendidas pelas linhas diametrais– obrigam os usuários a efetuarem transferências na área central, surgindo daí a opção por terminais centrais de integração física e tarifária"*.

A seguir serão apresentadas diferentes configurações realizadas para modelos de microsimulação na ferramenta VISSIM (Figura 2-8 até Figura 2-11).

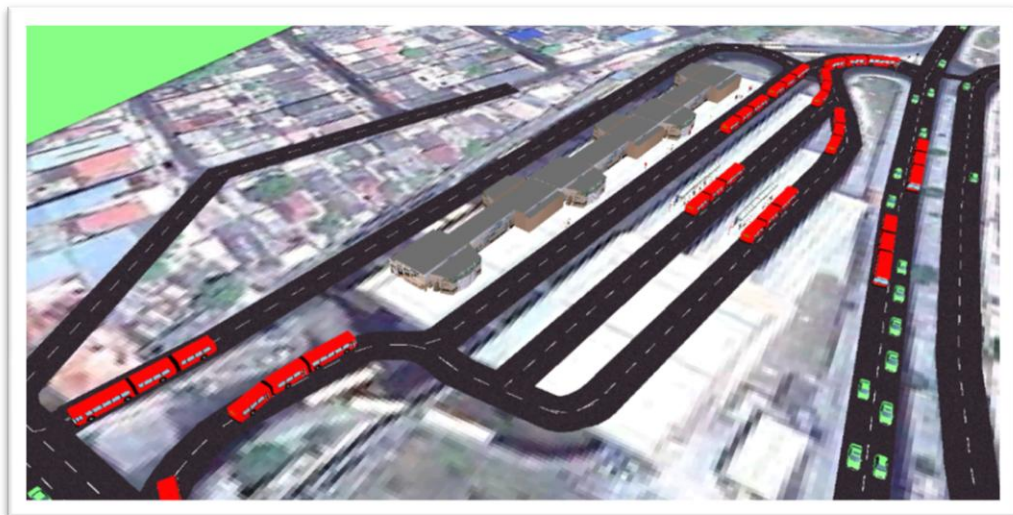


Figura 2-8: Configuração terminal BRT –microsimulação  
Fonte: Autoria própria.



Figura 2-9: Configuração estação simples BRT –microsimulação  
Fonte: Autoria própria.



Figura 2-10: Configuração estação escalonada BRT –microsimulação  
Fonte: Autoria própria.



Figura 2-11: Terminal rodoviário (Brasília)–microsimulação  
 Fonte: Autoria própria.

### 2.4.3 Veículos

O transporte público utiliza uma diversa gama de veículos, estes variam segundo sua categoria de linha (expressa, interbairros, alimentador e troncal) e tipo tecnologia (tipo de propulsão, capacidade, conforto e a segurança do passageiro entre outras), tudo isto contribui no rendimento e segurança do sistema. O CBRT (2009) define quatro características dos veículos, a primeira é a configuração física do veículo como o tamanho e altura do piso. A segunda característica é a estética dos veículos que vai contribuir na identidade do sistema de transporte público BRT. A terceira é o tipo de propulsão ou combustível que estão associadas à velocidade, aceleração, consumo de combustível e impacto ambiental, seja poluição ou níveis de som dentro do ônibus ou fora dele e a quarta característica dos veículos é a circulação de passageiros, onde pode facilitar a entrada, saída do veículo e dentro do mesmo.

Tabela 2.1 Opções de veículos e capacidades de passageiros

Tipo de Veículo	Comprimento (metros)	Capacidade (passageiros)
Biarticulado	24	240-270
Articulado	18,5	120-170
Tandem	15	80-100
Dois andares	12-15	80-130
Standard	12	60-80

Microônibus	6	25-35
Vans	3	10-16

Fonte: ITDP 2008

A Tabela 2.1 apresenta os diferentes tipos de veículos associados a seus comprimentos e capacidades. A capacidade do veículo forma um papel fundamental junto com a frequência de serviço para obter a capacidade do sistema.

#### 2.4.4 Arrecadação de tarifa

Segundo CBRT (2009), a cobrança de tarifas afeita diretamente à quantidade de passageiros que ingressam ao sistema. Também tem um papel chave no serviço ao usuário, marketing, planejamento e operação. Um objetivo primordial nos corredores BRT na arrecadação de tarifa é agilizar o embarque de passageiros, ou seja, minimizar os tempos de permanência.

Segundo Wright (2008), descreve o desenvolvimento de um sistema de tarifas eficiente em:

- Estruturas tarifárias;
- Descontos de tarifas;
- Opções de tarifas para serviços alimentadores.

A estrutura tarifaria, descreve cinco opções diferentes: tarifas gratuitas, tarifas únicas, tarifas por zonas, tarifas por distâncias e tarifas por tempo e horários. Por enquanto os descontos são: descontos de viagens múltiplas, por transferências de outros sistemas de transporte e por categorias (idoso, estudante, etc.) ou cupons. As opções de tarifas para os serviços alimentadores ajudam a incentivar o uso do sistema de transporte público, sendo mais atrativo que outros modos de transporte (Wright, 2008).

#### 2.4.5 *Sistemas inteligentes de transporte (ITS do termo em inglês Intelligent Transportation System)*

O CBRT (2009) detalha os sistemas inteligentes de transporte como mecanismos que melhoram o desempenho, mediante usos de tecnologias avançadas de comunicações, acrescentando a segurança, a eficiência operativa e qualidade do serviço.

Os sistemas inteligentes de transporte, com o tempo foram adicionados nos corredores BRT, proporcionando diferentes tipos de benefícios (segurança, informação para os usuários, etc.).



Eles podem se agrupar em: Sistemas de informação sobre passageiros, Segurança e sistemas de segurança, sistemas automatizados de arrecadação de tarifas, Priorização de trânsito de veículos, sistemas inteligentes para veículos e sistemas de gestão de operações. (CBRT, 2009)

#### 2.4.6 *Serviços e planos de operação*

O desenho do planejamento do serviço e operações do BRT para os usuários, deve ter um serviço frequente, direto, fácil de entender, confortável, confiável, operacionalmente eficiente e o mais importante, com tempos de viagens curtos (CBRT 2009).

#### 2.4.7 *Elementos de marketing*

Os elementos de marketing e do serviço ao usuário em: sistema com identidade diferenciada no mercado, excelência em serviços ao usuário com oferecimento de utilidades essenciais, facilidade de acesso entre o sistema e demais opções de mobilidade urbana e providencias especiais para facilitar o acesso para portadores de necessidades especiais (Wright, 2008).

## **2.5 BENEFÍCIOS DO BRT**

Diaz *et al.*, (2009), apresentam três tipos de benefícios gerados pelos corredores BRT. O primeiro benefício é do sistema acrescentando o número de passageiros transportado, ao melhorar a relação custo-efetividade e a eficiência operacional. O segundo benefício é da comunidade com a valorização de bens e acessibilidade entre o sistema e comunidade, com incremento da qualidade ambiental. Por último, os benefícios em geral em redução de congestionamento, qualidade de vida, investimento e criação de empregos.

## **3 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE TRANSPORTE PÚBLICO**

### **3.1 APRESENTAÇÃO**

A avaliação de desempenho do sistema de transportes nos grandes centros urbanos faz parte do processo de operação, monitoração, e gestão do sistema e há tempos vem sendo um objetivo a alcançar (ANTP, 2007). Na atualidade, a prática da avaliação é base para tomada de decisão presente em qualquer escolha. No transporte, como foco do estudo, é uma avaliação do serviço de sistemas de transporte público na orientação para possível conformação de sistemas integrados de transporte. Segundo a NTU (1999), ainda são poucos os estudos sobre os impactos efetivos dos sistemas integrados.

Na última década, os sistemas de transporte público BRT demonstraram ser uma das opções de melhor solução para desafios de transporte (ITDP, 2008), mas são sistemas de transporte com muita pouca experiência. Segundo Lindau e Willumsen (1990), A experiência com sistemas de ônibus de alta capacidade resulta de um processo de tentativa e erro combinado com doses de pragmatismo e empirismo. Geralmente os planejadores tendem tomar suas decisões baseadas no desempenho observado (Figura 3-1) em sistemas já implementados compartilhando configurações físicas e operacionais (Pereira, 2011). Segundo Serratini e Silva (2005), no meio existem diferentes análises que procuram dar apoio na decisão para implantação de sistemas de transporte, mas muito poucos em dar seguimento nas avaliações no desempenho dos sistemas de transporte após da sua implementação. A avaliação do desempenho permite que se forme um conhecimento sobre o assunto, possibilitando a antecipação de fatos, correção de cursos de ações e, por fim, um processo de melhoria contínua (Câmara, 2006).

O capítulo de avaliação do desempenho de transporte público apresenta os principais itens em consideração para o desenvolvimento dos objetivos do estudo. O capítulo apresenta a avaliação da qualidade dos transportes públicos, contém o conceito, os critérios de qualidade e dinâmica da cadeia de qualidade para os sistemas de transporte público. A seguinte seção tratados indicadores de desempenho dos sistemas de transporte público, desempenho do corredor BRT e considerações finais de importância para o desenvolvimento do estudo. Para finalizaras características comparativas de desempenho de sistemas de transporte. Entre as características comparativas de desempenho apresentadas estão: a capacidade do sistema, acessibilidade de preços, tempos de viagem /velocidade, divisão modal e frequência do serviço entre outros.

### 3.2 QUALIDADE DOS TRANSPORTES PÚBLICOS

O termo de qualidade possui uma variedade de conceitos na literatura, os quais variam em função dos pontos de vistas dos diferentes autores. Segundo Garvin (1992), o motivo desta dificuldade está no fato de existirem diferentes formas para definir qualidade, pois seus sinónimos vão desde luxo e mérito até excelência e valor. Correia (2004) apresentou diferentes termos de qualidade em seu estudo de identificação da qualidade da informação, aplicada ao planejamento de transportes. O estudo determinou a definição mais utilizada para o termo qualidade, apresentada por Juran (1995).

Segundo Juran (1995), a qualidade de um produto vai depender do uso ao qual o mesmo se destina. Porém, o mesmo autor coloca que ao se utilizar o conceito, nem sempre se consegue transmitir a ideia e o significado que se deseja.

A qualidade dos transportes públicos pode ser encarada de modos diferentes dependendo dos objetivos pretendidos. A sua percepção pelos usuários é subjetiva dependendo das necessidades individuais que não se mantém constantes ao longo do tempo (Pires da Costa, 2008). Wright (2008) identifica os seguintes critérios de qualidade:

- Oferta do serviço traduzida pelas coberturas temporais nos diferentes períodos do dia, período de funcionamento e cobertura espacial dos percursos, que representam a acessibilidade ao sistema e a mobilidade que proporcionam;
- Confiabilidade do sistema traduzida pela regularidade e pontualidade do serviço, bem como o tempo total de viagem incluindo o tempo de espera na estação ou parada de ônibus;
- Necessidade de transbordo e condições (tempo e conforto) de espera nos respectivos locais;
- Acesso ao transporte, que é a partir das estações ou paradas de ônibus e interfaces, relativo aos sistemas de bilheteria e tarifário;
- Nível de ocupação nos veículos na viagem e passageiros sem embarque devido a lotação completa;
- Sistema de informação ao público antes, durante e após a viagem;
- Atendimento ao cliente, competência do pessoal e atitude perante reclamações;
- Limpeza, comodidade e conforto nas estações ou paradas;
- Limpeza, comodidade e conforto no material rodante;

- Segurança pessoal;
- Impacte ambiental ao nível das emissões gasosas e ruído.

Os conceitos de qualidades pode se descrever segundo duas visões, usuários e responsáveis de fornecer o serviço de transporte público. A Figura 3-1 apresenta os conceitos que compõem a cadeia de qualidade.

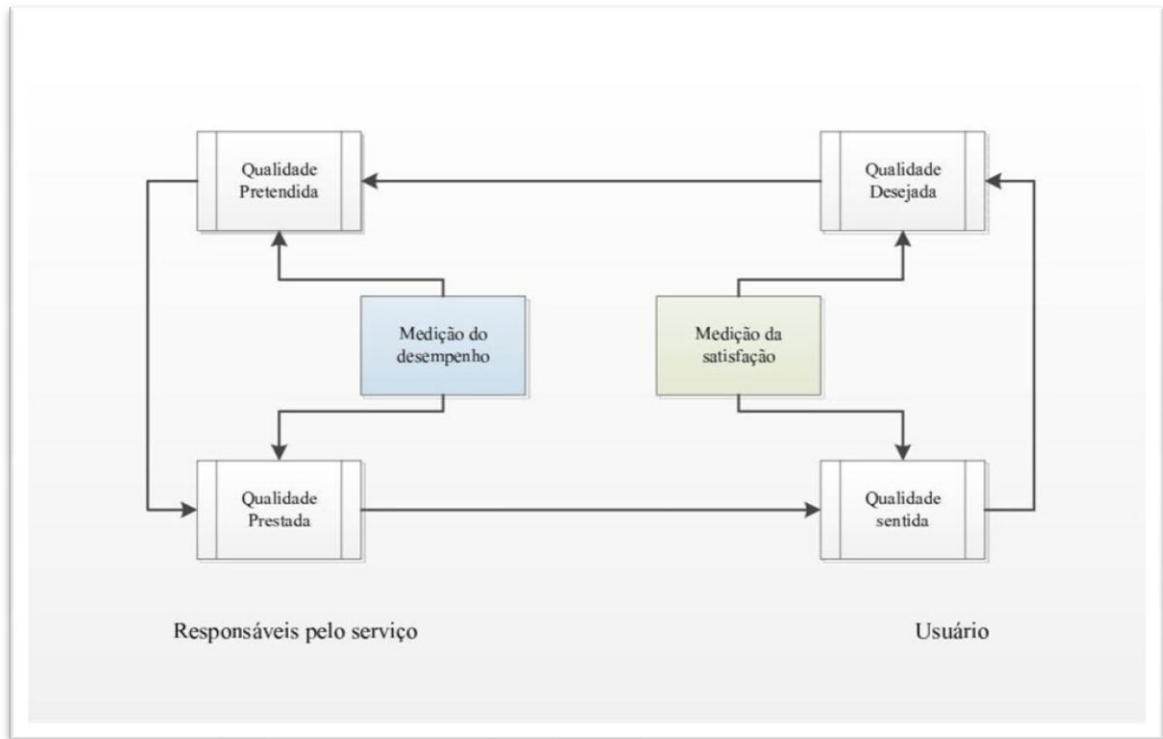


Figura 3-1: Cadeia de qualidade  
Fonte: Pires da Costa (2008)

A Figura 3-1 apresenta os conceitos que compõem a cadeia de qualidade, onde os dois primeiros conceitos são: a qualidade desejada junto com a qualidade sentida refere-se ao ponto de vista do usuário. A qualidade desejada é aquela que o usuário pretende que lhe seja oferecido pelo transporte e a qualidade sentida a que é percebida pelo usuário dependendo da experiência pessoal e da forma como cada usuário percebe o serviço. A comparação entre estes dois conceitos de qualidade representa o nível de satisfação do usuário.

Por enquanto os conceitos de qualidade dos fornecedores ou responsáveis do serviço (autoridades, operadores entre outros) consideram qualidade pretendida, aquela que o fornecedor ou responsável do serviço deseja prestar aos usuários em função dos custos, da concorrência e a qualidade prestada, partindo do ponto de vista do usuário, em condições normais de funcionamento. A comparação entre os tipos de qualidade para o fornecedor é

conhecido como o desempenho do operador. Sob muitos aspectos, o sucesso ou fracasso de um sistema pode ser visível pela reação do público ao sistema. A opinião do usuário talvez seja a medida mais importante (ITDP, 2008). Segundo Pires da Costa (2008), o ciclo da qualidade passa pelas seguintes fases:

- Identificação das expectativas do usuário (qualidade desejada);
- Definição das especificações do serviço a prestar (qualidade pretendida);
- Prestação do serviço e respectivo acompanhamento (qualidade prestada);
- Verificação do nível de satisfação do usuário (qualidade percebida) e eventual revisão das especificações.

Assim, para verificar se o papel de controle da qualidade serviços e de garantia da preservação do interesse público está sendo cumprido é necessário que se adote uma avaliação do desempenho das operadoras considerando elementos que traduzam as necessidades do usuário, segundo o seu próprio ponto de vista. (cadeia qualidade) O desempenho da operadora (Câmara, 2006).

### **3.3 DESEMPENHO NOS CORREDORES BRT**

Cidades do mundo em desenvolvimento requerem corredores BRT de alto desempenho que possibilitem o atendimento de demandas elevadas de forma rápida e segura (Wright e Hook, 2007). Logo, o desempenho de corredores BRT deve ser avaliado sob a ótica da capacidade, da velocidade e da satisfação do usuário (PEREIRA, 2011). Segundo Gardner *et al.* (1991) e Fernandez e Planzer (2002), identificam às estações e interseções como os principais gargalos nas operações de sistemas sobre pneus na superfície. A potencialidade que oferece estações e interseções de atrasos nos delimita seu desempenho.

O desempenho deriva do verbo desempenhar, segundo Houaiss e Villar (2001) é definido como executar uma atividade. Segundo Câmara (2006) a medição e a avaliação de quão bem uma atividade estão sendo desenvolvida, permite que se atribua ao desempenho um juízo de valor (bom ou ruim, por exemplo). A medição de desempenho é denominada como a tradução quantitativa ou qualitativa de um fenômeno. Já a avaliação de desempenho é denominada como a interpretação do que as medidas expressam. No planejamento são definidos os desejos de produtos e resultados que se pretende obter com a realização de uma determinada atividade (Câmara, 2006).

O desempenho é baseado na qualidade dos serviços prestados e no nível em que suas necessidades são atendidas. Dessa forma, com respeito ao tipo de avaliação a ser realizada, será considerado o desempenho-baseado-em-resultados, pois estes são elementos relacionados à necessidade dos usuários (Câmara, 2006). Para melhorar o desempenho de corredores BRT, o dimensionamento e operação das estações influenciam na conformação de filas de veículos, no tempo de ingresso para aproximação de uma estação e tempo de parada (embarque e desembarque de passageiros), todos estes fatores influenciam a velocidade e capacidade do sistema (Gardner *et al.*, 1991). Segundo Pereira (2011), a velocidade operacional também é determinada pela configuração do sistema e impacta diretamente na satisfação do usuário; quanto maior a velocidade e menor a sua variabilidade tanto melhor é a avaliação de um corredor BRT.

Wright (2008), descreve o sistema de alta capacidade e alta velocidade dependendo de uma gama de características de projeto operacional, incluindo múltiplas posições de parada nas estações, serviços expressos e serviços de poucas paradas, veículos articulados com múltiplas portas, portas largas, pagamento e controle de pagamento externo (fora do ônibus), plataformas de embarque em nível e bons espaços nas estações. Para Furth e Muller (2007) e Koehler (2009), o sistema de transporte público BRT que sofre atrasos nas interseções impostos pelo controle semafórico, a prioridade semafórica pode ser utilizada para otimizar os movimentos de travessia dos veículos BRT.

Segundo Pereira (2011), nem todos os corredores BRT implantados foram projetados de forma a propiciar o seu melhor rendimento, havendo sempre margem para implantar melhorias. Mesmo o sistema TRANSMILENIO, de Bogotá já sofreu modificações, na medida em que estações críticas foram readaptadas para desmanchar gargalos operacionais decorrentes de serviços distintos que propiciam ultrapassagem e que utilizam baias específicas em estações com múltiplas plataformas. Na Indonésia, a quantidade de canais de acesso proporcionada pelos veículos BRT revelou-se um elemento limitador do desempenho do sistema TransJakarta (ITDP, 2003).

### 3.3.1 *Atributos de desempenho do corredor BRT*

O desempenho de sistemas BRT é avaliado com respeito a seis atributos chaves: tempo de viagem, confiabilidade, identidade e imagem, segurança e segurança dos passageiros,

capacidade e acessibilidade. A seguir será apresentado cada um dos atributos de desempenho do corredor BRT.

Como primeiro atributo temos o tempo de viagem, segundo CBRT (2009) representa exatamente a quantidade de tempo gasto por passageiros (e veículos) para realizar o deslocamento. Este atributo varia de acordo com diferentes condições de operação do sistema de transporte público BRT. Os elementos de BRT que melhoram os tempos de viagens são: tempo de duração que é o tempo gasto pelo veículo de estação em estação, tempo de permanência que é o tempo gasto no veículo parado na estação, tempo de espera que é o tempo gasto pelos passageiros inicialmente esperando para embarcar e por último o tempo de transferência que é o tempo gasto pelos passageiros em transferências entre BRT ou outro serviço (CBRT, 2009).

O segundo atributo é a confiabilidade sendo esta a mais afetada por fatores de incerteza, incluindo o tempo de rota, condições de tráfego, número de paradas entre outras. Nem todos estão dentro do controle da operadora, mas existem muitas características do BRT que melhoram a confiabilidade entre elas, confiabilidade do tempo de percurso, confiabilidade no tempo de atraso na estação e confiabilidade no serviço.

O terceiro atributo é a imagem e identidade do BRT, o CBRT (2009) descreve, para a hora de escolha do meio de transporte, deve se oferecer não só tempos de viagem competitivos e alta qualidade de serviços, mas também ser complementado uma imagem atraente e identificação diferenciada no mercado. Muitas pessoas vem o ônibus como uma forma inferior de viajar comparada com a praticidade e liberdade de não estar dependente de horários que oferece o carro.

O quarto atributo é conformado pela segurança do sistema e segurança dos passageiros, onde a segurança é o nível de vulnerabilidade do sistema e altamente visível pelos passageiros, funcionários, pedestres, ocupantes de outro veículo e demais que interagirem com o sistema. O fornecimento de um ambiente seguro para os usuários do BRT, requer de considerações para três ambientes principais: no interior do veículo, sobre o direito de passagem e nas estações e paradas sendo esta última de especial preocupação (CBRT, 2009).

O quinto atributo é a capacidade do sistema, segundo ITDP (2008) a capacidade, velocidade e frequência do serviço de BRT, são características que os separam dos serviços convencionais

de ônibus. O CBRT (2009) apresenta a capacidade do sistema como o número máximo de pessoas ou veículos que podem ser movidos, passando por um ponto em uma linha ou sistema.

O sexto e último atributo de desempenho é acessibilidade, o termo é frequentemente usado para descrever a disponibilidade geral do serviço oferecido para qualquer tipo de usuário.

Segundo Krstanoski (1996), o desempenho operacional de um sistema de transporte público esta associado como a capacidade deste em transportar, com conforto e segurança anteriormente mencionados, através do espaço, um determinado volume de passageiros, durante um determinado período de tempo. A capacidade de transportar esta associada a uma série de atributos básicos que em geral estão associados a variáveis aleatórias (Almeida, 1999).

Segundo Almeida (1999), existem três elementos para o estudo dos atributos quantitativos de desempenho: espaço, tempo e objeto. Os objetos podem ser lugares disponíveis nos sistemas de transporte público, passageiros ou veículos. As relações entre estes três elementos definem os atributos básicos de desempenho apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 Atributos básicos de desempenho dos sistemas de transporte público

Nome	Símbolo	Determinação	Unidade
Velocidade	V	S/t	m/s
Atraso	$v^{-1}$	t/S	s/m
Densidade	$k_s$	U/S	Unid./m
Espaçamento	$S_s$	S/U	m/unid
Frequência	F	U/t	Unid/s
Headway	H	t/U	s/unid

Fonte: Vuchic, 1981

A Figura 3-2 apresenta os atributos de desempenho segundo a visão de Vukan R. Vuchic.



