



NIDIA MARISOL ENRIQUEZ BILBAO

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO SISTEMA BRT
DA CIDADE DE LIMA UTILIZANDO O AUXÍLIO
MULTICRITÉRIO À DECISÃO**

Campinas-SP

2014



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

NIDIA MARISOL ENRIQUEZ BILBAO

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO SISTEMA BRT DA
CIDADE DE LIMA UTILIZANDO O AUXÍLIO
MULTICRITÉRIO À DECISÃO**

Orientadora: Profa. Dra. Maria Lucia Galves.

Dissertação de Mestrado apresentada a Faculdade Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, para obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil, na área de concentração de Transportes.

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA
DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA NIDIA
MARISOL ENRIQUEZ BILBAO E ORIENTADA PELA
PROFA. DRA. MARIA LUCIA GALVES.**

ASSINATURA DO ORIENTADOR

**Campinas - SP
2014**

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

Enriquez Bilbao, Nidia Marisol, 1978-
Em72a Avaliação de desempenho do sistema BRT da cidade de Lima utilizando o
auxílio multicritério à decisão / Nidia Marisol Enriquez Bilbao. – Campinas, SP :
[s.n.], 2014.

Orientador: Maria Lucia Galves.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de
Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Avaliação de desempenho. 2. Análise multicritério. 3. Transporte urbano. I.
Galves, Maria Lucia, 1955-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Performance evaluation of the BRT system in the city of Lima using multicriteria decision aid

Palavras-chave em inglês:

Performance evaluation

Multicriteria analysis

Urban transport

Área de concentração: Transportes

Titulação: Mestra em Engenharia Civil

Banca examinadora:

Maria Lucia Galves [Orientador]

Maria Teresa Françoso

Suely da Penha Sanches

Data de defesa: 22-08-2014

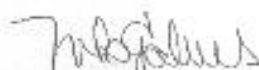
Programa de Pós-Graduação: Engenharia Civil

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

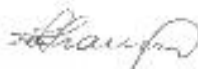
**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO SISTEMA BRT DA
CIDADE DE LIMA UTILIZANDO O AUXÍLIO
MULTICRITÉRIO À DECISÃO**

Nidia Marisol Enriquez Bilbao

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Profa. Dra. Maria Lucia Galves
Presidente e Orientadora/Universidade Estadual de Campinas



Profa. Dra. Maria Teresa Françoso
Universidade Estadual de Campinas



Profa. Dra. Suely da Penha Sanches
Universidade Federal de São Carlos

Campinas, 22 de agosto de 2014

RESUMO

BILBAO, N. M. E. Avaliação de desempenho do sistema BRT da cidade de Lima utilizando o auxílio multicritério à decisão. Dissertação (Mestrado em Transportes) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, 2014, 143p.

As cidades necessitam de sistemas de transporte eficientes, tanto para a movimentação de bens quanto de pessoas e para a realização das atividades fundamentais. O transporte caracteriza-se, portanto, como uma das atividades principais para o atendimento das necessidades de crescimento dos centros urbanos. Uma das opções adotadas para o transporte público urbano é o sistema BRT (*Bus Rapid Transit*), que consegue atender a necessidades de transporte com baixo custo de implantação, provocando impactos positivos em sua área de influência. Diante disso, sistemas BRT foram implantados em muitas cidades no mundo, o que torna a avaliação de desempenho deste modo de transporte uma necessidade atual e de grande importância para o desenvolvimento adequado dos centros urbanos. O objetivo do presente trabalho é o de avaliar o desempenho do sistema BRT da cidade de Lima, no Peru, especificamente Corredor Segregado de Alta Capacidade (COSAC I). Para tanto, foi adotada a metodologia de auxílio multicritério à decisão, que leva em conta tanto as variáveis quantitativas como as qualitativas na avaliação. Esta metodologia foi aplicada de forma abrangente, considerando não apenas os interesses do usuário, mas também os impactos que esse sistema provoca no meio urbano. Os resultados obtidos possibilitaram conhecer os pontos de vista e as necessidades dos atores, assim como o desempenho geral do sistema e o desempenho local para cada atributo.

Palavras chave: Avaliação de desempenho; Análise multicritério; Transporte urbano.

ABSTRACT

BILBAO, N. M. E. Performance evaluation of the BRT system in the city of Lima using multicriteria decision aid. Thesis (Master of Science) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, 2014, 143p.