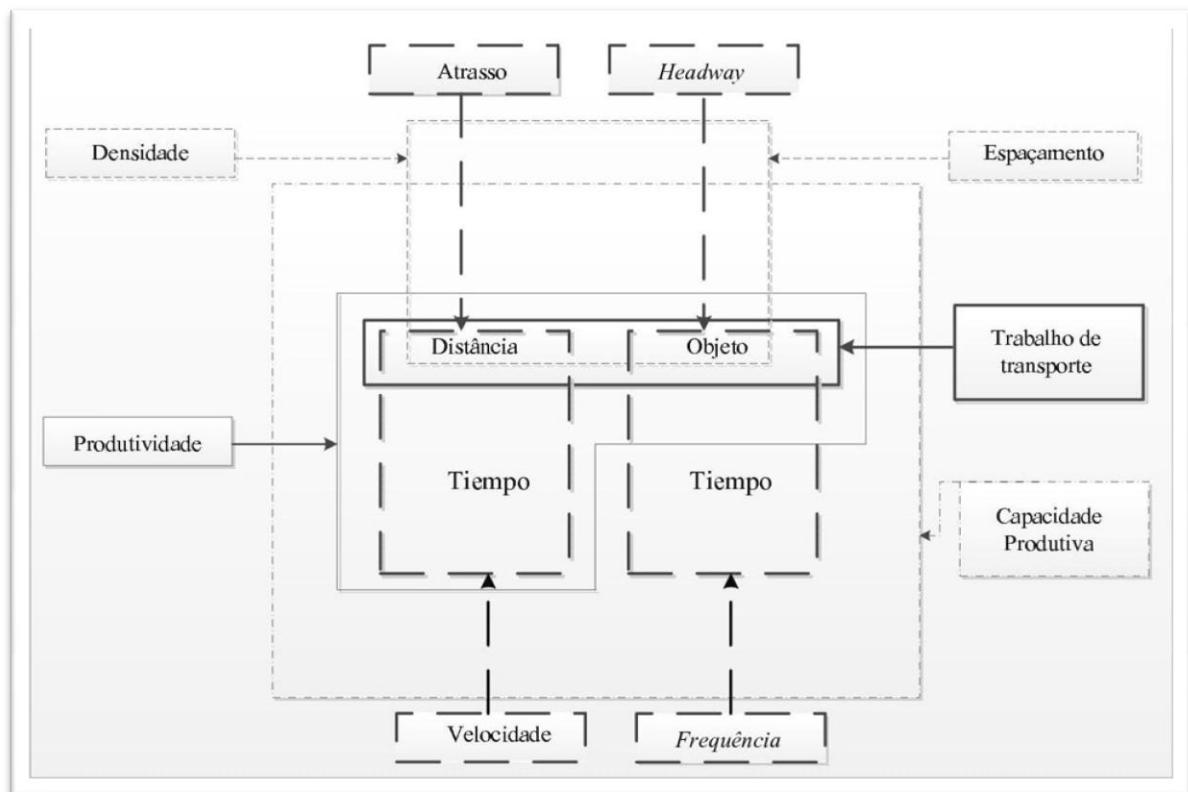


Figura 3-2: Atributos de desempenho Fonte: Vuchic (1981)

Segundo Vukan R. Vuchic (1998 *apud* Almeida, 1999) os atributos básicos mais importantes para a avaliação do desempenho operacional de um sistema de transporte público são: a frequência e seu inverso, o *Headway* e a velocidade operacional, aqui definida como a velocidade média.

### 3.4 INDICADORES DE DESEMPENHO DE SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO

As características de desempenho de um sistema desempenham um grande papel na determinação dos níveis de utilidade para o usuário. Não faz nenhum bem ter um sistema econômico se ninguém quiser usá-lo (ITDP, 2008). Cabe ressaltar a distinção entre medição de desempenho e indicador de desempenho: As medições de desempenho são utilizadas para a verificação de aspectos diretos de fácil medição e indicadores de desempenho são construções que se prestam para delinear o desempenho quando não é possível a medição simples e direta. Um indicador é um instrumento de conhecimento da realidade que se pretende, considerando as condições ambientais naquele momento (UNESA, 2008).

A medição do desempenho de uma atividade é realizada quando são comparados parâmetros produzidos com planejados. Com a medição do desempenho têm-se as medidas as quais

caracterizam quantitativa ou qualitativamente o fenômeno analisado (NPR, 1997). Câmara (2006) descreve os indicadores, como elementos que possibilitam as comparações necessárias à medição do desempenho. São definidos por CEROI (2004 *apud* Câmara, 2006) como elementos que representam as principais características de um objeto. Assim, indicadores são símbolos que verificam o alinhamento dos resultados alcançados com os objetivos e metas estabelecidas. São tradutores dos fenômenos observados que permitem que o mesmo seja medido.

Os indicadores de desempenho, além de definir melhor prática ou a melhor atividade dentre um grupo a ser avaliado (OECD, 2001), e ser uma ferramenta importante de disseminação de informações (Royuela, 2001), são utilizados com a seguinte finalidade: prover informações, gerenciar ações, auxiliar na tomada de decisões, contribuir para melhoria na alocação de recursos, e permitir comparações (Diógenes, 2002).

Para a classificação das medidas de desempenho, Artley e Stroh (2001 *apud* Câmara, 2006) apresenta uma classificação baseada em: Eficiência, Eficácia, Qualidade, pontualidade e produtividade (Tabela 3.2)

Tabela 3.2 Classificação das medidas de desempenho

Medida	Descrição
Eficiência	A habilidade de realizar uma atividade.
Eficácia	A coerência entre o que foi planejado e o que foi executado.
Qualidade	A realização correta de uma atividade. No entanto, a definição de correto deve ser baseada na visão do usuário.
Pontualidade	Se as atividades foram realizadas no tempo certo. A definição de tempo certo também deve ser dada pelo usuário.
Produtividade	A quantidade de recurso para realizar uma determinada atividade

Fonte: Câmara (2006)

Pires da Costa (2008) apresenta os indicadores de desempenho e medidas quantitativas para avaliação de redes de transporte público segundo a seguinte classificação: Volume de transporte, Desempenho da rede, Produção de transporte, Produtividade, Eficiência do transporte e Utilização. A continuação será feita uma descrição das medidas quantitativas e indicadores de desempenho.

#### I. Volume de transporte

- Dimensão da frota classificada por tipologia de veículos;
- Capacidade da frota, representando a capacidade de todos os veículos que compõem a frota. A capacidade média da frota é dada dividindo a capacidade pela dimensão da frota;
- Número de linhas e comprimento da rede;
- Número de paradas/estações refletindo a cobertura espacial do serviço (acessibilidade);
- Volume anual de passageiros ou número de viagens realizadas durante um ano.

#### II. Desempenho da rede

- Intensidade do serviço oferecida (lugares\*km/km/dia) que resulta dividindo a produção diária de transporte pelo comprimento total da rede;
- Velocidade média dos veículos [ $V_{av}$ ], dada por  $V_{av} = \frac{\sum(W_i V_i)}{\sum W_i}$ , em que [ $W_i$ ] é o número de vei.km realizado e [ $V_i$ ] a velocidade (operação ou comercial ou outra) na linha  $i$ .

#### III. Produção de transporte

- Vei.km anual obtido pela soma das distâncias realizadas por cada um dos veículos da frota durante um ano;
- Lugares.km anual dada pelo produto de vei.km anual e a capacidade média dos veículos e representa a quantidade de serviço oferecida num ano;
- Pass.km anual dada pelo produto do número de passageiros transportados e o comprimento médio da viagem, correspondendo a utilização do serviço;
- Eficiência laboral que resulta da divisão entre o número de passageiros (ou pass.km ou outra) e o número de trabalhadores.

#### IV. Produtividade

- Produtividade da linha (vei.km/h ou pass.km/h ou lugares.km/h) que representa a distância total percorrida por unidade de tempo, dada pelo produto do número

de veículos (passageiros ou lugares) operando numa linha e a sua velocidade média.

#### V. Eficiência do transporte

- $\text{Vei.km/vei}$  e o total  $\text{vei.km}$  realizado num ano a dividir pela dimensão da frota refletindo a utilização dos veículos;
- $\text{Pass./vei.km}$  e o quociente entre o numero de passageiros e o  $\text{vei.km}$  para o período de um ano, sendo um dos indicadores da intensidade da utilização do serviço (quanto maior for o seu valor mais eficiente em termos económicos e o serviço);
- $\text{Pass./vei.}$  e o quociente entre o volume de passageiros anual e a dimensão da frota representando a eficiência da utilização dos veículos em relação ao numero de viagens;
- $\text{Pass.km/vei}$  obtém dividindo os  $\text{pass.km}$  pela dimensão da frota indicando, em média, qual a produção de cada veículo;
- $\text{Pass.}$ (ou lugar ou  $\text{vei}$ ). $\text{km/trabalhador}$  refletindo a produtividade da mão de obra (analogamente pode ter-se como indicador os passageiros diários a dividir pelo numero de trabalhadores).

#### VI. Utilização

- $\text{Vei.h/vei}$  é um indicador da utilização dos veículos;
- Veículos em operação/dimensão da frota.

### **3.5 CARACTERÍSTICAS COMPARATIVAS DE DESEMPENHO DE SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO**

A seguir será descrito as diferentes características comparativas de desempenho para os diferentes sistemas de transporte público urbanos de massa.

#### *3.5.1 Capacidade do sistema*

Segundo Wright (2008), a capacidade de mover grandes números de pessoas é um requerimento básico para sistemas de transporte de massa e particularmente para países em desenvolvimento. O ITDP (2008) descreve os diferentes fatores que podem afetar a capacidade de passageiros, mas pode diferir entre os diferentes tipos de transporte público: primeiro o tamanho do veículo (Passageiros por veículo); segundo o número de veículos que podem ser agrupados; terceiro o *Headway* entre os veículos; quarto a existência e

disponibilidade (espaço para) serviços expressos e quanto as técnicas de embarque e desembarque.

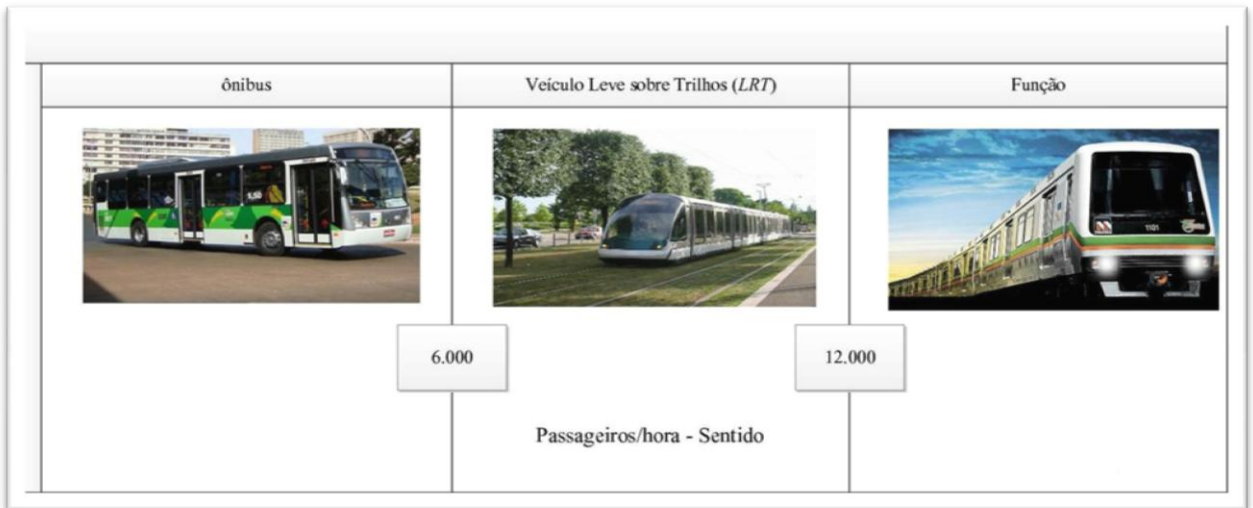


Figura 3-3: Visão tradicional da capacidade dos transportes públicos  
Fonte: Wright (2008)

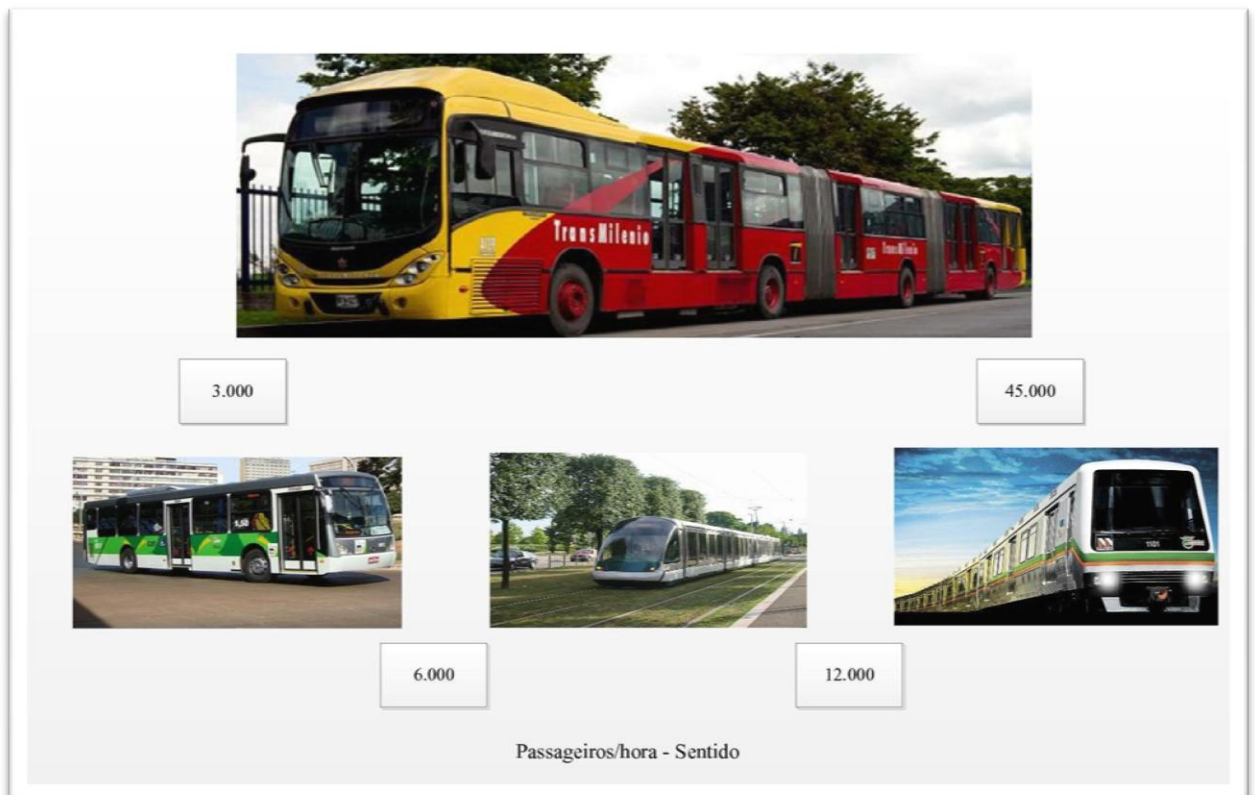


Figura 3-4: Nova visão da capacidade dos transportes públicos  
Fonte: Wright (2008)

A Figura 3-3 apresenta a visão tradicional que se tinha antigamente para divisão modal segundo a capacidade atingir, mas, a nova visão de capacidades é apresentada Figura 3-4. Um exemplo de essa nova visão de capacidade é Bogotá, comprovou que o BRT é capaz de

realizar desempenho de alta capacidade para as megacidades do mundo (ITDP, 2008). As diferenças entre tecnologias não só se refletem na capacidade, também tem diferenças no custo de implementação como apresenta a Figura 3-5

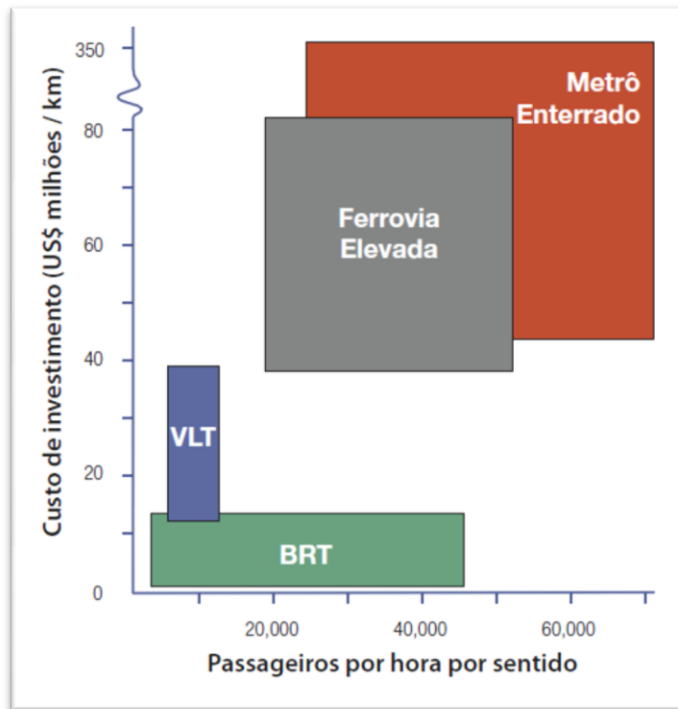


Figura 3-5: Capacidade de passageiros e investimentos para opções de transporte de massa  
Fonte: ITDP (2008)

### 3.5.2 Acessibilidade de preços

Segundo Wright (2008), a tarifa ao usuário é relacionada com custos operacionais e os níveis de subsídio (se houver). Usuários de transportes públicos de países em desenvolvimento podem ser particularmente sensíveis aos preços. Uma pequena diferença nos níveis das tarifas pode fazer uma diferença substancial no número de viagens. Assim, tecnologias que envolvam menores custos operacionais são, talvez, mais apropriadas nesse contexto (ITDP, 2008).

### 3.5.3 Tempos de viagem / Velocidade

Segundo ITDP (2008), os tempos de viagem e velocidade operacional são conceitos relacionados, mas distintos. Para o usuário, o tempo de viagem real é provavelmente a variável mais importante e velocidade comercial do veículo, muito mais do que velocidades máximas. A velocidade comercial representa a velocidade média, incluindo os tempos de parada nas estações (Wright, 2008).

Antes da implementação do sistema de transporte BRT chamado TRANSMILENIO na cidade de Bogotá - Colômbia, o corredor simples na Av. Caracas tinha uma capacidade de transportar um pouco mais de 30.000 passageiros por hora por sentido, sendo isso um pouco menos que o atual sistema de transporte BRT. Entretanto, em função de um congestionamento, os veículos em media conseguiam uma velocidade de 10 Km/h, por enquanto, o sistema de transporte público TRANSMILENIO opera a uma velocidade media comercial de 27 km/h atualmente.

Wright (2008) apresenta uma comparação entre sistemas ferroviários leves e sistemas BRT. Nos Estados Unidos revelaram maiores velocidades medias de BRTs em cinco das seis cidades estudadas (Figura 3-6). O estudo nos EUA observou que o uso de faixas de veículos de alta ocupação (em inglês, *high occupancy vehicles, HOV*) e a capacidade de complementar de serviços locais com serviços deparadas limitadas são as razoes para o desempenho superior dos BRTs (US GAO, 2001).

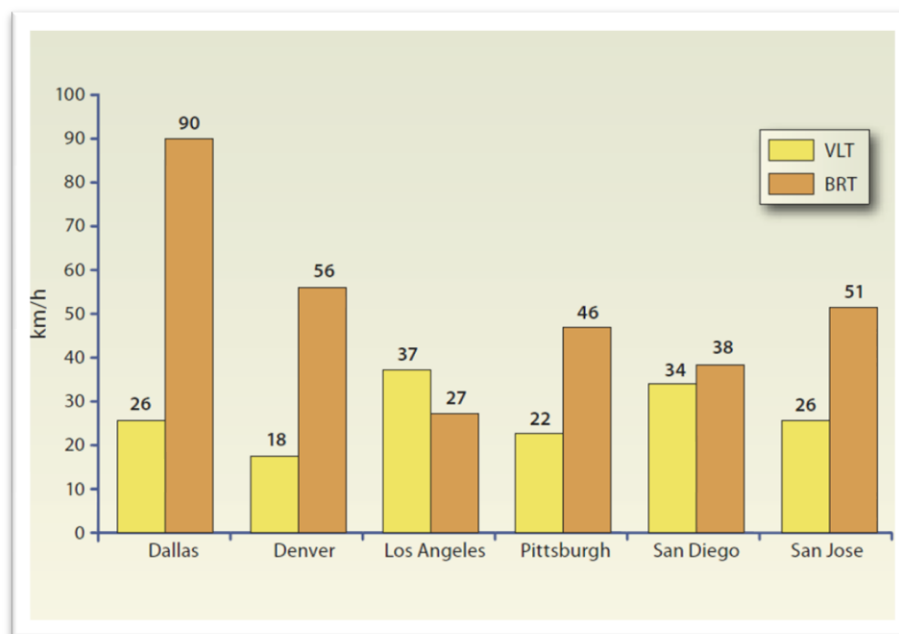


Figura 3-6: Comparação sistema BRT com sistemas ferroviários leves nos EUA  
Fonte: US GAO (2001)

#### 3.5.4 Divisão modal

Segundo Wright(2008), Na teoria, qualquer tipo de tecnologia de transporte público poderia ser designada para atender a maioria das viagens em uma cidade. Na pratica, limitações financeiras impedem a construção de uma rede completa por toda a região metropolitana. Assim, as tecnologias mais caras geralmente só podem ser justificadas pelo custo em alguns corredores e, desse modo, atendem de fato menores números totais de passageiros. Alguns

exemplos de divisão modal em cidades brasileiras como: São Paulo que apresenta uma divisão modal de 26% ônibus, 5% metrô, 2% Trem, 31% carro, 1% moto, 0% taxi, 35% a pé e 0 % bicicletas (Vasconcellos, 2001) e Rio de Janeiro com 61% ônibus, 2,3% metrô, 3,1% Trem, 11,5% carro, 0,2% moto, 19,7% a pé, 1,3 % bicicletas e 0,9 outros (IplanRio, 1996)

#### 3.5.5 *Frequência do serviço*

Serviços de altas frequências representam menores tempos médios de espera para os usuários. A frequência do serviço também afeta a percepção sobre a confiabilidade do sistema e a competitividade com o carro. Usuários podem perceber tempos de espera como duas ou três vezes maiores do que realmente são (ITDP 2008).

#### 3.5.6 *Confiabilidade*

A confiabilidade, é relacionada ao nível de confiança que as pessoas tem na capacidade do sistema público de transporte em ter o desempenho esperado (ITDP, 2008). Segundo Wright (2008), há muito tempo, serviços de ônibus têm um estigma negativo, e isso associado ao péssimo desempenho operacional e serviço inadequado ao usuário.

#### 3.5.7 *Conforto*

O nível de conforto em um sistema depende de muitas características de projeto, que são bastante independentes do tipo de transporte de massa (ITDP, 2008).

#### 3.5.8 *Segurança de trânsito*

Segundo Wright (2008), faixas segregadas para veículos ferroviários e BRT, ajudam a reduzir o potencial de acidentes, desse modo, tornam essas opções de transporte de massa relativamente mais seguras que outros serviços mais convencionais. Veículos com separação de nível tais como metros enterrados, beneficiam-se em particular por evitar esses conflitos. Tanto corredores de BRT quanto VLT encaram riscos potenciais quando cruzam interseções (ITDP, 2008).

#### 3.5.9 *Serviço ao usuário*

Elementos de serviço ao usuário são igualmente possíveis tanto para sistemas de BRT quanto ferroviários. *Intelligent Transport Systems* (ITS) que informam passageiros dos horários



previstos de chegadas, mapas legíveis, instruções de pagamento claras e uma equipe simpática e prestativa não são, geralmente, função encontradas em sistema de transporte público (ITDP, 2008).

#### 3.5.10 *Integração*

A possibilidade de fazer a transferência, de modo confortável e fácil, dos serviços alimentadores nas vizinhanças para os serviços de linhas troncais e um fator principal na atratividade geral do sistema (ITDP, 2008).

#### 3.5.11 *Imagem e status*

Por último temos a imagem e status, Wright (2008) descreve a imagem percebida e o *status* do sistema de transporte público, como fatores principais na atração de viagens, particularmente de usuários que não abraçaram a ideia e que tem outras alternativas. O mais bem projetado sistema de transporte público do mundo será inútil se os clientes não o acharem suficientemente atraente para usá-lo. Observou-se que usuários em Bogotá, não dizem que “vão pegar o ônibus”, mas antes que “vão pegar o TRANSMILENIO” (Wright, 2008).

## 4 ALOCAÇÃO DE VIAGENS

### 4.1 APRESENTAÇÃO

Este capítulo visa consolidar o entendimento do processo de alocação de viagens para poder atingir os objetivos do estudo. A compreensão deste capítulo permite modelar passageiros alocados na rede de transporte público (corredor BRT e Linhas de ônibus do transporte público), em função das mudanças de velocidade e *headway*. Vários modelos são apresentados, mas a simulação a ser realizada neste estudo adotará o método incremental para alocação do transporte individual e o método baseado no *Headway* para alocação de transporte público.

Ao longo dos últimos 50 anos desenvolveram-se e consolidaram metodologias para realizar a modelagem em transportes. Naturalmente, durante esse período, melhoramentos conceituais foram introduzidos em diversas etapas desse processo metodológico. No entanto, a estrutura básica adotada no tratamento do problema foi mantida, incorporando os aprimoramentos que, originados da pesquisa sobre transportes, disseminaram-se através de aplicações práticas.

Este capítulo estudará principalmente o problema da modelagem da oferta de transporte, sendo esta modelagem parte do modelo clássico de transporte. O modelo clássico de transporte é baseado na reprodução do espaço contínuo, conformado por elementos, Ortuzar (2000), descreve o início da modelagem clássica, considerando uma rede multimodal de transporte, uma área de estudo por zonas, coleta e codificação de dados para calibração e avaliação dos modelos. A estrutura do modelo clássico com importantes avanços na especificação de seus diversos sob modelos e fundamentalmente na forma entre eles, devem interagir o fim de garantir uma solução única no complexo problema de equilíbrio entre oferta e demanda Ortuzar (2000). A estrutura do modelo clássico é apresentada na Figura 4-1.

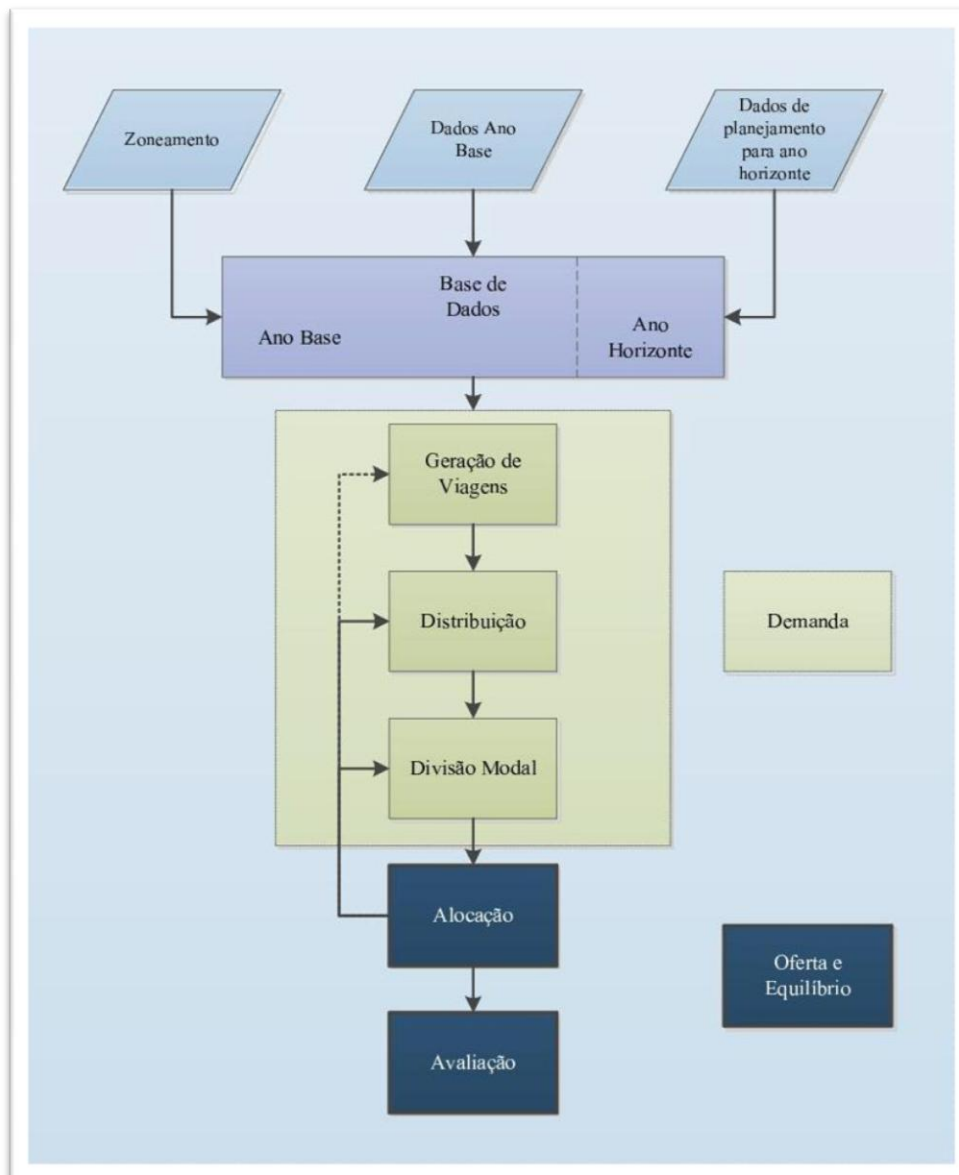


Figura 4-1: Visão moderna do modelo de transporte clássico  
 Fonte: Ortuzar (2000)

O processo de modelagem, na metodologia clássica, divide-se em quatro etapas distintas, porém interligadas, que são: geração, distribuição, escolha modal e alocação. As três primeiras etapas tem como preocupação central a simulação do comportamento da demanda por transportes. Como resultado tem-se matrizes de demanda por modo (ou combinação de modos) de transporte, desagregadas por tipos de fluxo (produtos, motivos de viagem) ou períodos.

Na tradicional alocação de viagens, última etapa do modelo clássico de transporte, realiza a interação entre a oferta representada por *links* e nó, y por seus custos e a demanda sintetizada nas matrizes de viagens, já transformadas em deslocamentos de pessoas ou veículo. Os custos

são apresentados por funções de atributos associados aos *links*, estes atributos podem ser: distância, velocidade em fluxo livre, capacidade e relação fluxo-velocidade (Ortuzar, 2008).

## 4.2 MÉTODOS DE ALOCAÇÃO

Segundo Molinero e Sánchez (1998), "*os modelos de alocação são a última etapa do processo de modelagem clássica e são de muita importância já que eles podem obter informações que servirão de base para a avaliação dos projetos e das políticas de transporte*". Na aplicação do clássico processo de alocação de tráfego, Ortuzar (2008) descreve dois objetivos principais: os primários e secundários.

### I. Primários:

- Obter bons resultados agregados da rede (fluxos totais sob links, benefícios totais por serviços de ônibus);
- Estimar custos (tempos) de viagens entre zonas para um determinado nível de demanda;
- Conseguir valores razoáveis de fluxos nos *links* e identificar os *links* com maior congestionamento.

### II. Secundários:

- Estimar os percursos utilizados entre cada par de origem – destino;
- Analisar que pares O-D utilizam links, rotas ou percursos particulares;
- Obter os fluxos de veículos que realizam giros para desenhar futuras interseções.

A premissa básica para ter em conta na alocação, é a hipótese de que o indivíduo é um usuário racional, que escolhe o percurso percebendo custos individuais mais baixos. Na hora de realizar uma alocação, não é fácil representar todos estes fatores em um modelo, sendo necessário realizar aproximações. As aproximações mais comuns são: o tempo e o custo monetário (Ortuzar, 2008). Cada método de alocação contém várias fases, as quais tem que ser tratadas sequencialmente. As fundamentais são:

- ### I. Identificar um conjunto de percursos que podem ser atrativos para os usuários (Construção da árvore);

- II. Alocar um porcentual apropriado da matriz de viagens nas árvores (assim determinam os fluxos nos *links*);
- III. Investigar a convergência; muitas técnicas seguem um procedimento iterativo de sucessivas aproximações à solução ideal.

A Figura 4-2, apresenta as principais técnicas de alocação de tráfego segundo duas variações: considerando efeitos estocásticos ou considerando restrição de capacidade. A seguir serão descritos cada um dos modelos de alocação de tráfego apresentados na Figura 4-2.

		Considera efeitos estocásticos	
		Não	Sim
Considera restrição de Capacidade	Sim	Equilíbrio do Usuário	Equilíbrio Estocástico do Usuário
	Não	Todo ou Nada	Estocástico Puro

Figura 4-2: Principais técnicas de alocação de tráfego  
 Fonte: Ortuzar (2008)

#### 4.2.1 Modelo de alocação “todo ou nada”

Este é o modelo de alocação de tráfego mais simples. O modelo supõe que não existem congestionamentos, os motoristas consideram os mesmos atributos mencionados anteriormente. A ausência de congestionamentos significa que os custos dos links são fixos, por enquanto a suposição de que todos os usuários percebem o custo da mesma maneira, significa que todos motoristas com percursos entre  $i$  e  $j$  devem escolher o mesmo percurso  $i$  e  $j$  (Ortuzar, 2008).

#### 4.2.2 Modelos de alocação por métodos estocásticos

Os métodos estocásticos para alocação de tráfego, tem como manifesto a variabilidade por parte dos usuários da percepção dos custos e tentar minimizar a distancia, tempo de viagem, e

custos generalizados (Ortuzar, 2008). Dos diversos métodos propostos só dois são realmente aceitos: o método baseado na simulação e os baseados em proporções.

- I. Método baseado na simulação: Utilizam os resultados da simulação de Monte Carlo para representar a deferente percepção dos custos que tem os usuários. Destaca se a técnica desenvolvida por Burrell (1968 *apud* Ortuzar, 2008).
- II. Método baseado em proporções: Alocam fluxos às diferentes rotas alternativas de percursos com proporções calculadas utilizando expressões tipo *logit*.

#### 4.2.3 Alocação com congestionamento

Descartando os efeitos estocásticos e concentra atenção nas restrições de capacidade, podem realizar se outros modelos diferentes para alocação de viagens à rede (Ortuzar, 2008).

- I. Equilíbrio do usuário; estes modelos procuram aproximar o estado de equilíbrio de Wardrop (1952 *apud* Ortuzar, 2008), “*Baixo condições de equilíbrio, o tráfego se distribui nas redes congestionadas de modo tal que nenhum viajante pode reduzir seu próprio custo de viagem trocando de percurso*”. Se todos os viajantes percebem o mesmo custo da mesma forma (sem nenhum efeito estocástico), o equilíbrio de Wardrop pode enunciar: “*Baixo condições de equilíbrio, o tráfego se distribui nas redes congestionadas de modo tal que todos os percursos utilizados entre um par O-D tem o mesmo e mínimo custo por enquanto todos os percursos não utilizados tem custos mais altos o iguais*”.
- II. Métodos de adaptação de velocidade; consiste em recalcular os tempos de viagem nos *links* depois de uma alocação tudo ou nada, para assim conseguir que sejam coerentes os custos com os níveis de fluxo. Utilizando os novos custos e níveis de fluxo.
- III. Método incremental; consiste em dividir a matriz de demanda sob uma base percentual em varias matrizes parciais, onde as matrizes parciais são logo sucessivamente alocadas na rede. A procura de rota considera que a impedância resulta a partir do volume de tráfego do anterior passo. A técnica incremental apresenta a desvantagem se em uma iteração inicial aloca demasiado fluxo em um *link* de baixa capacidade , as condições de equilíbrio de Wardrop não são conseguidas e o algoritmo não converge para uma solução correta (Ortuzar, 2008). Segundo Ortuzar (2008), apresenta duas vantagens neste método de alocação: primeiro a alocação incremental é muito simples

de programar, e segundo, seus resultados podem ser interpretados como uma acumulação de congestionamentos no período pico.

#### 4.2.4 *Alocação equilíbrio estocástico do usuário*

A alocação de equilíbrio estocástico do usuário, leva em conta que os usuários não tem perfeito conhecimento do sistema, é uma alocação mais realista. Alocação de equilíbrio estocástico do usuário considera o uso de rotas que, visivelmente, não seriam utilizadas. Acontece pela variabilidade na percepção do custo de cada rota e também a que ocorre por causa dos efeitos de restrição de capacidade.

#### 4.2.5 *Modelos de alocação do transporte público*

Os problemas para modelagem na escolha de rota e alocação de viagens na rede de transporte público são mais difíceis que os encontrados na alocação do transporte privado (Ortuzar, 2008). As dificuldades de modelagem no transporte público, conjuntamente com o baixo perfil que caracteriza as políticas de transporte público no passado, determinaram reduções no investimento para pesquisas na modalidade do transporte público (Ortuzar, 2008).

##### 4.2.5.1 *Características da alocação do transporte público*

As características da alocação do transporte público pode se resumir em cinco itens: a oferta, os passageiros, os custos monetários, definição do custo generalizado e o problema das linhas comuns (Ortuzar, 2008).

- I. A oferta: a rede de transporte público é diferente do transporte privado, incluindo como arcos, seções dos serviços de ônibus ou trens que trafegam entre duas paradas ou estações. O conceito de capacidade do *link* é associado à capacidade de cada unidade (ônibus ou trem) e sua respectiva frequência. Além disso, o tempo de viagem tem umas componentes a mais: Tempo de abordagem, tempo de espera nas estações ou paradas e tempo de caminhada.
- II. Os passageiros: no transporte público a escolha do percurso refere aos passageiros e não veículos.
- III. Custos monetários: são representados pelas diferentes tarifas de serviços do transporte público.

- IV. Definição de custo generalizado: este custo é tipicamente definido por uma função linear de atributos de viagem, medidos por coeficientes que definam a relativa importância dada a esses atributos pelo usuário.
- V. O problema das linhas comuns: este é um dos problemas mais difíceis e típicos na alocação do transporte público. O problema existe quando em pares O-D trafega paralelamente mais de um serviço, onde o passageiro pode escolher o serviço que brinde maior utilidade.

#### 4.2.5.2 Modelos de escolha de rota no transporte

Durante muitos anos a escolha da rota que minimiza o tempo de viagem no transporte público tem sido aproximação convencional ao problema. Segundo Ortuzar (2008), cada nó pode determinar uma série de linhas atrativas, que seriam parte de uma boa estratégia para alcançar um determinado destino  $j$  e pode seguir o seguinte mecanismo:

- I. Situar o viajante no nó  $i$  de origem;
- II. Abordagem do primeiro ônibus que chega e que pertence à série de linhas atrativas;
- III. Descer em um nó determinado;
- IV. Se ainda não é o destino, muda o nó atual pelo nó  $i$  e voltar ao passo II.

Ortuzar (2008) apresenta esta estratégia com as seguintes anotações matemáticas:

$$(4.1)$$

= tempo total de espera para os usuários que tem deslocamentos de  $j$  a  $k$ .

Para encontrar uma ótima estratégia para deslocar se desde todas as origens até um destino pode se escrever assim:

$$\text{Minimizar} \quad (4.2)$$

$$\text{s.a.} \quad (4.3)$$

$$(4.4)$$



Onde,

= Conjunto de seções de linha que conecta diretamente os nó  $i$  e  $j$ ;

= Conjunto de seções de linha em saída (em entrada utiliza - no lugar do +) do nó  $j$ ;

= Fluxo sobre a seção de linha  $s$ ;

= Tempo de viagem no veículo sobre a seção de linha  $s$ ;

= Frequência associada à seção de linha  $s$ ;

= Número de viagens para o destino  $j$ ;

= Fluxos total sobre a seção de rota  $jk$ .

Na função objetivo (4.2) o primeiro termo representa o tempo de viagem no veículo e o segundo o tempo total de espera. Pela não linearidade das restrições (4.3) e (4.4) Spiess (1983 *apud* Ortuzar, 2008) comprovou que as restrições podem ser da seguinte maneira:

(4.5)

Pode se introduzir a restrição (4.4) na (4.2).

Minimizar \_\_\_\_\_ (4.6)

A função objetivo (4.6) sujeita a equação (4.3), gera um problema de programação hiperbólica. Este apresenta duas aproximações: a primeira proposta por Spiess e Florian (1989 *apud* Ortuzar, 2008), utiliza a programação linear. A segunda proposta por De Cea e Fernández (1989 *apud* Ortuzar, 2008) utiliza uma formulação de programação hiperbólica, não linear.

#### 4.2.6 *Modelo de alocação de transporte público baseado no Headway*

O item descreve o modelo de alocação para o desenvolvimento do trabalho utilizado na ferramenta computacional, facilitando o processamento dos dados. O procedimento de alocação baseado no *Headway*, cada linha é descrita por uma rota, os tempos entre paradas da linha e o *Headway*. A tabela de tempos das viagens de serviço individuais não é considerada,

os tempos de espera por transferência são geralmente considerados globais, o que significa que as saídas das diferentes linhas são independentes uns dos outros. O procedimento de Alocação baseado no *Headway* inclui as três fases operacionais.

- I. Cálculo de *Headway*;
- II. Pesquisa e escolha da rota;
- III. Carregamento Rota.

Na primeira fase operacional, o cálculo de *Headway* tem três maneiras para ser calculado: a partir de um atributo de perfil tempo (normalmente definido pelo usuário), a partir do *Headway* médio de acordo com a tabela de tempos e a partir do tempo de espera médio de acordo com a tabela de tempos. Na fase de pesquisa e escolha de rota, os caminhos possíveis entre duas zonas de tráfego são detectados e, simultaneamente, uma distribuição é especificada entre eles. No terceiro passo, as rotas encontradas na pesquisa são carregadas com a demanda a partir da matriz de demanda e armazenadas.

#### 4.2.6.1 Avaliação da Alocação baseado no *Headway*

O processo de alocação baseado no *Headway* é caracterizado pelas seguintes características:

- O procedimento, não apenas determina as rotas ótimas, mas também aquelas que são suficientemente boas. No entanto, o tempo de espera de transferência é global.
- A coordenação das tabelas de tempos é considerada apenas se a coordenação foi modelada de forma explícita.
- O número de transferências, tempo da viagem e o tempo de caminhada, pode ser estimado com precisão suficiente, se todas as linhas têm *headways* curtas.
- Em comparação com o procedimento baseado em tabela de tempos, o procedimento baseado no *Headway* mostra uma redução considerável do tempo de computação para a maioria das redes de transporte público, isto é especialmente o caso das redes com *headways* regulares de tempo fixo.
- Como o processo baseado no *Headway* normalmente não leva a coordenação da tabela de tempos em conta, o procedimento é adequado para o planejamento de transportes públicos nas áreas urbanas, particularmente se o estado atual (tabela de tempos exata está disponível) é para ser comparado com cenários para os quais a tabela de tempo exata não existe. Este procedimento não é adequado para suprir o planejamento do

transporte público em áreas rurais ou para transporte de longa distância, porque nestes casos tem longos *headways*, e é uma tarefa fundamental de planejamento para fornecer conexões.

- O procedimento baseado no *Headway* não pode considerar as tarifas para o cálculo da impedância.

#### 4.2.6.2 *Custos generalizados como impedância*

A procura de rotas e escolha, os caminhos são avaliados pela sua impedância ou custos generalizados, respectivamente.

#### 4.2.6.3 *Modelos de escolha para as decisões de embarque*

Na alocação baseado no *Headway*, é geralmente assumido que os passageiros saibam *headways* de linha e tempos. As informações adicionais são decisivas para o seu comportamento de escolha no momento do embarque ou transferência. A ferramenta computacional utilizada (VISUM) oferece quatro modelos diferentes.

- Nenhuma informação e *headways* exponencialmente distribuídos;
- Nenhuma informação e *headways* constantes;
- Informações sobre o tempo de espera decorrido;
- Informações sobre os horários de partida próximos das linhas da parada.

### 4.3 FUNÇÕES DE DESEMPENHO

A consideração da capacidade do *link* nos métodos de alocação, deve se á ideia de que quanto maior o fluxo, menor é a velocidade do veículo, acrescentando o tempo de viagem no *link* (Dourado, 2007). A relação que tem o custo de viagem em determinado *link* em função de suas características, chama-se de função de desempenho. Segundo Ortuzar (2008), Os métodos de alocação que consideram os efeitos de congestionamento, precisam utilizar funções que relacionam os atributos do *link* (capacidade, velocidade em fluxo livre) e o fluxo da rede com as velocidades ou custos.

Para determinar o custo de um *link*, são utilizadas as funções e curvas de desempenho, estes gráficos avaliam o custo da viagem (normalmente o tempo da viagem) com respeito o fluxo de veículos alocados no *link*.

Branston (1976 *apud* Ortuzar, 2008) descreve problemas práticos que aparecem na hora de calibrar as curvas de desempenho, entre eles:

- Derivados da definição da extensão da área de observação em particular as zonas congestionadas em donde causa efeitos na rede inteira;
- Derivados da hipótese que os atrasos só dependem do fluxo sobre o *link* próprio: essa hipótese, na maior parte das redes urbanas densas, é irreal, constituindo um fato particularmente crítico para estimações das curvas de desempenho.

As curvas mais utilizadas segundo Branston (1976 *apud* Ortuzar, 2008):

- I. Smock (1962 *apud* Ortuzar, 2008) realizou para um estudo de Detroit a curva de desempenho:

$$(4.7)$$

Onde  $t$  é o tempo de viagem por unidade de longitude,  $t_0$  é o tempo de viagem por unidade de longitude em condições de fluxo livre e  $C$  é a capacidade do *link* em condições estacionárias.

- II. Overgaard (1967 *apud* Ortuzar, 2008) generaliza a Equação (4.7) em:

$$(4.8)$$

Onde,  $C_r$  é a capacidade real do arco, e  $\alpha$  e  $\beta$  são parâmetros a calibrar.