Cities need efficient transport systems, both for the movement of goods and people as to the realization of the fundamental activities. Therefore transport is characterized as one of the main activities to meet the growing needs of urban centers. One of the options adopted for urban public transport is the BRT (Bus Rapid Transit), which can meet the transportation needs with low cost of deployment, causing positive impacts in its area of influence. Therefore, BRT systems have been deployed in many cities in the world, which makes the performance evaluation of the transport mode a current need and of great importance for the proper development of urban centers. The objective of this study is to evaluate the performance of the BRT system of the city of Lima, Peru, specifically the Segregated Corridor of High Capacity (COSAC I). For this purpose, the methodology adopted was multicriteria decision aid, which takes into account both qualitative and quantitative variables in evaluating. This methodology was applied comprehensively, considering not only the user's interests, but also the impact that this system causes the urban environment. The results enabled us to know the views and needs of stakeholders, and the general performance of the system and the local performance for each attribute.

Keywords: Performance Evaluation; Multicriteria analysis; Urban transport.

SUMARIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT	ix
SUMARIO.....	xi
LISTA DE FIGURAS	xix
LISTA DE TABELAS	xxiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Considerações iniciais.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo Geral.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 Estrutura do trabalho.....	5
2. TRANSPORTE PÚBLICO URBANO – SISTEMA BRT.....	7
2.1 Transporte público urbano.....	7
2.2 Sistema BRT.....	9
2.2.1 Resenha histórica.....	9
2.2.2 Conceituação e componentes do sistema BRT.....	10
2.3 Exemplos de sistemas BRT no mundo.....	16
2.3.1 Rede Integrada de Transporte (RIT) de Curitiba – Brasil.....	16
2.3.2 Sistema TransMilenio de Bogotá - Colômbia.....	24
2.3.3 BRT Line 1 de Beijing - China.....	32
2.3.4 Metrobús da Cidade do México - México.....	36

3. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO.....	43
3.1 Desempenho do sistema de transporte.....	43
3.2 Métodos utilizados para a avaliação de desempenho em transportes.....	44
3.2.1 Análise Custo-Benefício.....	44
3.2.2 Análise Multicritério.....	45
3.2.3 Abordagem de características.....	46
3.2.4 Padrão de qualidade de BRT.....	47
3.3 Indicadores de desempenho.....	50
3.4 Exemplos de avaliação de desempenho de sistemas BRT.....	53
3.4.1 Rede Integrada de Transporte (RIT) de Curitiba – Brasil.....	53
3.4.2 Sistema TransMilenio de Bogotá – Colômbia.....	55
3.4.3 BRT Line 1 de Beijing – China.....	56
4. AUXÍLIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO.....	59
4.1 Introdução.....	59
4.2 Estruturação.....	61
4.2.1 Identificar o tipo de situação.....	62
4.2.2 Caracterizar o contexto decisório.....	62
4.2.3 Especificar valores.....	63
4.2.4 Criar alternativas.....	65
4.3 Avaliação.....	66
4.3.1 Critério único de síntese.....	66
4.3.2 Subordinação de síntese.....	67
4.3.3 Julgamento local interativo.....	68
4.4 Recomendações.....	68

5. METODOLOGIA.....	69
5.1 Introdução.....	69
5.2 Etapas para a elaboração do modelo de avaliação de desempenho.....	70
5.2.1 Estruturação do problema.....	70
5.2.2 Avaliação de desempenho.....	72
5.2.3 Análise dos resultados e recomendações.....	75
6. APLICAÇÃO.....	77
6.1 Estruturação do problema.....	77
6.1.1 Identificação do tipo de situação.....	77
6.1.2 Caracterização do contexto de avaliação.....	86
6.1.3 Identificação dos objetivos fundamentais dos atores.....	87
6.1.4 Estruturação dos objetivos fundamentais.....	90
6.1.5 Definição dos atributos e seus níveis.....	92
6.2 Avaliação de desempenho.....	97
6.2.1 Funções de Valor.....	97
6.2.2 Constantes de escala.....	112
6.2.3 Perfil de desempenho.....	117
6.2.4 Valor global.....	119
6.3 Análise dos resultados e recomendações.....	121
6.3.1 Estruturação do problema.....	121
6.3.2 Avaliação de desempenho.....	124
6.3.3 Recomendações.....	131
7. CONCLUSÃO.....	133
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	135

Dedicatória

***Este trabalho esta dedicado para minha
mãe, Lucrecia e meus irmãos Maria e Carlos.***

AGRADECIMENTOS

A Deus e a nossa mãe Maria, por ser a minha fortaleza em todo momento.

A minha mãe, meus irmãos e minha família pelo amor, apoio e incentivo em cada passo da minha vida.

À minha orientadora, Profa. Dra Maria Lucia Galves, pela confiança, paciência, apoio, compreensão, dedicação, orientações e ensinamentos transmitidos no decorrer do trabalho. Ficarei sempre grata.