- III. *Bureau of Public Road* (1964 *apud* Ortuzar, 2008), Propôs a função que provavelmente a mais utilizada comumente:

$$(4.9)$$

- IV. O departamento de transporte em UK produz um amplo número de curvas para uma grande variedade de tipologias de nível urbano, suburbano e interurbano. A primeira relação Velocidade-Fluxo  $[s(V)]$  (Ortuzar, 2008).

$$\frac{d}{v} = \frac{d}{v_0} + \frac{d}{v_1}$$

Onde,

$v_0$  = Velocidade fluxo livre;

$v_1$  = Velocidade para fluxo igual  $q$  ;

$q$  = è o máximo fluxo que correspondem às condições de fluxo livre e  $d$  é a distancia ou longitude do *link*.

Relação tempo-fluxo [T(V)] resulta:

$$T(V) = \frac{d}{v}$$

#### 4.4 ALOCAÇÃO DINAMICA

Os modelos apresentados anteriormente são modelos de alocação estática de tráfego, onde eles assumem que o tráfego esta em estado estacionário e as variáveis de fluxo não variam com o tempo. Segundo Friedrich *et al.*; (2000), a alocação dinâmica ao contrario da alocação estática, está sujeita a uma demanda de viagens e redes que dependem do tempo e acrescentam a complexidade da analise. Friedrich *et al.*; (2000) apresenta na Figura 4-3 a comparação dos sistemas de alocação.

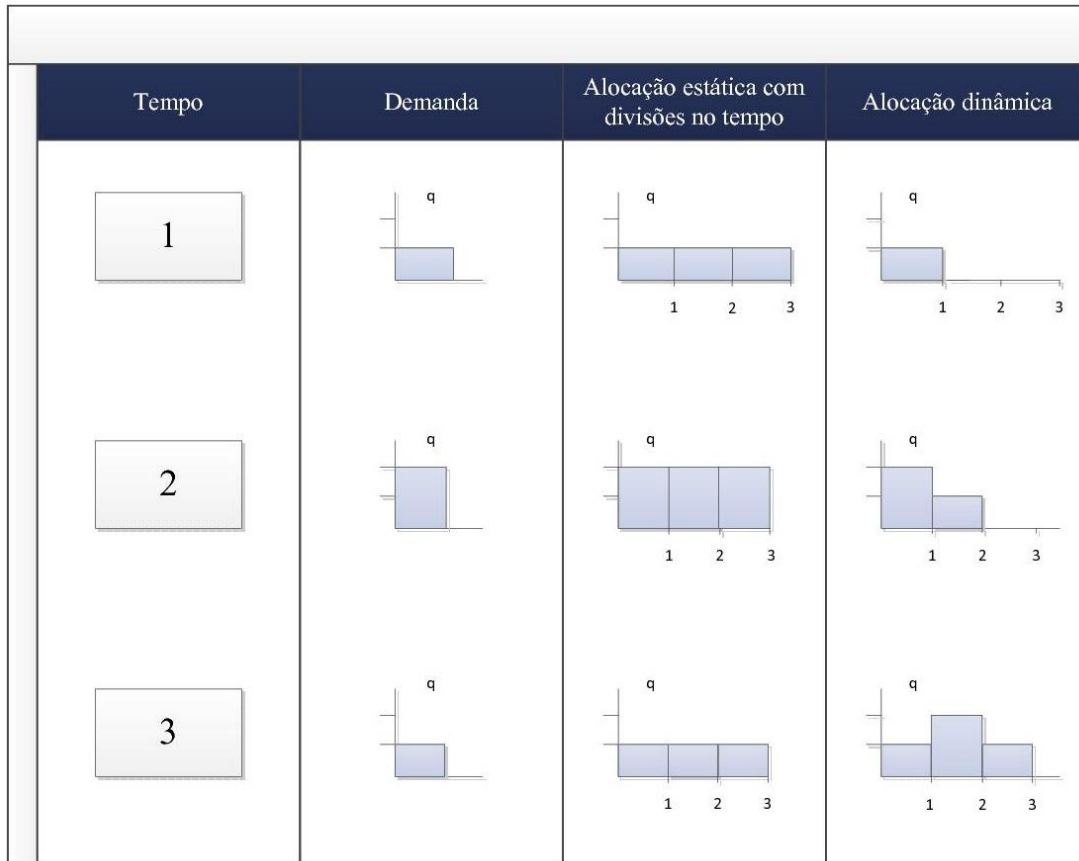


Figura 4-3: Alocação de demanda variável no tempo  
 Fonte: Friedrich *et al.*; (2000)

## 4.5 FERRAMENTA COMPUTACIONAL

A alocação determina uma etapa onde, a criação do modelo precisa de ferramentas computacionais, como os softwares de modelagem de tráfego ITDP (2008). Hoje os modelos de softwares podem facilitar bastante o processo de modelagem e aumentar a precisão. No mercado tem-se grande variedade de softwares, entre eles: MOTORS, EMME 2/3, TRANUS, TRANSCAD, VISUM, NETSIM, MANTRA, SIG, VISSIM (Wright, 2008).

### 4.5.1 Ferramentas na modelação de transporte

Anteriormente falou-se da necessidade da utilização de ferramentas computacionais no desenvolvimento de um estudo de tráfego e transporte. Segundo Wright (2008), os pacotes mais fortes para a proposta geral de um planejamento de corredores BRT são EMME/2, CUBE/Trips, VISUM e TransCAD, oferecendo capacidades aproximadas.

Algumas características das ferramentas utilizadas no planejamento de transporte,

- MOTORS: é um pacote de programas para o planejamento dos sistemas de rede viária e sistemas de transporte público.
- EMME 2/3: Foi desenvolvido pela Universidade de Montreal, onde simula a alocação de todos os passageiros na matriz sob as diferentes rotas e calcula os padrões de viagens dos passageiros.
- TRANUS: Foi elaborado pela Universidade Central de Venezuela e considera o planejamento dos transportes urbanos baseados nas atividades das diferentes zonas da cidade e uso do solo.
- TRANSCAD: é um sistema de informação geográfica utilizado na solução de problemas de transporte que contém um conjunto integrado de algoritmos mais recentes para resolver problemas analíticos no planejamento, coordenação e operação dos transportes urbanos.
- VISSIM: É o acrônimo de Verkehr In StädtenSIMulation que significa em alemão, Simulação de Tráfego em Áreas Urbanas que consiste em um simulador microscópico capaz de modelar a circulação de tráfego automóvel bem como de transportes públicos em redes urbanas e inter-urbanas, possibilitando a análise e otimização do funcionamento de intersecções e das próprias redes.
- VISUM: o acrônimo de Verkehr In StädtenUMlegung que significa em alemão (Tráfego nas cidades - alocação), é um software completo e flexível para o planejamento de transportes desenvolvido para análise multimodal, o VISUM integra todos os meios de transportes relevantes (por exemplo, carro, veículo de carga, ônibus, trem, motocicleta, bicicleta e pedestres) em apenas um modelo consistente de rede. Consegue uma grande variedade de procedimentos para construir modelos diferentes com objetivos diferentes mediante processos iterativos de otimização para realizar alocação. VISUM consegue salvar todas as informações dos processos iterativos depois de uma alocação, como são todas as viagens que pode passar por um *link* entre diferentes pares O-D.

Segundo ITDP (2008) descreve as seguintes opções de software (Tabela 4.1) para modelagem em transporte:

Tabela 4.1 Opções de “software” para modelagem de transportes

SOFTWARE	VENDEDOR	COMENTÁRIOS
EMME/2	INRO Consultants Inc.	Bom para uso geral
CUBE/Trips	Citilabs	Bom para uso geral
TransCAD	Caliper Corporation	Boa integração com GIS, fácil de usar.
VISUM	Ptv/ITC	Bom para uso geral
AMSUN2		Modelo de microsimulação, muito útil para animações de projetos de tráfego.
Paramics	SIAS	Pacote de microsimulação, muito útil para animações de projetos de tráfego.
VISSIM	Ptv	Pacote de microsimulação, boas animações, bom integração com VISUM.
QRS II	AJH Associates	Baixo custo, mas mais fraco em geração de transporte público.
TMODEL	TMODEL Corporation	Baixo custo, mas mais fraco em geração de transporte público.
SATURN	Atkins-ITS	Bom para atribuição de veículos em congestionamentos, mas sem atribuição de transporte público.

Fonte: ITDP (2008)



## **5 DESCRIÇÃO DE PROCEDIMENTO PARA IDENTIFICAR OS IMPACTOS NO DESEMPENHO DE PRODUTIVIDADE**

### **5.1 APRESENTAÇÃO**

Este capítulo descreve a estrutura do procedimento para realizar a identificação dos impactos no desempenho de produtividade das linhas de transporte público urbano. Estes impactos no desempenho de produtividade são devidos a alterações dos atributos básicos de desempenho velocidade média do BRT e *Headway*.

### **5.2 ESTRUTURA GERAL DO PROCEDIMENTO**

#### *5.2.1 Etapa 1- Coleta de Informação*

A primeira etapa consiste na coleta de informação necessária para o desenvolvimento do estudo. As finalidades destas informações são:

- Estimativa de demanda para gerar a matriz de origem – destino (OD), ou obter uma matriz de origem – destino já existente da área de estudo;
- Levantamento da oferta (linhas de transporte público, rota das linhas de transporte público, paradas ou estações, itinerários, etc.) da área de estudo.

#### *5.2.2 Etapa 2- Construção da rede de transporte público urbano*

Segundo a informação coletada de linhas de transporte público urbano (rotas, paradas, estações e informação geral), inicia a construção da rede de transporte público da área de estudo mediante a ferramenta computacional.

#### *5.2.3 Etapa 3- verificação da rede de transporte público urbano*

A etapa três é a verificação da rede de transporte público urbano, elaborada na ferramenta computacional. Consiste na avaliação dos elementos que compõem essa rede, a fim de identificar inconsistências que podem dificultar o procedimento de alocação de viagens. Entre os elementos verificados estão: os *links* e suas características (capacidade, velocidade, etc.); nó (ligações com a rede, verificação de movimentos permitidos); zonas de tráfego (ligação entre zonas de tráfego e sistema de transporte público urbano e sistema transporte individual); entre outras avaliações.

#### 5.2.4 *Etapa 4- Definição de linhas de desejo*

Segundo Campos (2007) para se definir o que deve ser implantado ou melhorado (oferta de transporte), faz-se necessário quantificar a demanda por transporte e saber como a mesma vai se distribuir dentro da área de estudo (linhas de desejo). Germani *et al.* (1973) explica que inicialmente é necessário conhecer os “desejos de deslocamento” da população. Conforme esses autores, a etapa quatro define as linhas de desejo da área de estudo para conhecer os desejos de deslocamentos da população estudada.

#### 5.2.5 *Etapa 5- Calibragem da rede de transporte*

Segundo DNIT (2006), no processo de calibração são realizados testes de consistência para verificar se a rede está representando realmente o sistema de transportes, seja o viário ou o coletivo. De acordo com o anterior, a quinta etapa procura uma função de desempenho para representar a realidade da rede de transporte público da área de estudo.

#### 5.2.6 *Etapa 6- Alocação de viagens do transporte individual*

A alocação de tráfego é o processo pelo qual um dado conjunto de movimentos interzonais é alocado a rotas definidas de um modo de transporte (DNIT, 2006). A sexta etapa conforme o apresentado pelo DNIT, consiste no carregamento e distribuição mediante modelos de alocação os fluxos de viagens do transporte individual na rede elaborada na segunda etapa. A importância desta etapa é a geração dos tempos de viagens e velocidades dos *links* a ser utilizados na alocação de transporte público.

#### 5.2.7 *Etapa 7- Alocação de viagens do transporte público urbano*

Esta etapa vai carregar a rede de transporte público urbano, mediante um modelo de alocação, com base nos tempos de viagens e velocidades dos *links*, gerados na etapa anterior.

#### 5.2.8 *Etapa 8- Identificação das variações no desempenho de produtividade das linhas de transporte público urbano*

Por último, a oitava etapa vai identificar nos resultados as variações no indicador passageiro por quilômetro (pass.km). Este indicador representa o desempenho de produtividade das linhas de transporte público urbano. Estes resultados são produtos de múltiplas alocações, onde as variáveis aleatórias são os atributos básicos de desempenho determinados no estudo.

A estrutura geral do procedimento pode se é apresentada na Figura 5-1.

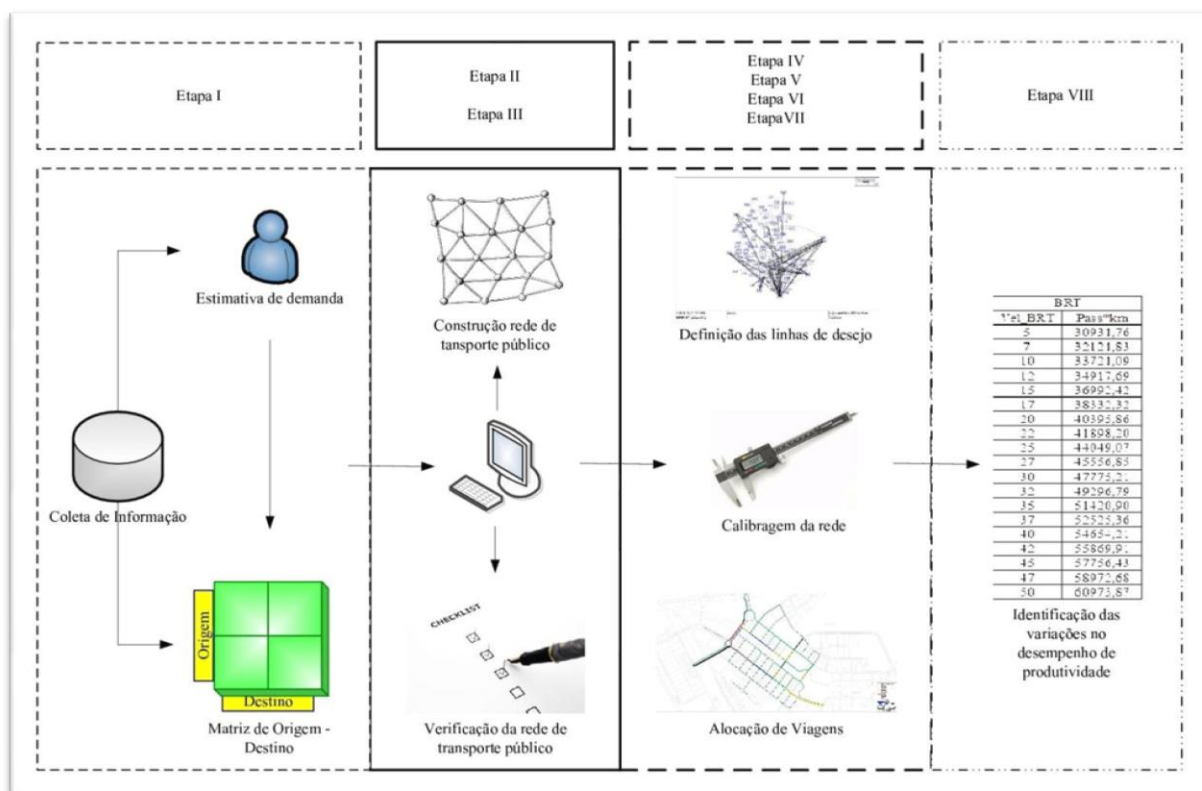


Figura 5-1 Estrutura geral do procedimento

### 5.3 PROCEDIMENTO REALIZADO PARA O DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

Com base na estrutura geral apresentada, serão descritas as etapas realizadas para o desenvolvimento do trabalho. A fim de cumprir os objetivos, a pesquisa vai trabalhar com o indicador passageiros por quilômetro, para o período de máxima demanda. Este indicador vai avaliar o desempenho de produtividade das linhas de ônibus urbanos e o corredor BRT, com respeito às variações da velocidade média do BRT e *Headway*, sendo estes os atributos básicos mais importantes para avaliação de desempenho (Vuchic, 1998 *apud* Almeida, 1999).

#### I. Primeira e segunda etapas

As informações da área de estudo (Hanói – Vietnã) foram fornecidas pela empresa PtvBrasil para o desenvolvimento do trabalho. Essas informações correspondem a primeira e segunda etapa da estrutura geral do procedimento.

#### II. Terceira etapa

Na etapa três foram verificadas as informações coletadas referentes à rede de transporte público da cidade de Hanói. Foram avaliados os elementos que compõe a rede (*links*, nó, zonas

de tráfego, etc.). Esta etapa encontrou inconsistências como: *links* sem capacidade, velocidades iniciais zero, entre outras.

### III. Quarta etapa

Com auxílio da ferramenta computacional (VISUM), foram definidas as 50 principais linhas de desejo dos deslocamentos da população de Hanói. A Figura 5-2 apresenta essas linhas de desejo, identificando as três principais zonas de tráfego (região centro, região nordeste e região sul).

Conforme foi dito, a cidade de Hanói tem três características que dificultam o tráfego da cidade, a primeira é a conformação de uma barreira natural (Rio Vermelho) que divide a cidade; a segunda é o crescimento territorial da cidade na região nordeste, do outro lado do Rio Vermelho (Figura 6-2); e, a terceira refere-se às poucas ligações que comunicam as duas partes da cidade, divididas pelo Rio vermelho.

### IV. Quinta etapa

A rede de Hanói foi calibrada com a função de desempenho de *Bureau of Public Roads* (BPR), descrita no capítulo 4. Os parâmetros da função BPR foram calibrados mediante dados da cidade, para verificar se a rede de Hanói representa realmente o sistema de transporte. Os parâmetros encontrados e utilizados na função de desempenho são:  $\alpha = 0,48$  e  $\beta = 2,4$ .

### V. Sexta etapa

Para o desenvolvimento do estudo, a sexta etapa constou no processo de alocação (método incremental) do transporte individual. O processo é composto por 15 sequências para alocação dos fluxos dos modos (caminhão, motos, bicicleta, e carro), e geração de informações iniciais para a seguinte etapa. Estas sequências são:

- i. Início de alocação (*Init assignment*): esta sequência elimina todas as informações de alocações anteriores, para dar início a um novo processo de alocação.
- ii. Alocação de transporte individual (*PrT assignment*): esta sequência realiza a alocação, por meio do método incremental para o modo caminhão. O método divide a matriz de demanda do modo caminhão sob uma base percentual em várias matrizes parciais. Os percentuais das matrizes parciais são (10%, 10%, 10%, 10%, 10%, 10%, 10%, 10%, 5%; 5%; 5%; 5%)

- iii. Edição de atributo (*Edit attribute*): esta sequência edita o atributo de velocidade inicial nos *links* que conformam a rede de transporte, pelo resultado da função de desempenho da alocação anterior. Esta nova velocidade será a informação de entrada para a seguinte sequência.
- iv. Alocação de transporte individual (*PrT assignment*): esta sequência realiza o mesmo procedimento do item ii, mudando o modo (moto) e os percentuais para a divisão da matriz (33%, 33%, 34%).
- v. Edição de atributo (*Edit attribute*): esta sequência novamente edita o atributo de velocidade inicial nos *links*, pelo resultado da função de desempenho da alocação anterior. Esta nova velocidade será a informação de entrada para a seguinte sequência.
- vi. Alocação de transporte individual (*PrT assignment*): esta sequência realiza o mesmo procedimento do item ii mudando o modo (bicicleta) e os percentuais para a divisão da matriz (33%, 33%, 34%).
- vii. Edição de atributo (*Edit attribute*): esta sequência novamente edita o atributo de velocidade inicial nos *links*, pelo resultado da função de desempenho da alocação anterior. Esta nova velocidade será a informação de entrada para a seguinte sequência.
- viii. Alocação de transporte individual (*PrT assignment*): esta sequência realiza o mesmo procedimento do item ii, mudando para o modo (carro) e os percentuais para a divisão da matriz (33%, 33%, 34%).
- ix. Inicialização de filtros (*Initialize all filter settings*): esta sequência desativa todos os filtros executados durante procedimentos anteriores.
- x. Edição de atributo (*Edit attribute*): esta sequência novamente edita o atributo de velocidade inicial nos *links*, pelo resultado da função de desempenho da alocação anterior. Esta nova velocidade será a informação de entrada para a seguinte sequência.
- xi. Edição de atributo (*Edit attribute*): Esta sequência calcula o tempo de percurso do corredor BRT nos *links*.
- xii. Edição de atributo (*Edit attribute*): esta sequência edita o atributo de velocidade inicial nos *links*, pelo resultado da função de desempenho da alocação da sequência (viii), e associa a velocidade do ônibus tradicional à velocidade do *link* em que esses se encontram.
- xiii. Edição de atributo (*Edit attribute*): Esta sequência calcula o tempo de percurso das linhas de ônibus urbanos nos *links*.
- xiv. Ativação de filtros (*Read filter*): A sequência ativa o filtro para só visualizar os *links* que conformam o corredor do sistema de transporte público tipo BRT a ser estudado.

- xv. Alocação de transporte público (*PuT assignment*): Esta sequência é a mais importante para o estudo, a qual vai realizar alocação para o transporte público urbano. Esta sequência será descrita na sétima etapa.

## VI. Sétima etapa

O processo para alocação do transporte público urbano, utiliza o método baseado no *Headway*. O método, como foi descrito no capítulo quatro, inclui três fases operacionais. A primeira fase é o cálculo do *Headway*, que para objetivos do estudo, foi parametrizado para ser um dado predefinido no estudo dentro do perfil de tempo (*time profiles*), das linhas de ônibus urbanos e do corredor BRT. A segunda fase calcula as escolhas de rotas para dar início a última fase operacional de carregamento das rotas.

A fim de obter as informações para a identificação da variação no indicador de desempenho, as alocações serão realizadas com duas alterações: velocidade média do BRT e *Headway* dos sistemas de transporte público.

- Alteração na velocidade média do BRT. Para este procedimento, foram realizadas 19 diferentes alocações onde o atributo básico de desempenho (*headway*), sendo constante para as linhas de ônibus urbanos e BRT, com um valor de 300 segundos. A diferença das alocações é a velocidade média do BRT (5km/h, 7km/h, 10km/h, 12km/h, 15km/h, 17km/h, 20km/h, 22km/h, 25km/h, 27km/h, 30km/h, 32km/h, 35km/h, 37km/h, 40km/h, 42km/h, 45km/h, 47km/h, 50km/h).
- Alterações no *Headway*. Neste procedimento, foram realizadas 5 diferentes alocações, onde a velocidade média do BRT foi constante (25 km/h). As combinações do *Headway* para as diferentes alocações são (BRT<sub>Headway</sub>-Ônibus<sub>Headway</sub>): BRT<sub>120</sub>-Ônibus<sub>600</sub>, BRT<sub>600</sub>-Ônibus<sub>120</sub>, BRT<sub>300</sub>-Ônibus<sub>300</sub>, BRT<sub>300</sub>-Ônibus<sub>1800</sub>, BRT<sub>600</sub>-Ônibus<sub>1800</sub>.

A sétima etapa gera as informações necessárias para dar início ao processo de identificação das variações no desempenho de produtividade das linhas de ônibus urbanos e o corredor BRT. Este processo será descrito na oitava etapa.

## VII. Oitava etapa

Para o desenvolvimento da pesquisa e processamento de dados, o estudo considerou todas as linhas de ônibus urbanos e o corredor BRT. Com tudo, a análise dos resultados apresentada neste estudo, considera apenas três linhas de transporte público (duas linhas de ônibus urbanos, denominadas BUS11, BUS27 e o corredor de BRT). O procedimento até a sétima etapa, identifica as variações da relação do indicador passageiro por quilômetro das linhas de ônibus urbanos (BUS11, BUS27) e o corredor BRT, com respeito alterações nos atributos básicos de desempenho.