À Unicamp por abrir-nos as portas e permitir ampliar os nossos conhecimentos.

À CNPq, pela concessão da bolsa de estudos de mestrado.

Ao engenheiro Gustavo Gutierrez, gerente de operações de Protransporte, ao engenheiro Bernabe Bejarano Contreras, sub gerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima e aos usuários do sistema *Bus Rapid Transit* da cidade de Lima, por seu apoio e disponibilidade para o desenvolvimento do trabalho.

Aos professores, do departamento de Geotécnica e Transportes da Unicamp, em especial aos professores Maria Teresa Françoso, Carlos Alberto Bandeira Guimarães e Diogenes Cortijo Costa, pelos ensinamentos e orientações.

Aos funcionários da secretaria da pós-graduação, pela dedicação e paciência demonstradas.

Aos meus amigos e colegas pela força, apoio e companhia ao longo do desenvolvimento da tese.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1 – Mapa do sistema RIT de Curitiba	17
Figura 2. 2 – Esquema viário e terminais	18
Figura 2. 3 – Esquema dos terminais de Integração	19
Figura 2. 4 – Estruturação viária	20
Figura 2. 5 – Estações tubo.....	20
Figura 2. 6 – Sistema trinário de vias	21
Figura 2. 7 – Sistema de linhas diretas	22
Figura 2. 8 – Veículos biarticulados	23
Figura 2. 9 – Controle semafórico	23
Figura 2. 10 – Sistema de embarque pré-pago	24
Figura 2. 11 – Mapa do sistema TransMilenio.....	26
Figura 2. 12 – Vias segregadas.....	27
Figura 2. 13 – Portas no nível das plataformas	28
Figura 2. 14 – Estações simples	28
Figura 2. 15 – Estações terminais.....	29
Figura 2. 16 – Estações intermediárias.....	29
Figura 2. 17 – Veículo articulado.....	31
Figura 2. 18 – Vista geral do sistema BRT Line 1 de Beijing	33
Figura 2. 19 – Via segregada do corredor BRT Line 1 de Beijing	33
Figura 2. 20 – Estação intermediárias.....	34
Figura 2. 21 – Ônibus articulado BRT	35
Figura 2. 22 – Acesso em nível das plataformas.....	35
Figura 2. 23 – Controle de prioridade nos cruzamentos.....	36
Figura 2. 24 – Mapa do Metrobús	38
Figura 2. 25 – Via exclusiva	39
Figura 2. 26 – Estações intermediárias	40
Figura 2. 27 – Acesso às estações	40
Figura 2. 28 – Ônibus biarticulado.....	41

Figura 2. 29 – Plataformas no nível dos veículos.....	42
Figura 3. 1 – Método da abordagem de características	47
Figura 6. 1 – Mapa do sistema BRT de Lima	78
Figura 6. 2 – Rota <i>troncal</i> do sistema BRT de Lima.....	79
Figura 6. 3 – Rota alimentadora sul	79
Figura 6. 4 – Rota alimentadora norte.....	80
Figura 6. 5– Terminal <i>Matellini</i>	80
Figura 6. 6 – Terminal <i>Naranjal</i>	81
Figura 6. 7– Estação em um só nível	81
Figura 6. 8 – Estação em dois níveis	82
Figura 6. 9 – Estação central.....	82
Figura 6. 10 – Portas do ônibus ao nível das plataformas	83
Figura 6. 11 – Via segregada e em faixa dupla	84
Figura 6. 12 – Ônibus articulado	85
Figura 6. 13 – Espaço para passageiros com necessidades especiais	85
Figura 6. 14 – Sistemas de cobrança.....	86
Figura 6. 15 – Hierarquia dos objetivos fundamentais	91
Figura 6. 16 – Função de valor para demanda.....	98
Figura 6. 17– Função de valor para acidentes	98
Figura 6. 18 – Função de valor para atropelamentos.....	99
Figura 6. 19 – Função de valor para custo da tarifa	99
Figura 6. 20 – Função de valor para emissão de CO ₂	100
Figura 6. 21 – Função de valor para tempo.....	100
Figura 6. 22 – Função de valor para acessibilidade	101
Figura 6. 23 – Função de valor para conforto.....	101
Figura 6. 24 – Função de valor para demanda.....	102
Figura 6. 25 – Função de valor para acidentes	103
Figura 6. 26 – Função de valor para atropelamentos.....	103
Figura 6. 27 – Função de valor para custo da tarifa	104
Figura 6. 28 – Função de valor para emissão de CO ₂	104