A oitava e última etapa vai quantificar a variação do desempenho de produtividade das linhas de ônibus urbanos e o corredor BRT. Consiste em quantificar a variação do desempenho de produtividade com relação aos atributos básicos de desempenho (velocidade média do BRT e *headway*), mediante as regressões, utilizando a função linear da forma:

$$(5.1)$$

Onde,

= Indicador de desempenho de produtividade (passageiros por quilômetro);

= Atributo básico de desempenho;

= Quantidade que a variável não consegue explicar.

$m$  = Variação da relação de com respeito

= Número de informações obtidas na sétima etapa.

O número “ $m$ ” da equação (5.1) é a quantificação da variação do desempenho de produtividade com relação aos atributos básicos de desempenho.

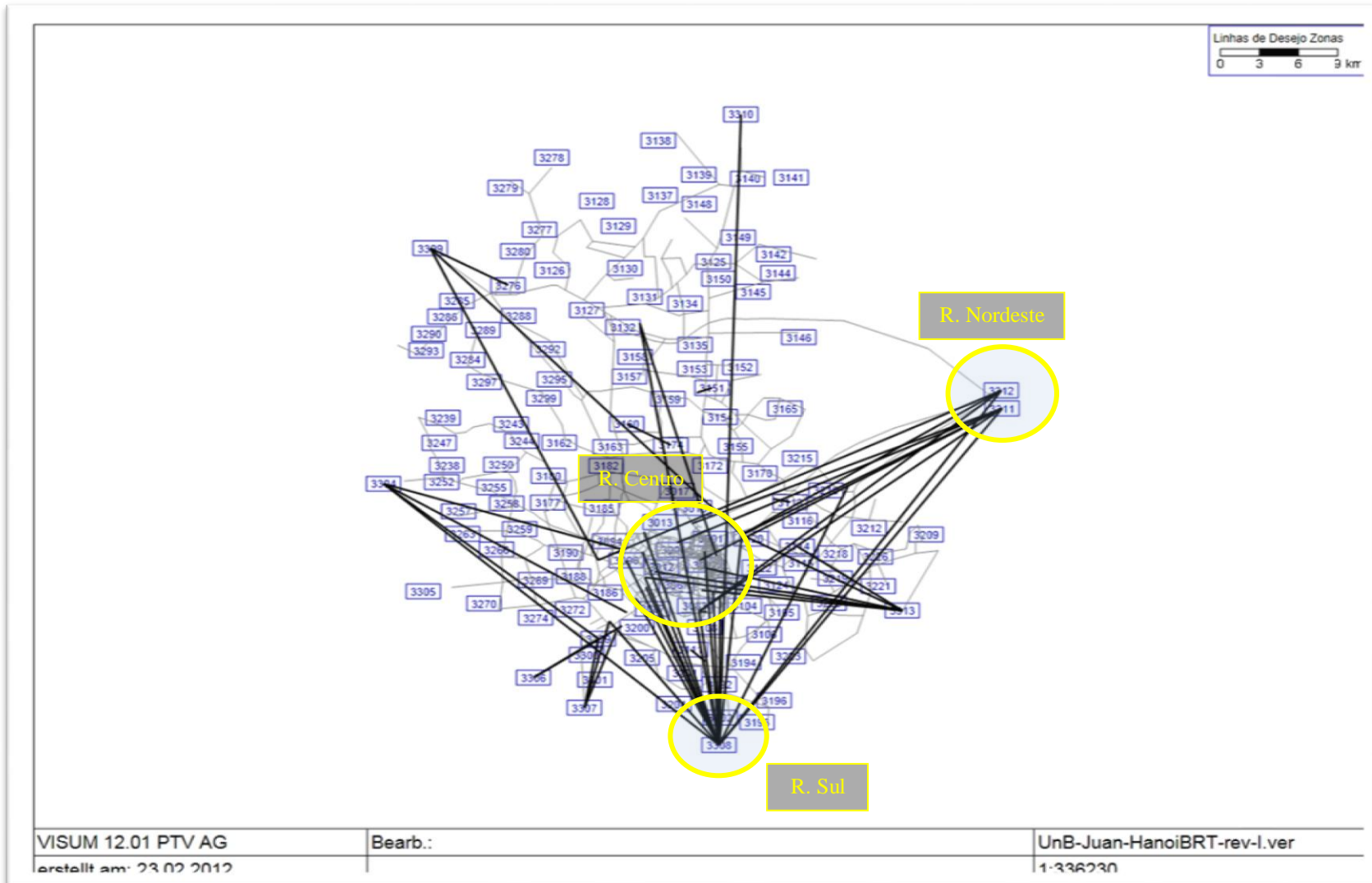


Figura 5-2: 50 principais linhas de desejo entre zonas de tráfego



## 6 ESTUDO DO CASO

### 6.1 APRESENTAÇÃO

O estudo de caso apresentado neste capítulo, será empregado para tentar comprovar o objetivo principal do estudo na cidade de Hanói – Vietnã. É caracterizada a área de estudo, considerando os aspectos mais representativos. O estudo de caso foi realizado em Hanói, em função da facilidade do acesso às informações necessárias, que foram fornecidas pela PtvBrasil.

### 6.2 CARACTERÍSTICAS DA CIDADE HANOÍ

Hanói, capital do Vietnã, situa-se na região norte do delta do Rio Vermelho. A cidade era conhecida como *Thang Long*, no qual, no ano 1831, mudou para Hanói, que significa "cidade dentro do rio". Hanói é a segunda maior cidade do Vietnã, com uma área total de 3.344,7 km<sup>2</sup>. Sua população, segundo o censo 2009, era de 6.448.837 habitantes. Cerca de 41% da população residia na área urbana, e o restante (59%) na área rural. A distribuição territorial de Hanói é composta por 29 distritos (10 distritos urbanos, 1 vila e 18 distritos rurais).

Um aspecto importante a ser destacado sobre as características geográficas de Hanói, é que essa cidade é situada entre planícies em regiões de muitos rios e lagoas. Hanói está localizada nas planícies do norte do Vietnã, entre os Rios Vermelho, *Duong, Nhue e Day*, à altitude de 25 metros do nível do mar. Pelas mudanças dos rios em Hanói, o solo é principalmente de aluvião. A Figura 6-1 apresenta o limite da área urbana, lagoas e rio Vermelho da cidade de Hanói.

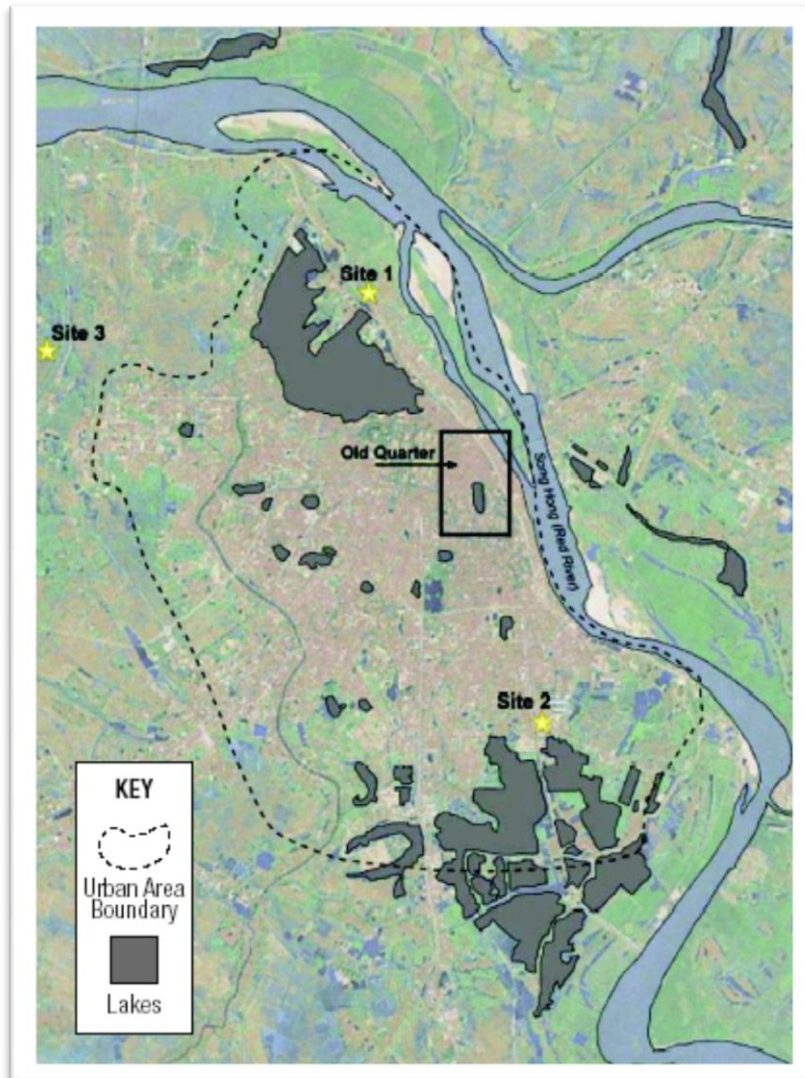


Figura 6-1: Limite da área urbana de Hanói  
 Fonte: Brody Leeet *al.*, (2010)

As principais atividades econômicas de Hanói são do setor industrial, serviços e comércio. O crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) na cidade chegou a 12,52% no período 1991 a 1995; e no período de 1996 a 2000 cresceu 0,86 unidades, para chegar a 13,38%.Duc Uy e Nakagoshi (2007) apresentaram um estudo sobre Hanói, distinguindo as diferentes zonas da cidade (Figura 6-2).

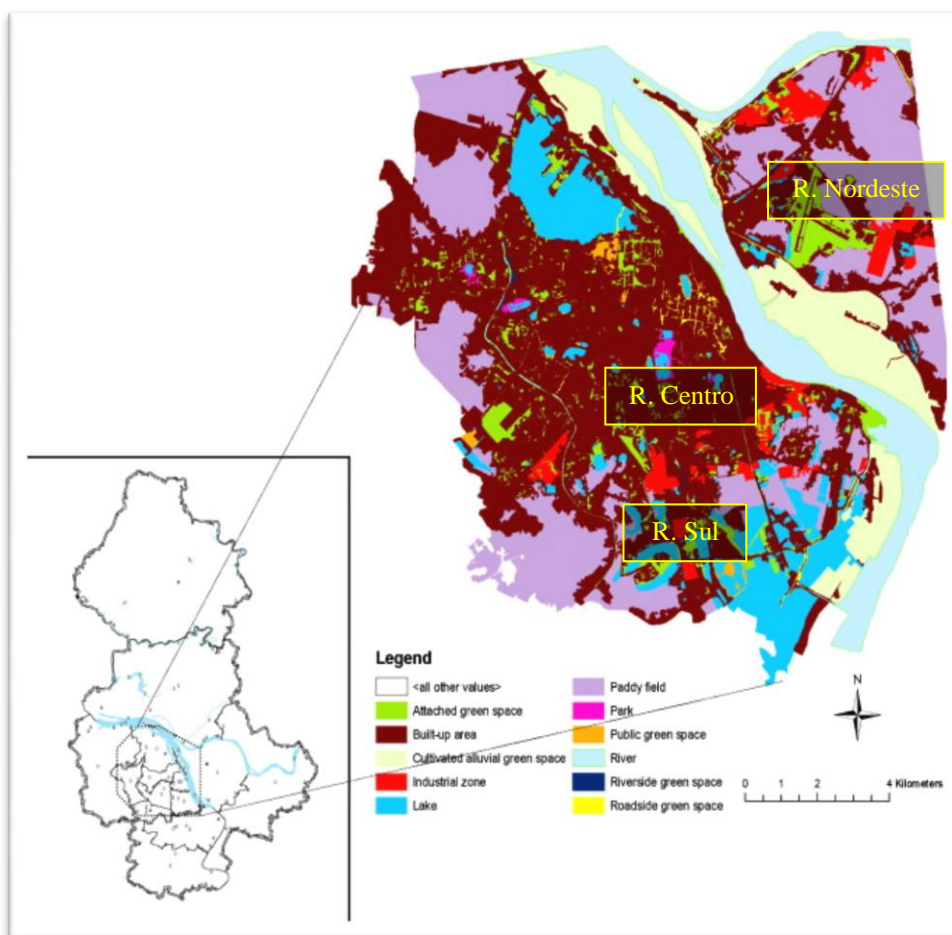


Figura 6-2: Estudo de áreas da cidade de Hanói  
 Fonte: Duc Uy e Nakagoshi; (2007)

A Figura 6-2 apresenta um crescimento da cidade de Hanói na região nordeste, fora do limite da área urbana apresentada na Figura 6-1. O crescimento do nordeste da cidade está conformada por áreas de construção, industrial e espaço verde. Com o crescimento da região nordeste, Hanói apresenta uma barreira natural (Rio Vermelho), que divide a cidade e a rede de transporte atual, dificultando as ligações de tráfego na cidade.

Outra característica de Hanói, é o elevado processo de urbanização, promovido em função da migração de pessoas em procura de trabalho. Além disso, as políticas irracionais de uso do solo resultam no crescimento desordenado da cidade, o que sobrecarrega o sistema de tráfego. Como característica disso, só 25% da demanda de transporte é atendida pelas linhas de ônibus urbanos (Sano *et al.*, 2009).

### 6.3 REDE DE TRÁFEGO ATUAL DA CIDADE HANÓI

Observa-se nas rodovias de Hanói a predominância dos seguintes modos de transporte: automóvel e motos tipo *scooters*, como apresenta a Figura 6-3.



Figura 6-3: Composição veicular em uma interseção em Hanói

Hanói tem uma extensa rede de linhas de transporte público urbano, mas as motocicletas continuam sendo o meio de transporte mais comum na cidade, por enquanto, para viagens curtas é possível pegar o serviço de mototáxi.

A rede rodoviária tem uma má qualidade com estradas estreitas: 88% das estradas tem uma largura entre 7 e 11 metros, e apenas 12% com larguras maiores de 12 metros. Segundo Sano *et al.*, (2009) o comprimento das ruas urbanas é de 343 quilômetros, centralizando quase todas as viagens no centro da cidade, criando fortes pressões e congestionamentos nas áreas vizinhas.

A cidade de Hanói tem cerca de 352 vagas para bicicletas e estacionamentos. Elas ocupam uma área total autorizada de 1,82 ha. A área urbana tem cerca de 200 vagas para estacionamentos, ocupando uma área de 105.362 m<sup>2</sup> em calçadas e ruas. Hanói tem cerca de 0,45% da área urbana reservada para estacionamentos, o que satisfaz entre 25-30% de exigências de estacionamento (Sano *et al.*, 2009).

No tocante a veículos, Hanói apresenta um crescimento de veículos particulares entre 12% e 15% anual, entre 15% e 16% anual para motocicletas, e baixo crescimento para bicicletas. Apesar do crescimento do número de veículos, a área para o tráfego continua constante, resultando em poluição ambiental e congestionamentos (Sano *et al.*, 2009).

Segundo Sano *et al.*, (2009), em 2006, Hanói tinha 58 linhas de transporte público urbano e 912 ônibus. Os ônibus de transporte público urbanos foram introduzidos a partir de 2004, mobilizando um investimento público de 8,73 milhões de dólares. Em linhas gerais, existem vantagens e desvantagens do sistema de transporte público de Hanói:

#### I. Vantagens

- Criação de conforto e boa impressão para os usuários;
- A tarifa é razoável e flexível, adequada para qualquer usuário;
- A rede de transporte público urbano é distribuída por todos os lugares da cidade de Hanói.

#### II. Desvantagens

- A infraestrutura e tecnologias dos veículos são muito antigas;
- Atualmente, o serviço de ônibus serve apenas 20% da demanda de viagens;
- A socialização de transportes públicos urbanos são implementadas lentamente, e seus efeitos não são bons.

### 6.4 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo selecionada para o alcance do objetivo principal do estudo, é a rede de transporte público urbano da cidade de Hanói, montada no software VISUM. Foi realizada uma modelagem de transporte na cidade de Hanói, para tanto, a área foi dividida em 313 zonas de tráfego e 630 conectores, ligados aos centroides das zonas de tráfego (Figura 6-4). A infraestrutura viária da cidade de Hanói é representada por 1702 nós e 4800 *links* (Figura 6-5) e a oferta representada pela rede de transporte público.

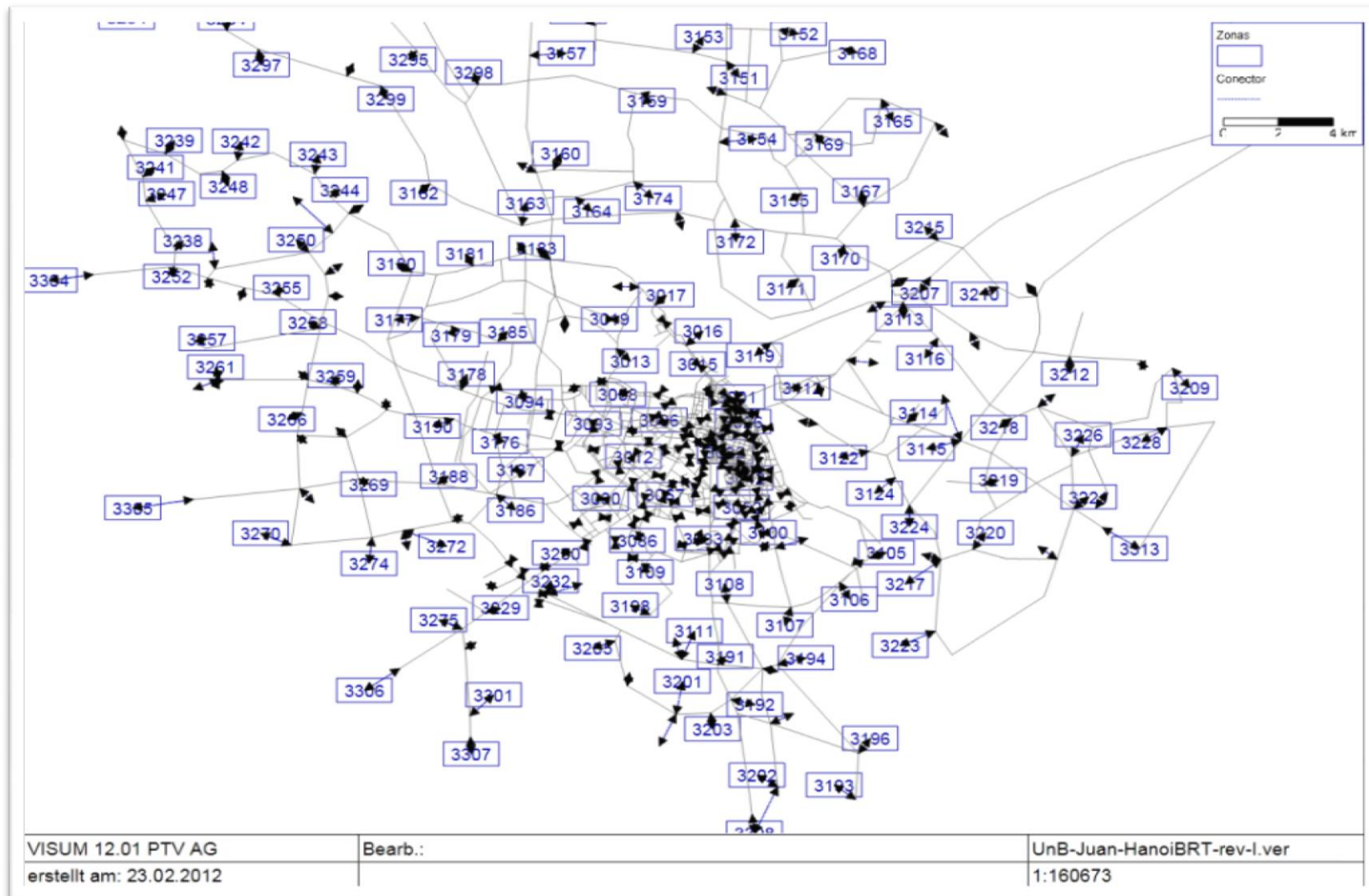


Figura 6-4: Zonas de tráfico que compõem a área de estudo em Hanói (313 zonas)

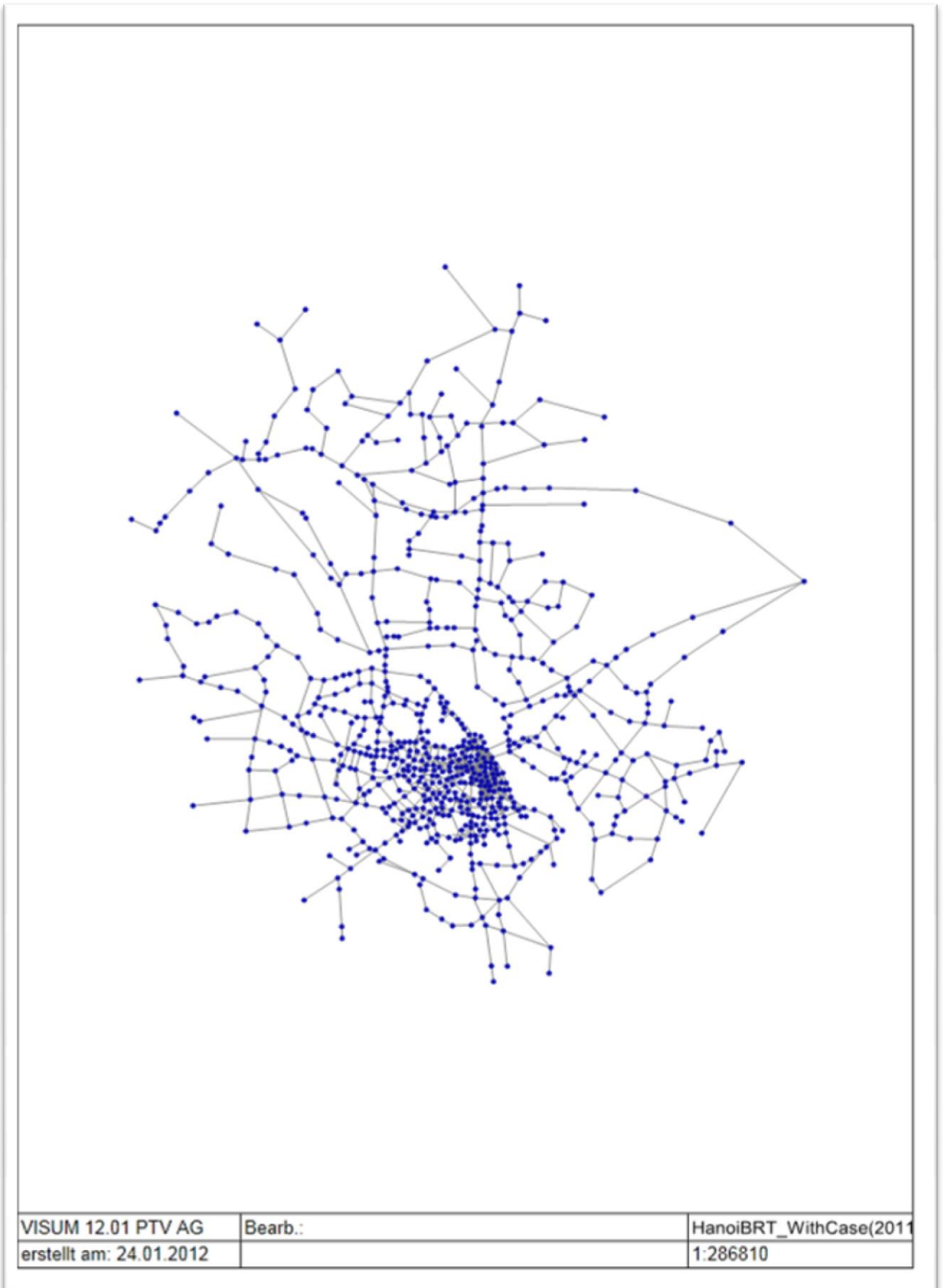


Figura 6-5: Rede de Transporte de Hanói

## 6.5 REDE DE TRANSPORTE PÚBLICO EM HANÓI

A oferta de transporte público da cidade de Hanói é representada pela rede de transporte público urbano, que tem como componentes principais as paradas de ônibus tradicionais, as estações de BRT e as linhas de transporte público. A Figura 6-6 apresenta a localização geral das 142 paradas e estações que formam a rede de transporte público urbano de Hanói. A Figura 6-7 apresenta as 28 estações que conformam o corredor do BRT da cidade de Hanói.

Na rede de Hanói, observa-se as linhas de transporte público urbano, com 60 linhas de ônibus urbanos e o corredor de BRT. Estas linhas de transporte público são apresentadas da Figura 6-8 até Figura 6-13.

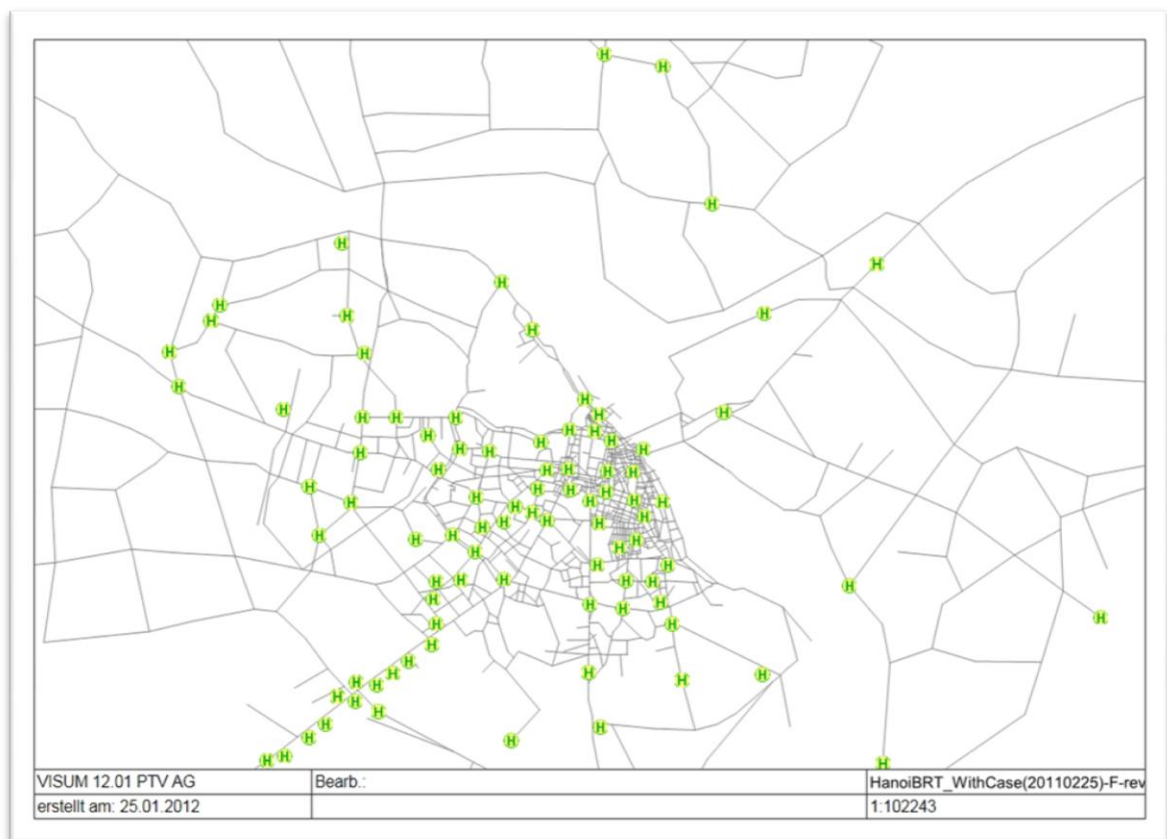


Figura 6-6: Paradas de ônibus tradicionais e estações de BRT da rede geral de transporte público urbano em Hanói



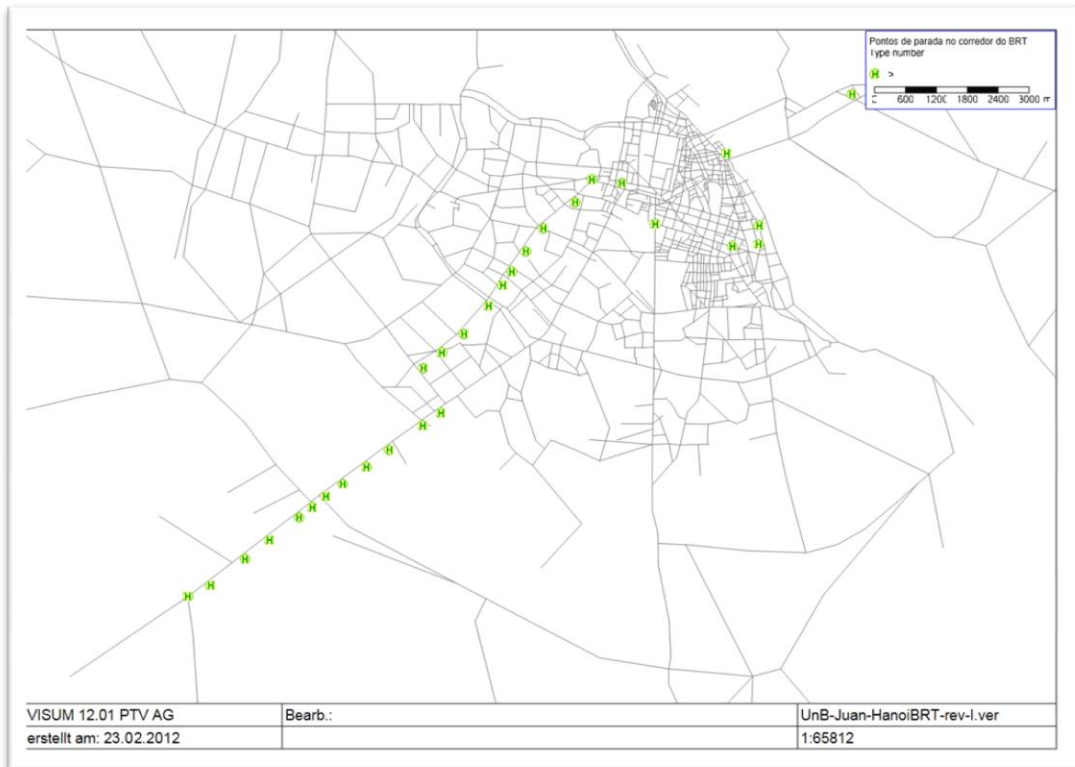


Figura 6-7: Estações do corredor BRT

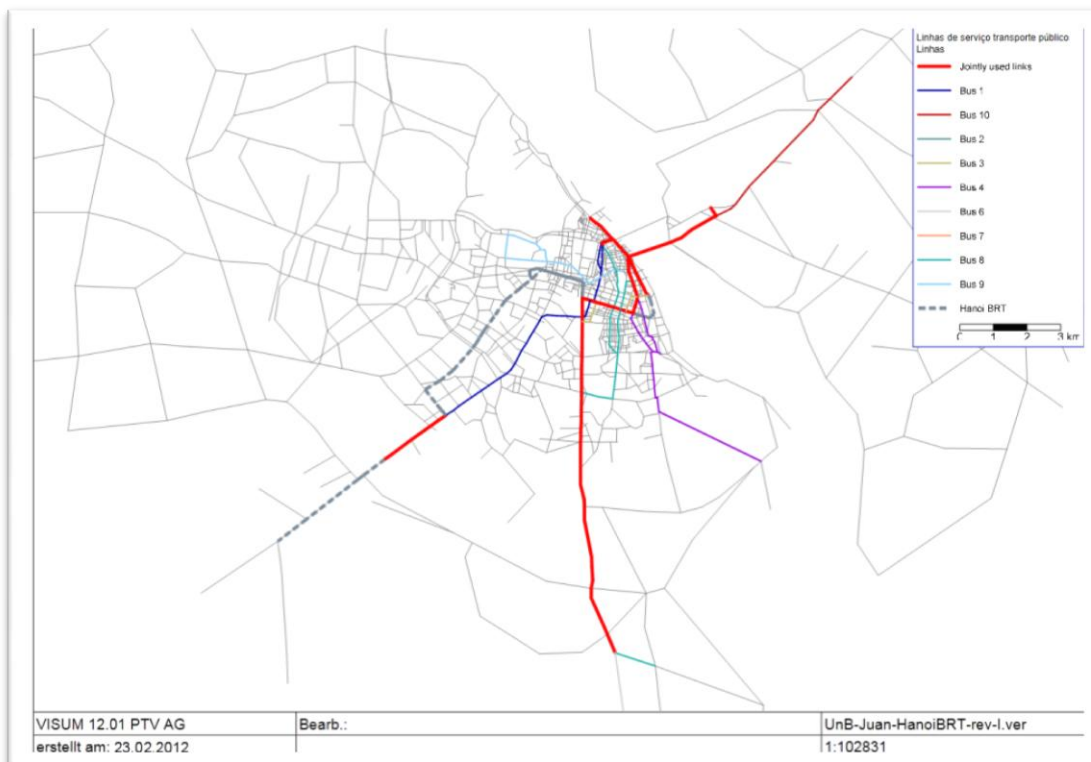


Figura 6-8: Linha do BRT e linhas de ônibus urbanos (BUS1-BUS10)

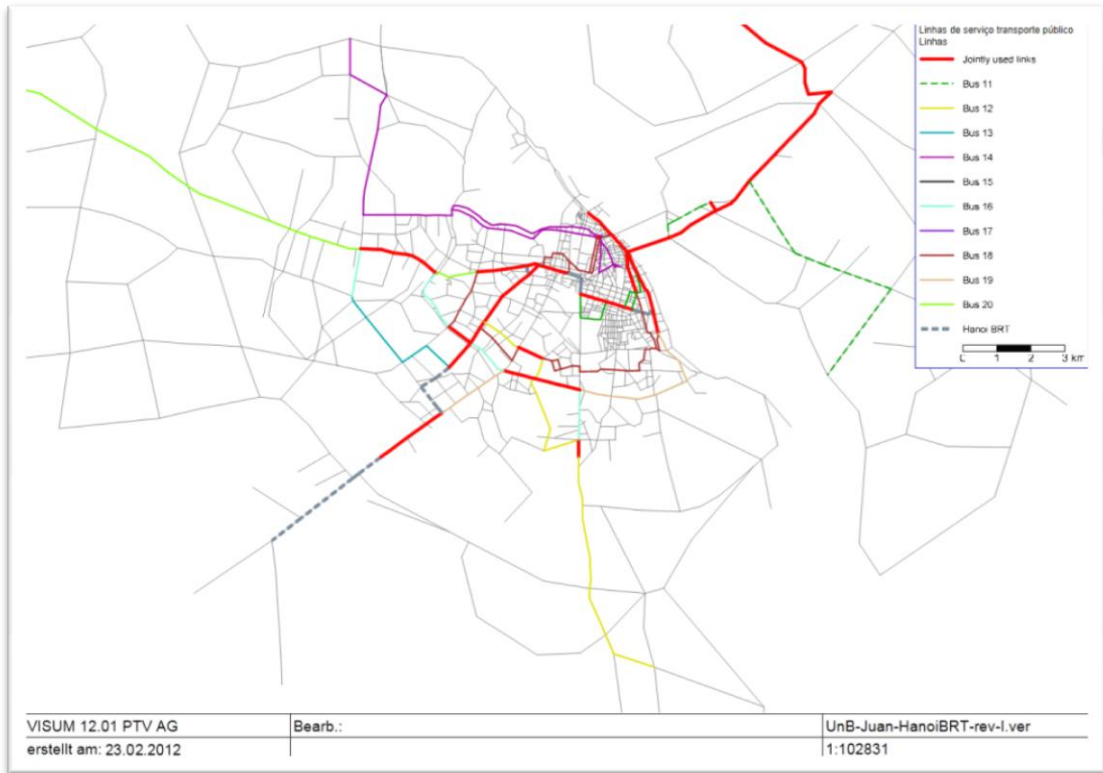


Figura 6-9: Linha do BRT e linhas de ônibus urbanos (BUS11-BUS20)

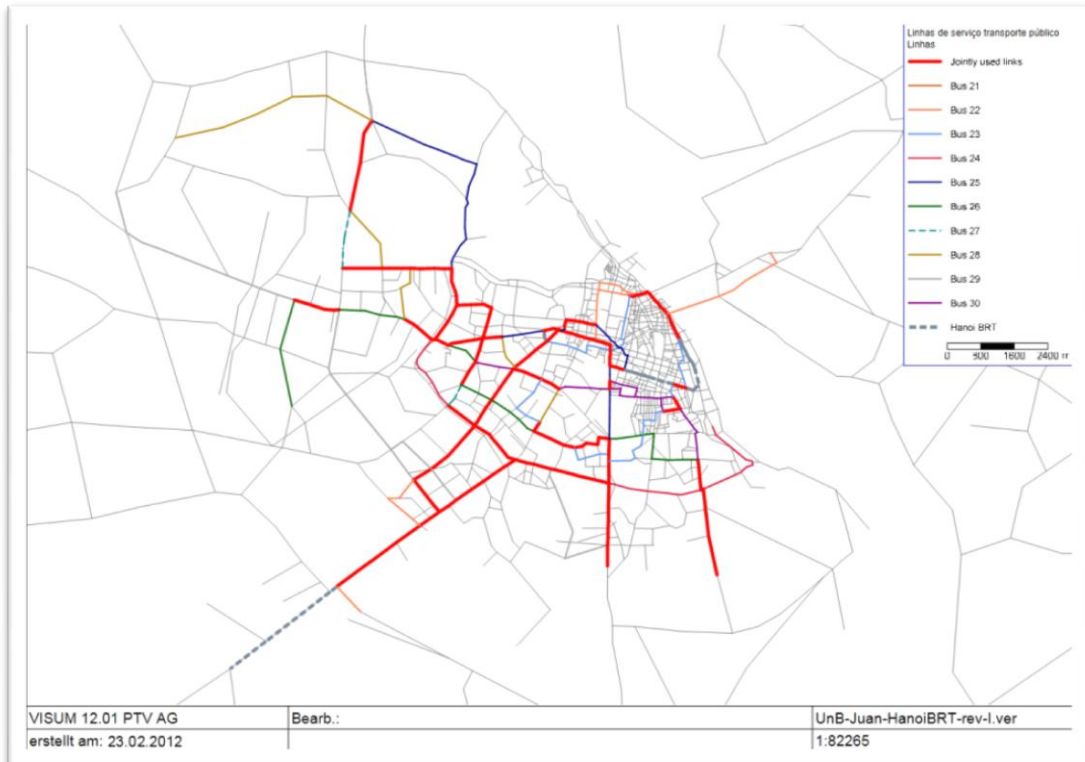


Figura 6-10: Linha do BRT e linhas de ônibus urbanos (BUS21-BUS30)

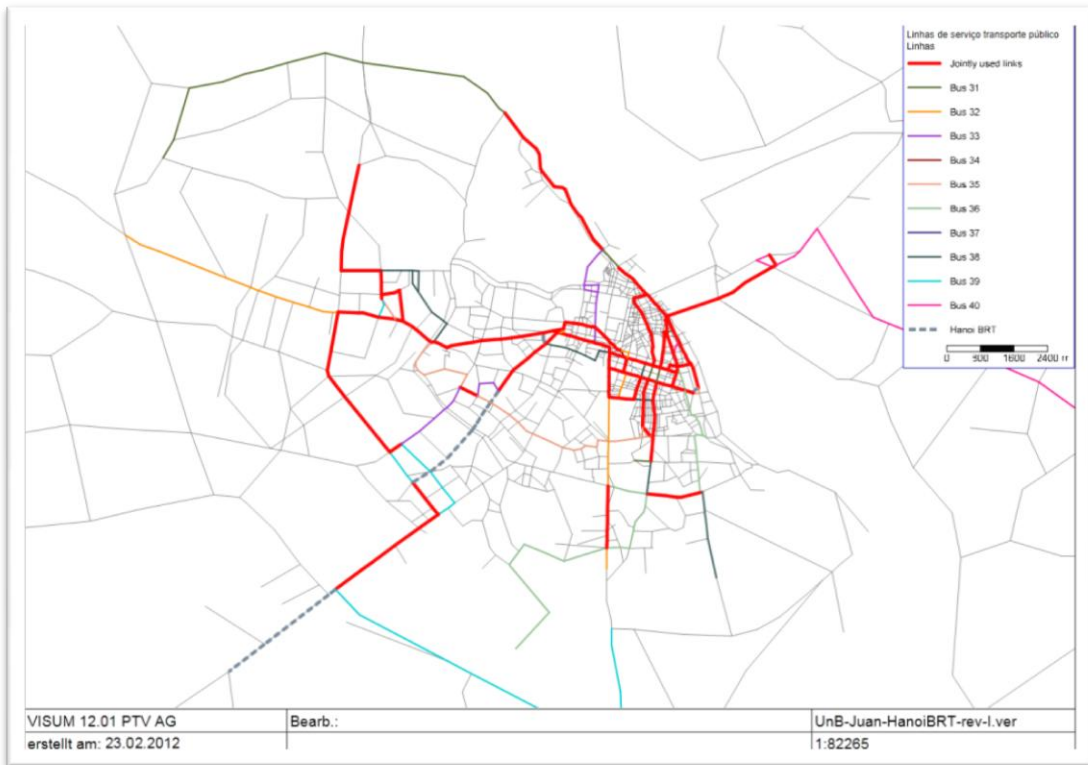


Figura 6-11: Linha do BRT e linhas de ônibus urbanos (BUS31-BUS40)

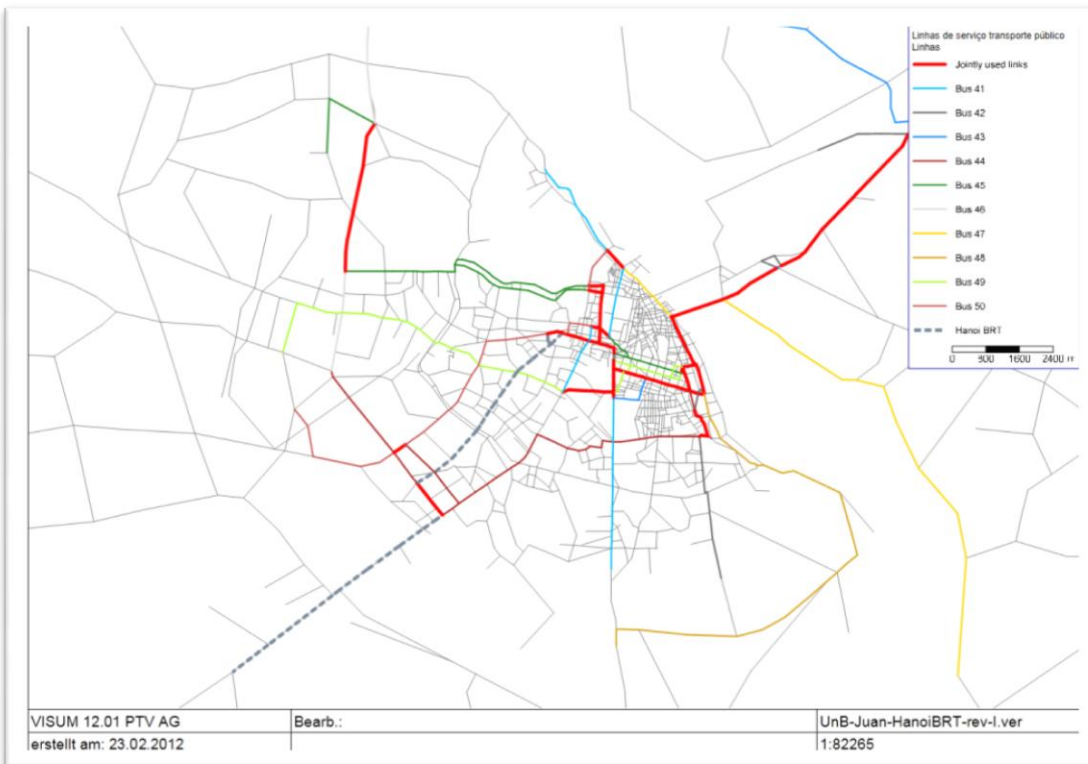


Figura 6-12: Linha do BRT e linhas de ônibus urbanos (BUS41-BUS50)

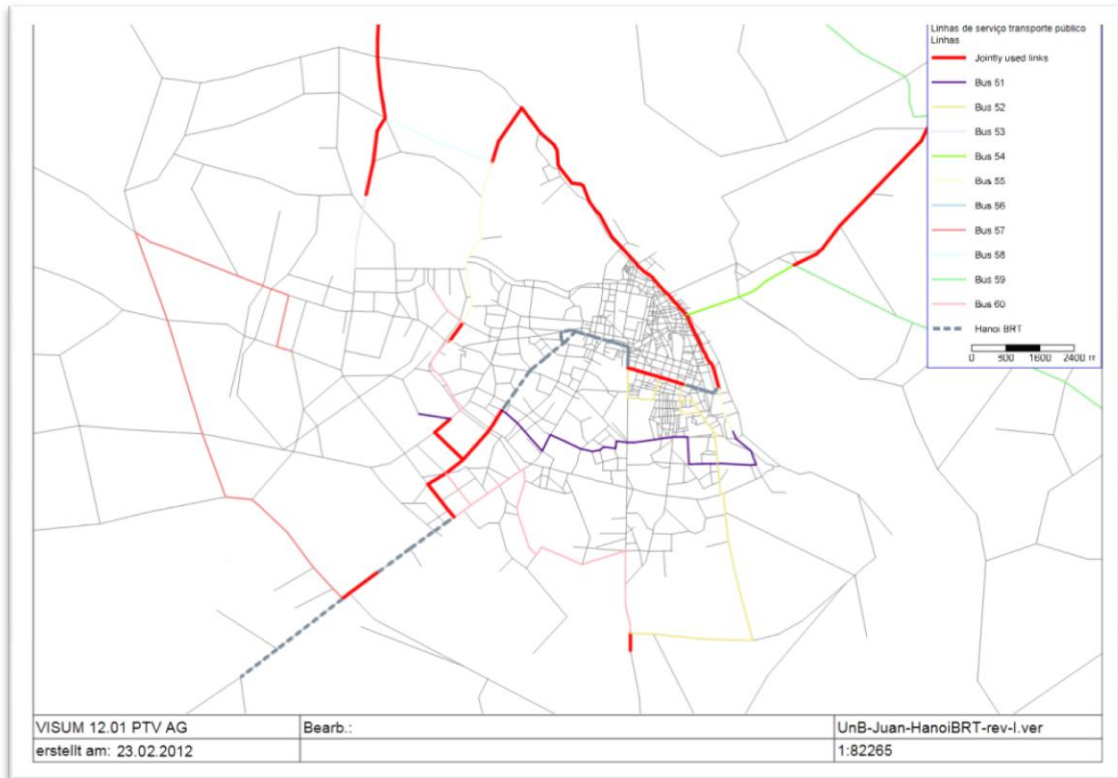


Figura 6-13: Linha do BRT e linhas de ônibus urbanos (BUS51-BUS60)

## 7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 7.1 APRESENTAÇÃO

O sétimo capítulo apresenta os resultados dos procedimentos adotados, na estrutura geral para a obtenção das variações e impacto nos valores do indicador passageiro por quilômetro (pass.km), e a suas respectivas análises. Estes procedimentos foram descritos no capítulo seis detalhadamente.