Figura 6. 29 – Função de valor para tempo.....	105
Figura 6. 30 – Função de valor para acessibilidade	105
Figura 6. 31 – Função de valor para conforto.....	106
Figura 6. 32 – Valor da situação atual para demanda.....	106
Figura 6. 33 – Valor da situação atual para acidentes	107
Figura 6. 34 – Valor da situação atual para atropelamentos	107
Figura 6. 35 – Valor da situação atual para custo da tarifa	107
Figura 6. 36 – Valor da situação atual para emissão de CO ₂	108
Figura 6. 37 – Valor da situação atual para tempo.....	108
Figura 6. 38 – Valor da situação atual para acessibilidade	108
Figura 6. 39 – Valor da situação atual para conforto.....	109
Figura 6. 40 – Valor da situação atual para demanda.....	109
Figura 6. 41 – Valor da situação atual para acidentes	109
Figura 6. 42 – Valor da situação atual para atropelamentos	110
Figura 6. 43 – Valor da situação atual para custo da tarifa	110
Figura 6. 44 – Valor da situação atual para emissão de CO ₂	110
Figura 6. 45 – Valor da situação atual para tempo.....	111
Figura 6. 46 – Valor da situação atual para acessibilidade	111
Figura 6. 47 – Valor da situação atual para conforto.....	111
Figura 6.48 – Constantes de escala estimadas pelo gerente de operações de Protransporte.....	114
Figura 6. 49 – Constantes de escala estimadas pelo subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima.....	117
Figura 6. 50 – Perfis de desempenho	119
Figura 6. 51 – Valor da situação planejada para demanda	128
Figura 6. 52 – Valor da situação planejada para custo da tarifa.....	128
Figura 6. 53 – Valor da situação planejada para demanda	129

LISTA DE TABELAS

Tabela 3. 1 – Características relacionadas ao desempenho dos sistemas BRT	43
Tabela 3. 2 – Fatores negativos para os sistemas planejados.....	49
Tabela 3. 3 – Relação entre as características físicas do sistema e as características operacionais (variáveis de desempenho)	54
Tabela 6. 1 – Operação do sistema BRT de Lima.....	86
Tabela 6. 2 – Identificação dos atores e decisor	87
Tabela 6. 3 – Programação das entrevistas com os usuários	89
Tabela 6. 4 – Objetivos identificados.....	90
Tabela 6. 5 – Definição dos atributos	93
Tabela 6. 6 – Níveis dos atributos	94
Tabela 6. 7 – Acessibilidade (atributo construído).....	96
Tabela 6. 8 – Conforto (atributo construído).....	96
Tabela 6. 9 – Valores para os níveis do atributo demanda	98
Tabela 6. 10 – Valores para os níveis do atributo acidentes	98
Tabela 6. 11– Valores para os níveis do atributo atropelamentos.....	99
Tabela 6. 12 – Valores para os níveis do atributo custo da tarifa.....	99
Tabela 6. 13 – Valores para os níveis do atributo emissão de CO ₂	100
Tabela 6. 14 – Valores para os níveis do atributo tempo	100
Tabela 6. 15– Valores para os níveis do atributo acessibilidade.....	101
Tabela 6. 16 – Valores para os níveis do atributo conforto	101
Tabela 6. 17 – Valores para os níveis do atributo demanda	102
Tabela 6. 18 – Valores para os níveis do atributo acidentes	103
Tabela 6. 19 – Valores para os níveis do atributo atropelamentos.....	103
Tabela 6. 20 – Valores para os níveis do atributo custo da tarifa.....	104
Tabela 6. 21 – Valores para os níveis do atributo emissão de CO ₂	104
Tabela 6. 22 – Valores para os níveis do atributo tempo	105
Tabela 6. 23 – Valores para os níveis do atributo acessibilidade.....	105
Tabela 6. 24 – Valores para os níveis do atributo conforto	106

Tabela 6. 25 – Valores dos saltos para os atributos do 2º nível hierárquico	112
Tabela 6. 26 – Valores dos saltos para os atributos do 1º nível hierárquico	113
Tabela 6. 27 – Constantes de escala do 2º nível hierárquico	113
Tabela 6. 28 – Constantes de escala do 1º nível hierárquico	114
Tabela 6. 29 – Valores dos saltos para os atributos do 2º nível hierárquico	115
Tabela 6. 30 – Valores dos saltos para os atributos do 1º nível hierárquico	115
Tabela 6. 31 – Constantes de escala do 2º nível hierárquico	116
Tabela 6. 32 – Constantes de escala do 1º nível hierárquico	116
Tabela 6. 33 – Valores obtidos para a situação atual de acordo com o gerente de operações de Protransporte	118
Tabela 6. 34 – Valores obtidos para a situação atual de acordo com o subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima	118
Tabela 6. 35 – Objetivos fundamentais comuns aos vários atores	122
Tabela 6. 36 – Comparação dos valores obtidos para a situação atual de acordo com os atores escolhidos	124
Tabela 6. 37 – Comparação das constantes de escala do 2º nível hierárquico	126
Tabela 6. 38 – Comparação das constantes de escala do 1º nível hierárquico	126
Tabela 6. 39 – Comparação dos valores obtidos para a situação planejada de acordo com os atores escolhidos	129
Tabela 6. 40 – Comparação dos valores globais para a situação planejada	130

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

Com a aceleração contínua e, muitas vezes, desordenada da urbanização, aumentam os problemas devidos ao congestionamento de veículos, o que dificulta a locomoção diária das pessoas. Estes problemas causam impactos negativos sobre os meios de transporte público urbano, principalmente aqueles que não têm direitos exclusivos de passagem. Tais impactos negativos, muitas vezes, resultam no aumento dos tempos de viagem, pouca confiança no serviço, ônibus com superlotação e muita espera (XIAO et al., 2010).

Uma vez que o transporte público urbano tem um papel muito importante no desenvolvimento das cidades, é necessário resolver os problemas que vêm crescendo nos últimos tempos e superar os impactos desses problemas no meio urbano. Dessa forma, começaram a se introduzir novas formas de transporte rápido de alta capacidade e qualidade, tais como os sistemas BRT (Bus Rapid Transit) (ZLATKOVIC et al., 2010).

De acordo com a Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (2012), os sistemas BRT tornaram-se referências internacionais de transporte coletivo de alto desempenho, qualidade e baixo custo. Na atualidade, as principais cidades do mundo utilizam o conceito BRT como o principal modo de transporte de massa e como diretriz para políticas sustentáveis de desenvolvimento urbano (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS, 2011).

Para que a implantação e o posterior funcionamento de um sistema BRT sejam realmente exitosos, é preciso projetá-lo para que atenda confortavelmente altas demandas de passageiros nos centros urbanos (WRIGHT e HOOK, 2008) e, também,

fazer a avaliação de desempenho do sistema de maneira periódica, para assim garantir a satisfação do usuário.

A literatura aborda alguns métodos para a avaliação de desempenho do transporte, tais como: *(i)* análise custo-benefício; *(ii)* análise multicritério; *(iii)* abordagem de características; e *(iv)* padrão de qualidade BRT. Nesta pesquisa, será utilizada a análise multicritério, pois permite abranger todo o conjunto de aspectos importantes dos sistemas BRT.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar o desempenho do sistema BRT (Bus Rapid Transit) da cidade de Lima, no Peru, especificamente no Corredor Central ou Corredor Segregado de Alta Capacidade (COSAC I) utilizando a metodologia de Auxílio Multicritério à Decisão.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar quais dos objetivos planejados no projeto inicial foram atingidos no processo final de implantação do corredor.
- Integrar os componentes objetivos do problema com os subjetivos dos atores, na aplicação da metodologia adotada para a avaliação de desempenho.
- Utilizar o auxílio multicritério à decisão para avaliar o desempenho do sistema com ênfase nos objetivos fundamentais dos atores.

1.3 Estrutura do trabalho

Além deste capítulo introdutório, o texto está organizado em sete capítulos, conforme descrito a seguir.

Capítulo 2. Transporte público urbano – Sistema BRT

No Capítulo 2, conceituam-se os sistemas de transporte público urbano e o sistema BRT (Bus Rapid Transit) e descrevem-se os componentes físicos de cada um deles. Além disso, são apresentados quatro exemplos de sistemas BRT: Rede Integrada de Transporte (RIT) de Curitiba; TransMilênio de Bogotá; BRT Line 1 de Beijing; Metrobús da Cidade do México.

Capítulo 3. Avaliação de Desempenho

Neste capítulo, descrevem-se alguns métodos utilizados para a avaliação do desempenho em transportes. Também são apresentados diversos trabalhos que propõem indicadores para medir o desempenho do transporte público urbano. Finalmente, são apresentados exemplos de avaliação de desempenho de sistemas BRT encontrados na literatura: Curitiba, Bogotá e Beijing.

Capítulo 4. Auxílio Multicritério à Decisão

Neste capítulo, faz-se uma descrição da metodologia de auxílio multicritério à decisão e suas etapas.

Capítulo 5. Metodologia do Trabalho

No Capítulo 5, apresenta-se o procedimento para a aplicação do auxílio multicritério à decisão na avaliação de desempenho do sistema BRT da cidade de Lima.

Descrevem-se as etapas, os métodos e instrumentos que serão empregados para aplicar a metodologia multicritério.