Este capítulo é dividido em duas seções. A primeira seção aborda os resultados do procedimento, variando o atributo básico de desempenho (velocidade média do BRT). A segunda seção aborda os resultados do procedimento, para as linhas de ônibus urbanos e o corredor BRT, com respeito ao atributo básico de desempenho (*Headway*). A

Figura 7-1 apresenta o fluxo na rede de Hanói nos modos ônibus, BRT e pé, para identificar os corredores de maior demanda.



Figura 7-1 Fluxo geral na rede segundo os modos Bus, BRT e Pé

## 7.2 PASSAGEIROS POR QUILOMETRO COM RELAÇÃO VELOCIDADE MÉDIA DO BRT

Esta primeira seção, como foi mencionado, apresenta os resultados das alocações das seqüências de procedimentos descritos no capítulo 6, para cada uma das alterações das velocidades do BRT. Para a análise dos resultados, foram feitas três tabelas que sintetizam os resultados obtidos. A Tabela 7.1 apresenta os resultados do indicador passageiro por quilômetro, no corredor BRT, para as diferentes velocidades médias do mesmo. A Tabela 7.2 e a Tabela 7.3 apresentam os resultados do indicador passageiro por quilômetro, das linhas de ônibus urbanos (BUS11, BUS27), respectivamente para as diferentes velocidades médias do BRT, no período de análise.

Tabela 7.1 Variações passageiro por quilometro (BRT), com relação à velocidade média do BRT

BRT	
Vel.media_BRT [km/h]	Pass.km
5	30931.76
7	32121.83
10	33721.09
12	34917.69
15	36992.42
17	38332.32
20	40395.86
22	41898.20
25	44049.07
27	45556.85
30	47775.21
32	49296.79
35	51420.90
37	52525.36
40	54654.21
42	55869.91
45	57756.43
47	58972.68
50	60973.87

Tabela 7.2 Variações passageiro por quilometro (BUS11), com relação à velocidade média do BRT

Bus11	
Vel.media_BRT [km/h]	Pass.km
5	2924.31
7	2748.59
10	2906.70
12	3006.65
15	3152.26
17	3222.91
20	3360.97
22	3425.30
25	3520.75
27	3538.12
30	3599.27
32	3628.01
35	3717.16
37	3696.80
40	3775.10
42	3786.79
45	3830.79
47	3866.78
50	3893.83

Tabela 7.3 Variações Passageiro por quilometro (BUS27), com relação à velocidade média do BRT

Bus27	
Vel.media_BRT [km/h]	Pass.km
5	18643.53
7	19140.68
10	18328.66
12	17387.29
15	16761.12
17	16592.32
20	16271.85

22	16088.93
25	15926.23
27	15920.94
30	15728.37
32	15693.05
35	15514.78
37	15415.88
40	15282.79
42	15207.05
45	15040.53
47	14980.03
50	14843.20

As Tabela 7.1, Tabela 7.2 e Tabela 7.3 identificam as variações do desempenho de produtividade, mediante o indicador passageiro por quilômetro do corredor BRT e linhas de ônibus urbanos (BUS11 e BUS27), respectivamente.

Todo o processo até chegar neste ponto cumpre com os dois primeiros objetivos específicos do estudo.

#### 7.2.1 *Quantificação da variação (Impacto) do passageiro por quilômetro do BRT, em relação à velocidade média do BRT*

Os resultados gerados, mediante regressões da análise das informações das variações no desempenho de produtividade, apresentadas na Tabela 7.1, são os seguintes:



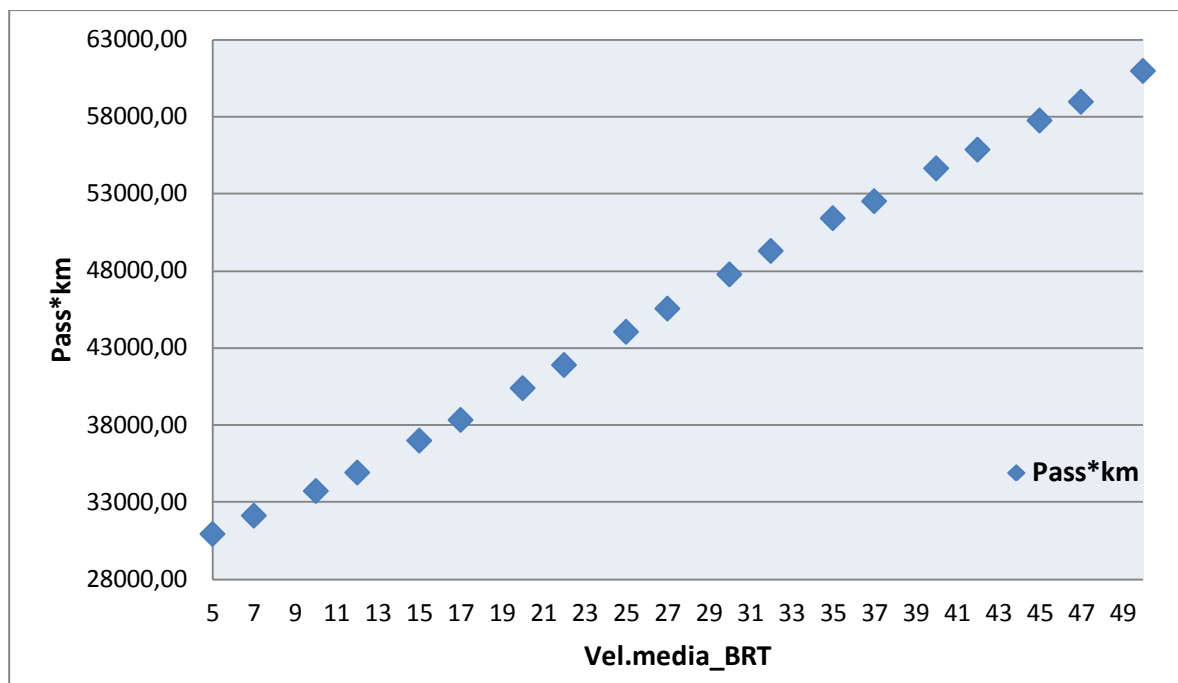


Figura 7-2 Dispersão das variações Pass.km (BRT), em relação à velocidade media do BRT

A Figura 7-2 apresenta a dispersão dos pontos das variações do indicador passageiro por quilômetro da Tabela 7.1. O resultado da regressão determina a seguinte função lineal:

$$Pass.km_{BRT} = 684,81Vel.media\_BRT + 27023 \quad (7.1)$$

Esta função será avaliada de acordo com os resultados da análise estatística gerados nas regressões e apresentados na Tabela 7.4. Estes determinam se a variável é significativa, concluindo com a quantificação da variação no desempenho de produtividade em relação à velocidade media do BRT.

Tabela 7.4 Resultados Estatísticos da função linear para BRT

Estatística de regressão						
R múltiplo		0,99958023				
R-Quadrado		0,99916064				
R-quadrado ajustado		0,99911127				
Erro padrão		287,374935				
Observações		19				
	gl	SQ	MQ	F	F de significação	Fcritico
Regressão	1	1671228549	1671228549	20236,6246	1,36156E-27	<b>6,5891500</b>

Resíduo	17	1403934	82584,3531						
Total	18	1672632483							
	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	Valor-P	95% inf	95% sup	Inf 98,0%	Sup 98,0%	Tcrít
Inter	27022,75	146,87	183,99	1,72156E-29	26712,88	27332,63	26645,74	27399,76	<b>2,898</b>
Vel.med_BRT	684,81	4,81	142,26	1,36156E-27	674,65	694,96	672,45	697,16	

Os resultados da análise estatística do Tabela 7.4 apresentam 19 observações do corredor BRT. As avaliações dependem dos seguintes parâmetros:

- $R^2$ ;
- Sinais da função;
- Teste de significância (T-student e valor F)

O primeiro parâmetro para avaliar a função é o  $R^2$ , segundo a análise, teve um valor de 0,99916064. O valor  $R^2$  varia entre 1 e 0, e é aceito aquele que estiver mais próximo a 1, então avaliação do primeiro parâmetro é aceita. O segundo parâmetro é a consistência dos sinais que conformam a função, neste caso, o sinal que acompanha a variável da velocidade media do BRT é positiva. Quando é acrescentada a velocidade media do BRT, tem um impacto no indicador pass.km. Portanto, pode se aceitar esta segunda avaliação. A terceira, e última avaliação, verifica a significância da variável (velocidade media do BRT) na função. Esta significância é avaliada mediante os testes F e T-student. O resultado para a variável velocidade é:

$$\text{Valor t (142,26)} > \text{t-crítico (2,898)},$$

$$\text{Valor F (20236,6246)} > \text{F-crítico (6,589)}$$

Como os valores são superiores ao crítico nos dois casos, pode se determinar que a variável velocidade mediado BRT na função é significativa. Pode se determinar a quantificação da variação (impacto) do passageiro por quilômetro do BRT, em relação à velocidade media do mesmo é 684,81. Isto quer dizer que, na alteração de mais ou menos um km/h na velocidade media do BRT, tem um impacto de 684,81 passageiros por quilômetro.

7.2.2 *Quantificação da variação (impacto) do indicador passageiros por quilômetro das linhas de ônibus urbanos (BUS11 e BUS 27), em relação à velocidade média do BRT*

Foi realizado o mesmo procedimento que adotado para o corredor BRT, nas duas linhas (Bus11 e Bus27) de ônibus tradicionais.

I. Linha de ônibus (BUS11)

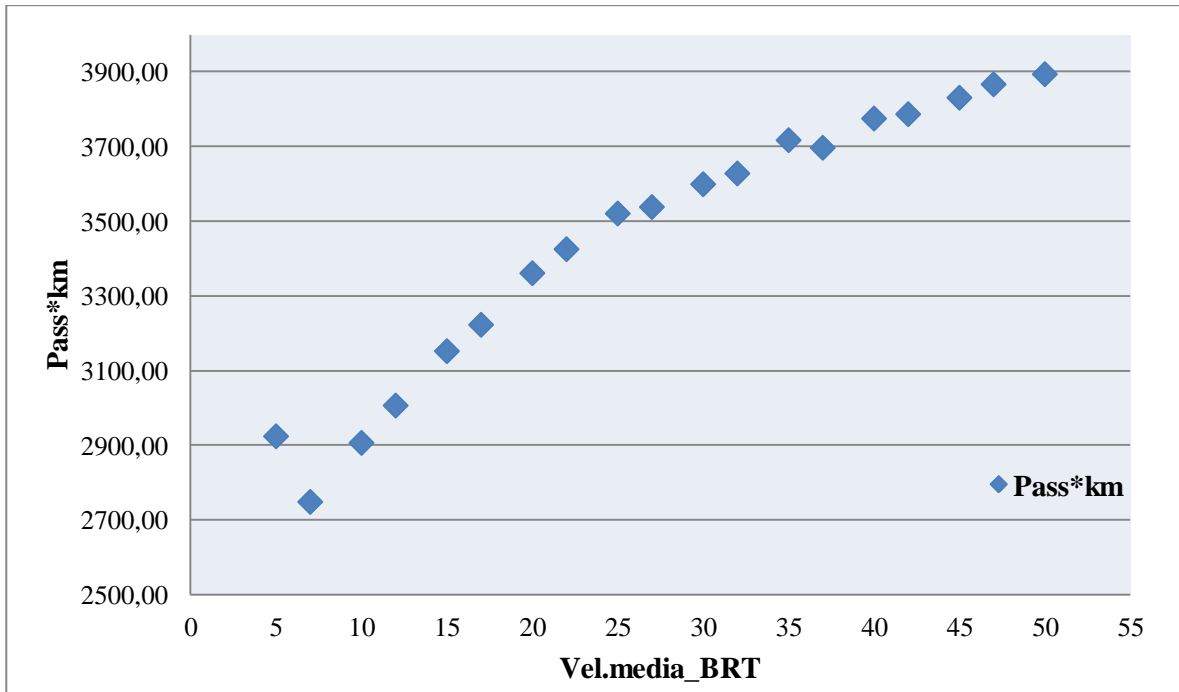


Figura 7-3 Dispersão das variações Pass.km (BUS11) em relação à Velocidade média do BRT

A Figura 7-3 apresenta a dispersão dos pontos das variações do indicador passageiros por quilômetro da Tabela 7.2. O resultado da regressão determina a seguinte função linear:

$$Pass.km_{BUS11} = 24,844Vel.media\_BRT + 2775,4 \quad (7.2)$$

A função será avaliada de acordo com os resultados da análise estatística gerados na regressão e apresentados na Tabela 7.5

Tabela 7.5 Resultados Estatísticos da função linear para Linha BUS11

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,9689963
R-Quadrado	0,93895383

R-quadrado ajustado		0,93536288							
Erro padrão		91,716182							
Observações		19							
	gl	SQ	MQ	F	F de significação		F crítico		
Regressão	1	2199514	2199513,68	261,4777	9,34614E-12		<b>6,58915</b>		
Resíduo	17	143001,6	8411,85804						
Total	18	2342515							
	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%	tcrítico
Interseção	2775,37489	46,87425	59,2089397	3,91E-21	2676,47886	2874,271	2676,479	2874,271	<b>2,88</b>
Vel.med_BR T	24,8435542	1,536372	16,1702735	9,35E-12	21,60209282	28,08502	21,60209	28,08502	

#### Avaliação

- $R^2$ : 0,9689963- OK;
- Sinais da função - OK;
- Teste de significância (T-student e F) - OK

Valor t (16,17) > t- crítico (2,898),

Valor F (261,4777) >F- crítico (6,589)

Pode se determinar a quantificação da variação do passageiro por quilômetro da linha de ônibus urbano (BUS11), em relação à velocidade média do BRT é 24,844 passageiros por quilômetro. Isto quer dizer que, na alteração de mais ou menos um km/h na velocidade media do BRT, tem um impacto de 24,844passageiros por quilômetro. A análise da linha (BUS11) mostrou o benefício no incremento do indicador pass.km, quando as linhas de ônibus urbano servem de serviços complementar ao BRT. Uma alternativa para o corredor BRT, é formar parte de um sistema integrado de transporte (SIT).

- Linha BUS27

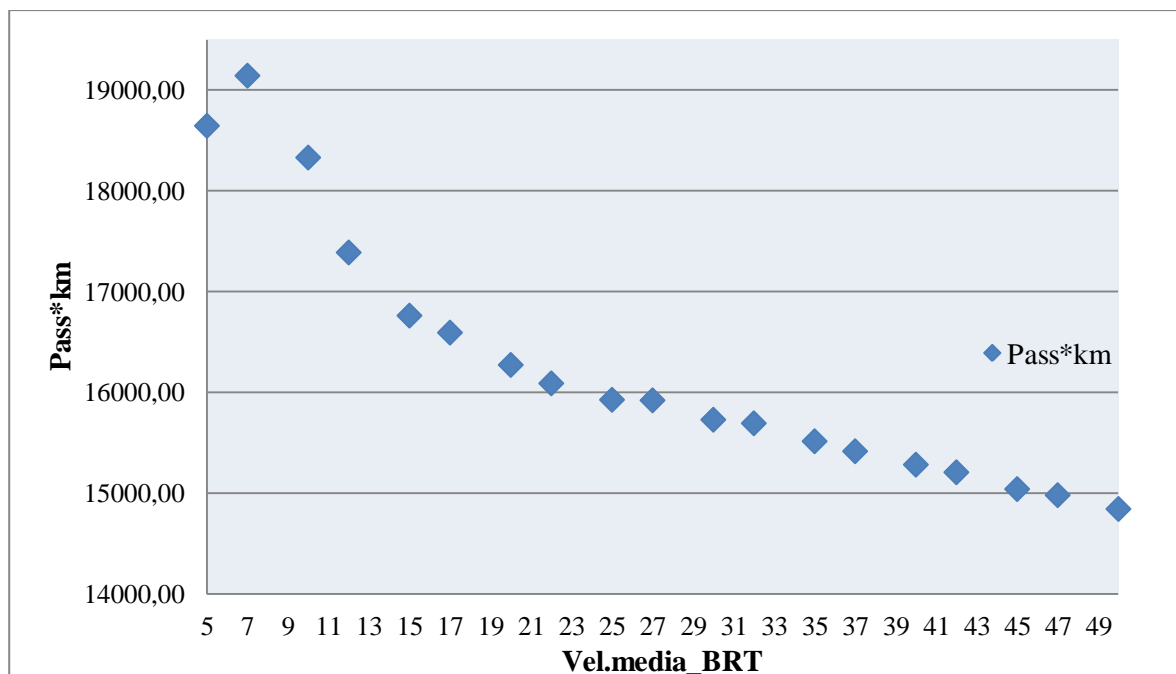


Figura 7-4 Dispersão das variações Pass.km (BUS27) em relação à Velocidade media do BRT

A Figura 7-4 apresenta a dispersão dos pontos das variações do indicador passageiros por quilômetro da Tabela 7.3. O resultado da regressão determina a seguinte função linear:

$$Pass.km_{BUS27} = -83,466Vel.media\_BRT + 18526 \quad (7.3)$$

A função será avaliada de acordo com os resultados da análise estatística gerados na regressão e apresentados na Tabela 7.6

Tabela 7.6 Resultados Estatísticos da função linear para Linha (BUS27)

Estadística de regressão						
R múltiplo		0,9218587				
R-Quadrado		0,8498235				
R-quadrado ajustado		0,8409896				
Erro padrão		508,00775				
Observações		19				
	GI	SQ	MQ	F	F de significação	Fcrítico
Regressão	1	24826557	24826557,29	96,20016516	2,05506E-08	<b>6,58915</b>
Resíduo	17	4387222	258071,878			
Total	18	29213779				

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%	tcrít
Interseção	18526,45	259,6323	71,35648	1,66E-22	17978,67	19074,22	17978,67	19074,22	2,88
Vel.med_BRT	-83,4658	8,509827	-9,80817	2,06E-08	-101,42	-65,5117	-101,42	-65,5117	

### Avaliação

- $R^2$ : 0,8498235- OK;
- Sinais da função - OK;
- Teste de significância (T-student e F) – OK.

Valor t (9,80817) > t-crítico (2,898),

Valor F (96,20016516) > F-crítico (6,589)

Determinou se que a quantificação da variação do indicador passageiros por quilômetro, da linha de ônibus urbano (BUS27), em relação à velocidade média do BRT é -83,466. Isto quer dizer que, na alteração de mais ou menos um km/h na velocidade media do BRT, tem um impacto de -83,466passageiros por quilômetro. Com o aumento da velocidade do BRT, a linha BUS 27 perde passageiros.

### 7.3 VARIACIONES DO PASSAGEIRO POR QUILOMETRO COM RELAÇÃO AO HEADWAY

O procedimento realizado para encontrar as variações em relação ao *headway*, mediante a análise das informações do corredor BRT e as linhas de ônibus urbanos (BUS11 e BUS27), descritos no capítulo 6, apresentou os seguintes resultados (Tabela 7.7).

Tabela 7.7 Variações Pass.km das linhas com respeito alterações do *Headway*

	BRT120-BUS600	BRT600-BUS120	BRT300-BUS300	BRT300-BUS1800	BRT600-BUS1800
Linha	PASS.Km	PASS.Km	PASS.Km	PASS.Km	PASS.Km
BUS11	3687,22	3164,919	3520,746	3757,746	3759,97
BUS27	16036,29	15580,788	15926,225	15161,376	15090,5
BRT	46932,141	42589,988	44049,073	62837,976	59939,138

A Figura 7-5 ilustra as variações das linhas de ônibus urbanos junto com o corredorBRT, segundo as variações do *Headway*. A Figura 7-5 apresenta visualmente, que o impacto do

*Headway* no desempenho de produtividade no BRT é muito maior que nas linhas de ônibus urbanos (Bus11, Bus27).

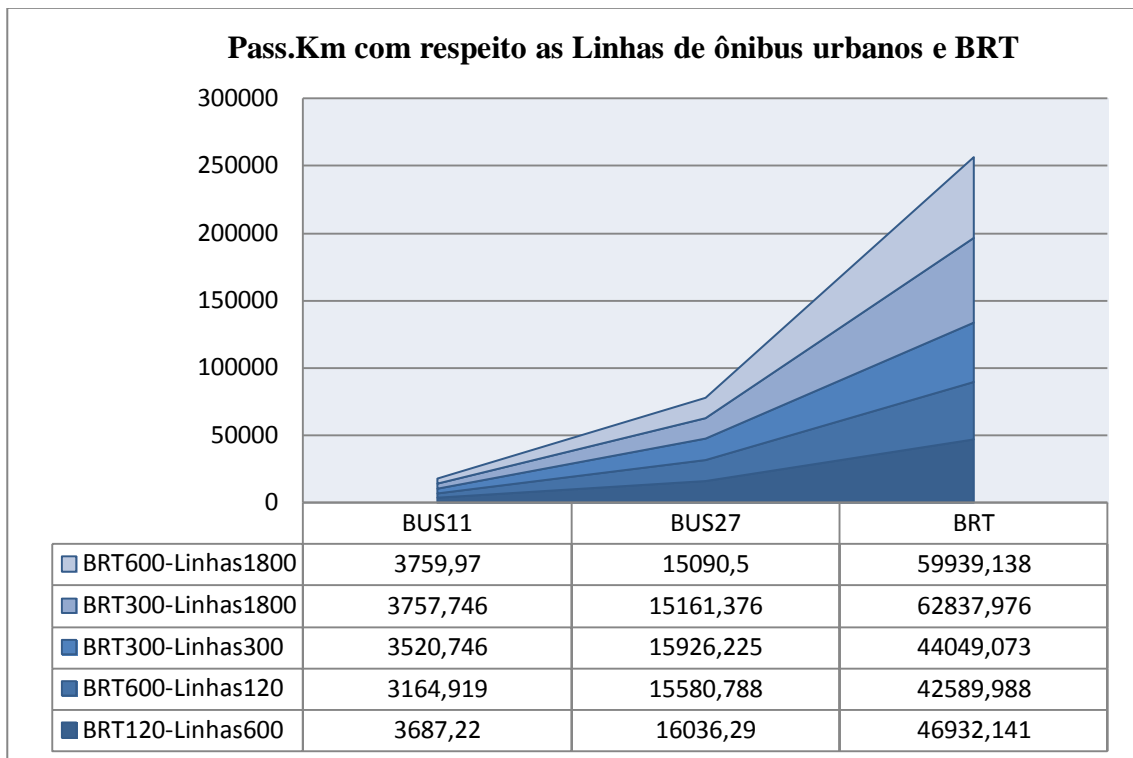


Figura 7-5 Variações Pass.km das linhas Bus11, Bus27 e BRT, segundo *Headway*

## 8 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

### 8.1 CONCLUSÕES

Durante o desenvolvimento da pesquisa e elaboração do estudo, o indicador passageiro por quilômetro (pass.km) foi o ponto de partida para determinar algumas variações que geravam os atributos de desempenho (velocidade média do BRT e *Headway*) das linhas do sistema de transporte público urbano de Hanói. De forma geral, o estudo cumpriu com os objetivos estabelecidos na pesquisa, identificando as variações do desempenho de produtividade das linhas de ônibus urbanos (BUS11 e BUS 27) apresentados na Tabela 7.2 e Tabela 7.3, respectivamente, e do corredor do BRT na Tabela 7.1. Foi feita também a quantificação do impacto do indicador de desempenho de produtividade, em relação ao atributo básico de desempenho (velocidade média do BRT). A hipótese foi aceita, ilustrando que o impacto dos atributos básicos velocidade média e *headway* no desempenho do corredor(es) de BRT é melhor do que na rede de transporte público por ônibus.