Capítulo 6. Aplicação

No capítulo 6, apresenta-se o processo de aplicação do auxílio multicritério à decisão na avaliação de desempenho do sistema BRT da cidade de Lima e os resultados obtidos de dito processo.

Capítulo 7. Conclusão

Neste capítulo, apresentam-se as conclusões e recomendações.

2. TRANSPORTE PÚBLICO URBANO – SISTEMA BRT

2.1 Transporte público urbano

Segundo Mumford (1982), o desenvolvimento das cidades está diretamente relacionado à evolução dos meios de transporte, os quais são um componente dinâmico em sua estrutura, e cuja presença facilita seu crescimento em tamanho e produtividade.

Transporte público urbano pode ser definido como o ato ou operação de movimentar pessoas de um lugar para outro usando um veículo. Portanto, o transporte é considerado uma atividade meio, já que liga as demais atividades econômicas desenvolvidas em um território, com o fim de integrar diversas regiões e propiciar o desenvolvimento econômico e social de sua população (CANÇADO, 1995).

Preston (2009, p. 452) define o transporte público urbano “como qualquer modo de transporte disponível por conta de outrem”; em outras palavras, compreende os meios de transporte em que os passageiros não são os proprietários, sendo servidos por terceiros e está disponível para utilização pelo público em geral.

O transporte público urbano tem grande importância para a mobilidade dos cidadãos. Ferraz e Torres (2004) destacam suas funções e vantagens como: *(i)* ser o modo de transporte acessível à população de baixa renda; *(ii)* ser a forma de locomoção para aqueles que não têm automóveis, não podem ou não querem dirigir; *(iii)* reduzir impactos negativos do transporte individual; *(iv)* uso racional do solo nas cidades.

O ônibus é o mais frequentado de todos os modos de transporte público de passageiros (HENSHER, 2007) e serve como uma solução promissora para o problema

da demanda de transporte na maioria dos centros urbanos ao redor do mundo (SCHMOCKER et al., 2003).

Segundo Polus (1978), um dos objetivos do transporte público por ônibus é aumentar o fluxo de pessoas, reduzindo atrasos. Portanto, o transporte público por ônibus é um dos serviços básicos para o funcionamento dos centros urbanos.

Ferraz e Torres (2004) propõem uma classificação dos modos de transporte urbano de passageiros em três grandes grupos:

- Privado ou individual: os veículos são conduzidos por um dos usuários, que pode escolher livremente o caminho e o horário de partida. Há, portanto, total flexibilidade de uso no espaço e no tempo. O transporte é feito de porta a porta, sendo, em geral, pequenas as distâncias a serem percorridas a pé para completar as viagens. A capacidade do veículo é pequena. Os modos mais comuns de transporte privado são: a pé; bicicleta; motocicleta; automóvel; montado em animal e veículo com tração animal;
- Público, coletivo ou de massa: os veículos pertencem a uma empresa e operam em rotas predefinidas e horários fixos. Não há flexibilidade de uso no espaço e no tempo, normalmente é necessário caminhar distâncias consideráveis para completar as viagens. A capacidade do veículo é grande, sendo a viagem compartilhada por um grande número de passageiros. Os modos mais comuns de transporte público, coletivo ou de massa são: ônibus; sistemas BRT; trólebus; bonde; pré-metrô; metrô e trem suburbano. Pela sua flexibilidade, custo de aquisição e de investimentos para sua operação, mesmo com baixa capacidade, o ônibus é atualmente o principal modo de transporte público na maioria das cidades brasileiras, além de ser um importante complemento para os modos de alta capacidade que operam nas maiores cidades do país;

- Semipúblico: o veículo pertence a uma empresa ou indivíduo e pode ser utilizado por determinado grupo de indivíduos ou por qualquer pessoa, tendo rota e horários adaptáveis aos desejos dos usuários em vários graus. Apresenta, portanto, características intermediárias entre os modos privado e público. Os modos mais comuns de transporte semipúblico são: táxi, moto táxi, lotação, veículo fretado e veículo alugado.

2.2 Sistema BRT

2.2.1 Resenha histórica

As origens do sistema BRT (*Bus Rapid Transit*) remontam aos anos de 1937, quando em Chicago foram delineados os planos da cidade para converter três linhas férreas em corredores de ônibus expressos. A partir disso foram desenvolvidas vias de ônibus exclusivas para outras cidades nos Estados Unidos de América, incluindo; Washington DC (1955-1959), St. Louis (1959) e Milwaukee (1970) (TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 2003).

Porém, a implantação de medidas de prioridade para ônibus só ocorreu nos anos de 1960, com a introdução do conceito de faixa de ônibus, em 1963. Em 1966, a primeira via de ônibus no canteiro central foi construída em St. Louis, nos Estados Unidos.

A primeira via de ônibus em um país em desenvolvimento foi criada em Lima (Peru) com a introdução, em 1972, da “Via Expressa”, com distância de 7,5 km. A “Via Expressa” foi um predecessor de muitos dos sistemas BRT da América Latina, sendo que as vias de ônibus básicos ou corredores básicos, os quais são sistemas de transporte de qualidade que embora não alcancem os padrões de desempenho e conforto de um BRT ajuda a melhorar os tempos de viagens dos residentes, estes

sistemas contribuíram imensamente para o desenvolvimento do conceito BRT (WRIGHT e HOOK, 2008).

O primeiro sistema BRT completo no mundo foi desenvolvido em Curitiba, em 1972, criando uma alternativa de baixo custo, mas de alta qualidade, utilizando a tecnologia de ônibus, que entrou em operação em 1974. Praticamente todos os componentes de BRT foram desenvolvidos em Curitiba nos anos de 1970, 80 e começo dos anos 90, embora não se usasse nessa época a expressão *Bus Rapid Transit*. O processo consistia simplesmente na aplicação de novas ideias para melhorar a eficiência e qualidade dos eixos de ônibus expressos da rede integrada de transporte de Curitiba (LERNER, 2009).

Desde então, esta experiência tem inspirado outras cidades para desenvolver sistemas semelhantes, como Quito (1995), Bogotá (2000), Los Angeles (2000), Cidade do México (2003), Jacarta (2004), Pequim (2005), Istambul (2008) e Guangzhou (2010) (WRIGHT e HOOK, 2008). Especialmente, o projeto TransMilenio, em Bogotá, entrou em operação em 2000 e seu sucesso atraiu a atenção da comunidade mundial como um exemplo do estado da arte em sistemas BRT, dado que ainda nos anos 1990, o sistema BRT não era visto como uma opção de transporte de massa capaz de oferecer um serviço completo como os sistemas ferroviários. O TransMilenio transformou radicalmente a percepção do BRT em todo o mundo, por demonstrar que esse sistema é capaz de ter desempenho de alta capacidade para cidades grandes, médias e pequenas (ERNST, 2005; LEVINSON et al, 2003).

2.2.2 Conceituação e componentes do sistema BRT

Sistema BRT (*Bus Rapid Transit*) é um modo de transporte público sobre pneus, veloz e flexível, que combina estações, veículos, serviços, vias e elementos de sistema inteligente de transporte (ITS) em um sistema integrado (CUI et al., 2010; LEVINSON et al, 2003; OLIVEIRA, 2011; THOMAS, 2001; WRIGHT e HOOK, 2008).

Este sistema consiste na eliminação de todo ou qualquer tipo de interferência possível na via, como veículos de passeio, caminhões ou até mesmo outros veículos coletivos que não façam parte do sistema, oferecendo mobilidade urbana rápida e rentável com a proposta de uma via exclusiva para o veículo coletivo, seja faixa exclusiva ou canaleta segregada. É um transporte público inovador que consegue combinar a qualidade e benefícios dos transportes ferroviários ligeiros, como a rapidez e segurança, com a flexibilidade e eficiência dos ônibus (CUI et al., 2010; HENSHER, 2007; OLIVEIRA, 2011; WRIGHT e HOOK, 2008).

Sistemas de BRT pode utilizar uma vasta gama de veículos, desde ônibus padrão até veículos especializados e operando em faixas exclusivas com prioridade de passagem no nível da superfície. Em alguns casos, passagens subterrâneas ou túneis são utilizados para proporcionar separação em interseções ou áreas centrais densas. A estrutura criada para um BRT como um todo promove a macro acessibilidade dos usuários, transportando-os de um terminal a outro terminal. O sistema BRT é considerado a melhor opção para a mobilidade urbana por ser uma solução barata, rápida e moderna para as grandes cidades (WRIGHT e HOOK, 2008).

De acordo com Wright e Hook (2008), os corredores de ônibus ou sistemas BRT ajudam a democratizar o espaço público, aumentam a velocidade do transporte coletivo e diminuem os custos de operação, beneficiando classes de média e baixa renda, sendo também indutores de justiça econômico-social. Este sistema integrado usa ônibus ou veículos especializados em vias rápidas, oferecendo flexibilidade para atender às demandas dinâmicas de tráfego. Estes sistemas podem ser facilmente adaptados para as necessidades da comunidade e incorporar tecnologias de baixo custo que resultam em mais passageiros e menos congestionamento do que as formas tradicionais de transporte público. O sistema custa, em geral, entre quatro e vinte vezes menos que um sistema de bondes ou veículo sobre trilhos.