Este tipo de estudo, pode ser parte de uma base, para a análise na reestruturação de linhas de transporte público urbano nas cidades.

A dificuldade na obtenção e acesso de dados e informações para o desenvolvimento de estudos é uns dois problemas mais comuns dos pesquisadores, que ocorreu neste estudo. Por isso, optou se por trabalhar com dados de Hanói, que estavam disponíveis.

A pesquisa mostrou um impacto (aumento) no indicador entre algumas linhas de ônibus urbanos (exemplo BUS11), com o corredor BRT, em função de sua velocidade média. Isto pode justificar possíveis conformações de sistemas de transporte públicos integrados (STI).

A função linear (pass.km) quantificou o impacto no indicador de desempenho de produtividade, das linhas de ônibus urbanos e BRT, com relação à velocidade média do BRT. As funções do indicador pass.km das linhas (BUS11, BUS27) e BRT cumpriram os testes de valor F, t-student,  $R^2$  e avaliação de sinais da função.

Este tipo de estudo pode subsidiar a tomada de decisões para diferentes opções para conformações de sistemas de transporte público urbano, dentro de planejamentos de cidades de pequeno, médio e grande porte. O estudo, possivelmente, pode diminuir custos de operação, identificando as linhas de ônibus urbano (Figura 8-1), onde concorre com o BRT (exemplo



BUS27), tentando reduzir seus percursos ou a integração com o BRT. Salienta-se que este tipo de estudo esteja acompanhado de estudos econômicos, para confirmar esta conclusão.

A pesquisa segundo a área de estudo, pode determinar um possível planejamento na conformação de sistemas integrados, como é o caso do corredor BRT e a linha de ônibus urbano BUS11 (Figura 8-2), trabalhando conjuntamente (alimentador). Dessa forma seria possível ofertar uma maior capacidade de transporte público urbano para cidades com futuras demandas elevadas, com baixos custos de implementação, operação e janelas de tempo curtas para construção do sistema. Mas como foi mencionado, é necessário o acompanhamento de estudos de custo.

As variações do indicador pass.km, em relação à velocidade média do BRT, que representa o impacto no desempenho de produtividade das linhas de ônibus urbanos, podem estar relacionadas com a localização que se encontram com respeito ao corredor de BRT, se:

- As linhas de ônibus urbanos estiverem localizadas de forma a concorrer com o BRT, a tendência é a redução do indicador de desempenho de produtividade (Figura 8-1);
- As linhas de ônibus urbanos estiverem localizadas de forma complementar ao corredor de BRT, a tendência é aumentar o indicador de desempenho de produtividade (Figura 8-2).

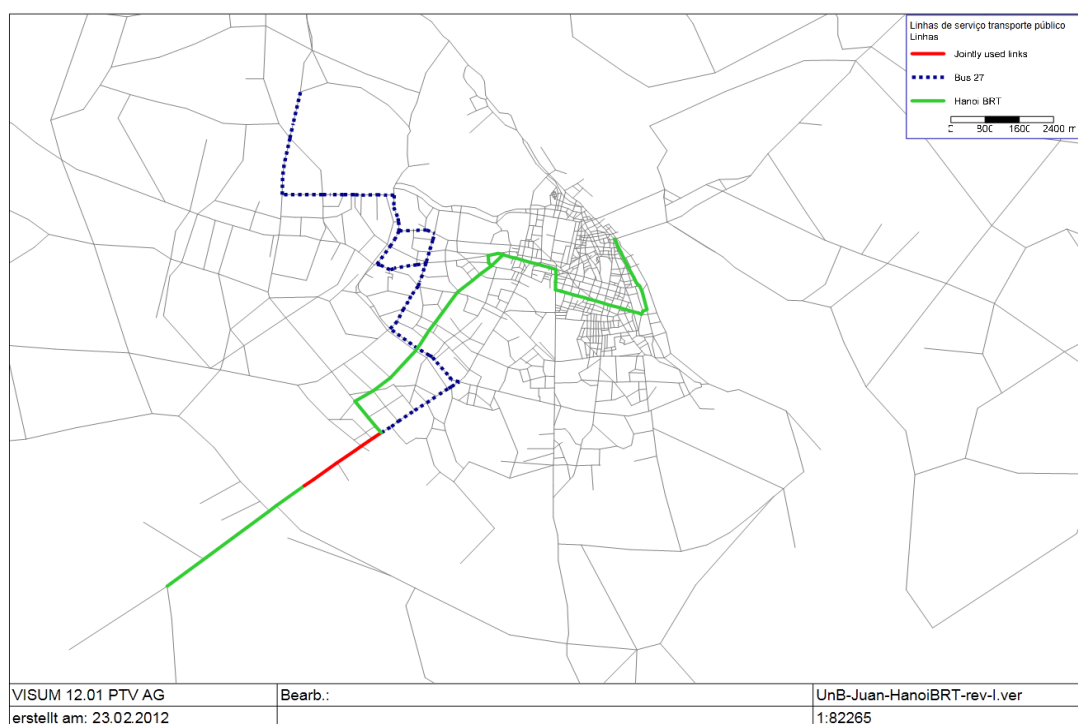


Figura 8-1 Linha de ônibus urbano 27 (BUS27) com corredor de BRT

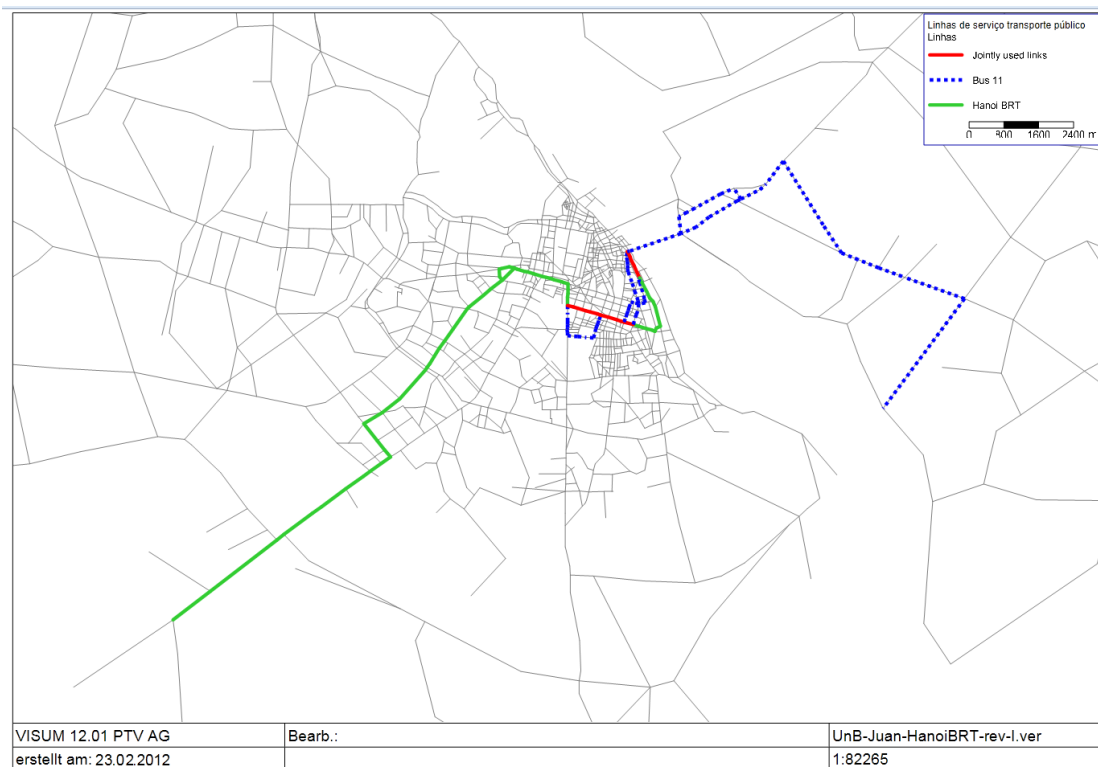


Figura 8-2 Linha de ônibus urbano 11 (BUS11) com corredor BRT

O estudo identifica e quantifica o impacto da velocidade média do BRT, no desempenho de produtividade para as linhas de ônibus urbanos BUS11 e BUS 27 e corredor de BRT. Os impactos são:

- Se o BRT tem uma alteração na sua velocidade média de mais ou menos um km/h, gera um impacto de 684,81 passageiros por quilômetro;
- A linha BUS 11, se o BRT tem uma alteração de mais ou menos um km/h na velocidade média, gera um impacto de 24,844 passageiros por quilômetro;
- A linha BUS 27, se o BRT tem uma alteração de mais ou menos um km/h na velocidade média, gera um impacto de -83,466 passageiros por quilômetro.

## 8.2 RECOMENDAÇÕES

A primeira recomendação para futuros estudos, é tentar realizar essas variações com respeito à velocidade média, completada com uma visão mais detalhada (micro), para este estudo. Já que a velocidade média tem variações com respeito a diferentes aspectos e características do sistema. Dentre essas variações, citam-se: Distância entre estações, se a via é segregada ou não, tipo de tecnologias do veículo, entre outras.

Realizar estudos das variações da capacidade do sistema de transporte público, com respeito à velocidade média e o *Headway*, comparando sistemas de transporte rodoviários e ferroviários. É recomendável realizar este tipo de estudo com acompanhamento de estudos econômicos, para ter um maior conhecimento e sensibilidade do sistema de transporte público.

Por último, realizar maiores estudos na mesma linha no Brasil, para determinar parâmetros de calibração, que representem a realidade brasileira e latino-americana.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, Márcio. (1999). *Avaliação do desempenho operacional de sistemas de transportes urbanos em vias segregadas*. Instituto militar de engenharia.
- ANDRADE, Carlos. (2009). *Avaliação do desempenho de sistemas metroferroviários sob a ótica da qualidade dos serviços prestados aos usuários: aplicação no metrô do rio de janeiro*. UFRJ/COPPE.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS - NTU. *Desempenho e qualidade nos sistemas de ônibus urbanos*. 2008
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTE URBANOS - NTU. (1999). *Integração nos transportes públicos: uma análise dos sistemas integrados*. Meio eletrônico: [www.ntu.org.br/banco/integração](http://www.ntu.org.br/banco/integração).
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS - ANTP. (2007). *Elementos para a montagem de quadro de indicadores de desempenho de transportes em São Paulo*.
- ARDILA, A. (2003), *Curitiba: Uma historia de cambio em La ciudad y em los planes*.
- BANCO MUNDIAL. (2003). *Cidades em movimento: Estratégia de transporte urbano do Banco Mundial*. Tradução Eduardo de Farias Lima. São Paulo.
- BLOG PONTO DE ÔNIBUS. (2011). Disponível em <http://blogpontodeonibus.wordpress.com/page/47/>. Acesso em 20 de dezembro de 2011 às 11:15
- BRODY LEE; TONY BINNS E ALAN B DIXON. (2010). *A dinâmica da agricultura urbana em Hanoi, Vietname.*, Disponível em <http://factsreports.revues.org/464>. Acesso em 12 de dezembro de 2011 às 14:15
- CÂMARA, M. T. (2006). *Uma Metodologia para Avaliação de Desempenho em Infra- Estruturas de Transporte Concedidas: Aplicação às Concessões de Rodovias Federais Brasileiras*. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação T.DM 011A-2006, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 226p.
- CAMPOS, Vânia. *Planejamento de Transportes: Conceitos e Modelos de Análise*.

- CEDER, A. (2009). *Public-Transport Automated Timetables using Even Headway and Even Passenger Load Concepts*. Department of Civil and Environmental Engineering. University of Auckland, New Zealand.
- CEPAL/GTZ. (2005). *Policy Strategies for Sustainable Development in Latin America and the Caribbean: Promotion of a Socially Sustainable Economic Policy*. *evaluacion de impacto*.
- COLETIVO. (2011). *Congestionamento e acidentes na capital*. Disponível em <http://coletivo.maiscomunidade.com/conteudo/2011-02-18/>. Acesso em 22 de outubro de 2011 às 13:15
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES- DNIT. (2006). *Manual de estudos de tráfego*.
- DIAZ, Rodericket al. (2009). *Characteristics of Bus Rapid Transit for Decision Making (CBRT)*, Federal Transit Administration Office of Research, Demonstration, and Innovation, Washington, D.C.:
- DIÓGENES, G. S. (2002). *Uma Contribuição ao Estudo dos Indicadores de Desempenho Operacional de Ferrovias de Carga: O Caso da Companhia Ferroviária do Nordeste – CFN*, Tese de Doutorado submetida Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro para a Obtenção do Grau de Mestre em Ciências em Engenharia de Transportes, Rio de Janeiro.
- DOURADO, Danilo. (2007). *Gerenciamento da Demanda de Tráfego em Tempo Real*. Rio de Janeiro. Instituto Militar de Engenharia, 2007
- DUC UY, P; NAKAGOSHI, N. (2007). *Application of land suitability analysis and landscape ecology to urban greenspace planning in Hanoi, Vietnam*. Graduate School for International Development and Cooperation, Hiroshima University, Japan Available online 25 October 2007
- EMPRESAS BRASILEIRAS DE TRANSPORTES URBANOS - EBTU (1988). *Gerência do Sistema de Transporte Público de Passageiro*. STPP, Brasília DF.
- EXTRA. (2011). *Nova faixa seletiva em Copacabana entra em vigor num dia de interdições para blocos de carnaval de rua*. Disponível em <http://extra.globo.com/noticias/rio/rio-transito/nova-faixa-seletiva-em-copacabana-entra-em-vigor-num-dia-de-interdicoes-para-blocos-de-carnaval-de-rua-1100033.html#ixzz1zfU75CsU>. Acesso em 20 de novembro de 2011 às 10:06

- FEDERAL TRANSIT ADMINISTRATION. – FTA. (2009). *Characteristics of Bus Rapid Transit for Decision-Making*. Disponível em: <http://www.nbrti.org/CBRT.html>. Acesso em 10 de novembro de 2011 às 09:09
- FERNANDEZ, R.; PLANZER, R (2002). *On the capacity of bus transit system*. *TransportReviews*, v 22, n 3.
- FERRARI, C. (1979), *Curso de planejamento municipal integrado: Urbanismo*. Editora Pioneira, São Paulo, SP.
- FERRAZ, A; TORRES, I. (2004). *Transporte Público Urbano*. 2ª ed. RiMa. São Carlos.
- FRIEDRICH, M; HOFÄb, I; NÖKEL, K; VORSTICH, P. (2000). *A dynamic traffic assignment method for planning and telematics applications*. *Proceedings of seminar K, European Transport Conference*. Cambridge.
- FUNDO DE POPULAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – UNFPA. (2007). *Situação da população mundial 2007*.
- FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - FBDS. (2011). *Mobilidade urbana no âmbito da economia verde*.
- FURTH, P. G.; MULLER, T. H. J. (2007). *Conditional bus priority at signalized intersections: better service with less traffic disruption*. *Transportation Research Record*.
- GARDNER, G.; CORNWELL, P. R.; CRACKNELL, J. A. (1991). *The performance of busway transit in developing cities*. *Transportation and Road Research Laboratory*.
- GARVIN, DAVID, A. (1992). *Gerenciando a qualidade: a visão estratégica e competitiva*. Rio de Janeiro: Qualitymark.
- GONZÁLEZ, Roberto. (2007). *Transporte Público Coletivo em Bogotá, do Sistema Tradicional ao Transmilenio: um Mercado em Transição*. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- HIDALGO, D. (2010). *Lecciones aprendidas de mejoras en sistemas de autobuses de Latinoamérica y Asia, Modernización del Transporte Público*, EMBARQ
- HOUAISS, A; VILLAR, M. S. (2001). *Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa*. Instituto Antônio Houaiss de Lexicografia e Banco de Dados da Língua Portuguesa. Ed Objetiva, Rio de Janeiro.

- INSTITUTE FOR TRANSPORTATION AND DEVELOPMENT POLICY –ITDP. (2003) *TransJakartaBusway Project: Technical Review.*,Jacarta.
- IPLANRIO – PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. (1996). *Transportes urbanos: Perfil do usuário na área metropolitana, Rio de Janeiro.* Rio de Janeiro.
- JUNG, H. *et al.* (2011). *Introduction of Bus Rapid Transit in a Metropolitan Area: The Case of Busan Metropolitan.* Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.8.
- JURAN, J. M.(1995). *Na Liderança pela Qualidade*, Tradução João Mário Csillag. – 3<sup>a</sup> edição, São Paulo, SP.
- KOEHLER, L. A. (2009). *Controle integrado de prioridade e retenção para operação de sistemas de transporte público.* Tese de Doutorado. PPGEE. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.
- KRSTANOSKI, N. (1996). *Rapid Transit Line Performance Analysis: A Stochastic Approach.* Dissertation for Degree of Doctor of Philosophy. University of Pennsylvania. Philadelphia.
- LEE, B; BINNS, T; DIXON, A. (2010). *A dinâmica da agricultura urbana em Hanoi, Vietname, Campo Ações Relatórios Ciência* [online], Edição Especial 1 | 2010, On-line desde 25 de Junho de 2010, Conexão em 11 de junho de 2012. URL: <http://factsreports.revues.org/464>
- LENER, Jaime. (2009) *Avaliação comparativa das modalidades de transporte público urbano.* Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos - NTU.
- LEVINSON, H.; ZIMMERMAN, S.; CLINGER, J.; RUTHERFORD, S.; SMITH, R. L.; CRACKNELL, J.; SOBERMAN, R. (2003). *Bus rapid transit*, v 1: Case studies in BRT. TCRP Report 90, Washington, DC, Estados Unidos.
- LINDAU, L.A.; WILLUMSEN, L. G. (1990). *Allocating road space to vehicles: the experience of Brazil.* In: Proud'homme, R.. (Org.). *New perceptions and new polices - urban transport in developing countries.* Paris: Paradigme.
- MACHADO, O; RIBEIRO P. *Calibração da função de capacidade do BPR para uma via expressa brasileira.* Programa de Engenharia em transportes Universidade Federal do Rio de Janeiro.

- MAGALHÃES, M. (2004). Metodologia para desenvolvimento de sistemas de Indicadores: uma aplicação no planejamento e Gestão da política nacional de transportes. (Dissertação Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília.
- METROPOLITAN WASHINGTON COUNCIL OF GOVERNMENTS (2011). *Bus Priority Treatment Guidelines*, Washington DC.
- MOLINERO ÁNGEL, SÁNCHEZ IGNACIO. (1998). *Transporte Público - Planeación, Diseño, Operación y Administración*. Tercera Edición, Fundación ICA.
- NPR (1997) *Serving the American Public: Best Practices in Performance Measurement*. *National Performance Review*.
- OLIVEIRA, D. (1991). *Planejamento estratégico: conceitos, metodologia e pratica*. Editora Atlas. São Paulo, SP.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - OECD (2001) *Performance Indicators for the Road Sector: Summary of the Field Tests*. France.
- ORTÚZAR, J. (2000). *Modelos econométricos de elección discreta*. Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- ORTÚZAR J. (2000) Modelos de Demanda de Transporte 2ª Edición. Edições Universidade Católica de Chile.
- ORTÚZAR J.; WILLUMSEN L. (2008). *Modelos de Transporte*. PubliCAN Edições Universidade de Cantabria.
- PAIVA, Carlos. *Modelos Tradicionais Transporte e Tráfego*.
- PARDO, Carlos. *Los cambios en los sistemas integrados de transporte masivo en las principales ciudades de América Latina*. CEPAL Naciones unidas. France Coopération.
- PEREIRA, Bruna. (2011). *Avaliação do desempenho de configurações físicas e operacionais de sistemas BRT*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- PIRES DA COSTA, A. (2008). *Manual do planeamento de acessibilidades e transportes*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal.



- PTV - PlanungTransportVerkehr. (2011) *Manual do usuário VISSIM*. Versão 5.40.
- PTV PlanungTransportVerkehr. (2011) *Manual do usuário VISUM*. Versão 12.01
- PUTRANTO.Leksmono. (2007).*The operational Caharacteristics of the Jakarta Bus Rapid Transit Services*. Departamentof civil engineering. Indonesia. TarumanagaraUniversity
- RECK, G. *Apostila transporte público*. Departamento de transporte.Universidade do Paraná
- RODRIGUES, P. (2003).*Introdução aos Sistemas de Transporte no Brasil e à Logística Internacional*. 3ª ed., rev. e ampl.. Aduaneiras, São Paulo.
- RODRIGUES, Paulo Roberto. (2007).*Introdução aos Sistemas de Transportes no Brasil e à Logística Internacional*. São Paulo: Aduaneiras.
- ROYULA, M. A. (2001). *Los Sistemas de Indicadores Ambientales y su Papel emlaInformación e Integración del Médio Ambiente*. Em: I Congresso de Engenharia Civil, Território y Médio Ambiente.
- SANO, Kazushi *et al.* (2009). *A study of applying Bus Rapid Transit system in Hanói*.*Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*.Vol.7.
- SHEN, L; ELBADRAWI, H; ZHAO, F; OSPINA. (1998). *At-grade busway planning guide*.Florida: NationalUrban Transit Institute.
- SORRATINI, J; DA SILVA, M. (2005). *Avaliação de um sistema integrado de transporte coletivo urbano: o caso de Uberlândia, MG*. Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Federal de Uberlândia. MG,Brasil.
- TRANSIT COOPERATIVE RESEARCH PROGRAM (TCRP). (1999).*Transit Capacity and Quality of Service Manual*.Kittelson&Associates.
- TRB (2004), Journal of Transportation Research Board N° 1876, Calibration and validation of Simulation Models.
- UNITED STATES GENERAL ACCOUNTING – US GAO. (2001). *Bus rapid transit shows promise*. Washington.
- UNIVERSIDADE ESTÁCIO DA SÁ - UNESA. (2008). *Desempenho dos transportes*. Modulo 6curriculo 108/2008-1. Sistemas de Transportes.

- URBANIZAÇÃO DE CURITIBA S.A - URBS (2012). Corredores de Transporte. Disponível em <http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/PORTAL/rit/> .Acesso em 20 de junho de 2012 às 19:06
- VASCONCELLOS, E. (2001). *Urban transport, environment and equity: The case for developing countries*. London: Earthscan.
- VUCHIC, V. (1981). *Urban public transportation*. System and Technology, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ.
- WIEDEMANN, (1974) U. Reiter, Microscopic Traffic Simulation. The Simulation System Mission. Germany.
- WRIGHT, Lloyd. (2003). *Bus Rapid transit*. Primeira edição. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)..
- WRIGHT, Lloyd; FJELLSTROM, Karl. (2006). *Opciones de Transporte Público Masivo: Módulo 3a*. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).
- WRIGHT, L.; HOOK, W. (2007). *Bus Rapid Transit Planning Guide*. 3ª edição. New York: Institute for Transport and Development Policy.
- WRIGHT, Lloyd; HOOK, Walter. (2008) *Manual de BRT: Bus Rapid Transit – Guia de Planejamento*. Institute For Transportation and Development Policy: New York.