O sistema BRT é cada vez mais reconhecido como uma das soluções mais eficientes para oferecer serviços de transporte de alta qualidade em áreas urbanas, tanto nos países desenvolvidos como nos países em desenvolvimento. A popularidade do sistema como solução viável para a mobilidade urbana é enfatizado pelo sucesso de implementações pioneiras em cidades como: Curitiba (Brasil), Bogotá (Colômbia), Jacarta (Indonésia), Quito (Equador), Brisbane (Austrália), Ottawa (Canadá) e Rouen (França).

Wright e Hook (2008) ressaltam que há mais de 160 sistemas operando ou em construção em 23 países dos cinco continentes. Entretanto, o mesmo conceito do sistema BRT é conhecido com muitos nomes diferentes, tais como:

- Sistemas de ônibus de alta capacidade;
- Sistemas de ônibus de alta qualidade;
- Metrô ônibus;
- Metrô de superfície;
- Sistemas de ônibus expressos e;
- Sistemas de corredores de ônibus.

Segundo Lerner (2009), entre as grandes vantagens dos sistemas de BRT destacam-se seu custo relativamente baixo e a rapidez de implantação. No entanto, há outros benefícios adicionais:

- Economia de tempo de viagem
- Economia de custo operacional
- Atração de novos passageiros
- Menor emissão de poluentes
- Fontes alternativas de energia

Os principais componentes do sistema BRT são apresentados a seguir (TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 2003; WRIGHT E HOOK, 2008):

- Espaço viário dedicado: É um dos principais atributos de um sistema BRT de alto desempenho, que pode ser usado para reforçar a identidade visual do sistema, deve permitir uma rápida movimentação dos veículos, com a menor interferência possível. Os pavimentos devem ser dimensionados para suportar o efeito dinâmico dos veículos ao longo do tempo. As condições do pavimento influem na velocidade dos veículos, no conforto dos usuários e na imagem do sistema;
- Estações: Estações e terminais proporcionam interface física entre os usuários e o sistema BRT. O correto dimensionamento das estações permite que se evite a formação de filas de ônibus, que normalmente ocorrem em sistemas abertos de grande demanda. As estações devem respeitar e, na medida do possível, aprimorar a qualidade do espaço urbano. Precisam ser confortáveis, seguras e de fácil acesso e devem possibilitar a proteção às intempéries, integração com outras modalidades, circulação segura de pedestres nas travessias das vias urbanas.
- Veículos: Os veículos para um sistema BRT têm um impacto direto na velocidade, capacidade, compatibilidade ambiental e conforto do sistema. São elementos do sistema BRT em que os clientes passam a maior parte do tempo. As opções variam em termos de tamanho, o sistema de propulsão, design, configuração interna, entre outros. Os veículos para um sistema BRT devem ser definidos levando em conta sua forte influência sobre a capacidade, tempo de viagem, confiabilidade do serviço e os custos de operação e manutenção. Estes tem normalmente várias portas e o piso é nivelado com o piso das plataformas nos terminais para agilizar a operação de embarque e desembarque.

- **Serviços:** Os serviços de um sistema BRT definem a percepção do usuário em quanto à qualidade do sistema, em consequência se devem procurar as seguintes características: ser frequente, direto, fácil de entender, confortável, confiável, eficiente operacionalmente, e rápido.
- **Estrutura de linhas:** O sistema BRT deve ser parte de uma rede multimodal integrada de transporte urbano que contemple linhas troncais e alimentadoras. A operação troncal do BRT deve possibilitar serviços radiais, diametrais e circulares, bem como combinações destes.
- **Cobrança:** O sistema de cobrança tarifária deve contribuir à redução do tempo de permanência dos veículos BRT nas plataformas. Cobranças manuais e/ou eletrônicas realizadas em terminais e estações.
- **Sistemas de tráfego inteligentes:** Sistema de informações e controle deve contribuir para tornar a operação do sistema BRT compreensível, rápida, segura e confiável. Deve fornecer informações em tempo real aos usuários nas plataformas ou dentro dos veículos, bem como informações acessíveis a usuários com necessidades especiais.

Como mencionado por Wright e Hook (2008), o sistema BRT pode ser mais precisamente definido por suas características, conforme descrito a seguir.

- **Infraestrutura física**
 - Vias de ônibus segregadas ou faixas exclusivas;
 - Existência de uma rede integrada de corredores e linhas;
 - Estações modernas com instalações que propiciem conforto, segurança e abrigo contra intempéries.
 - Estações que permitam o acesso em nível ao veículo.

- Estações especiais e terminais que facilitem a integração física entre linhas troncais e serviços alimentadores e outros sistemas de transporte de massa.
- Melhoramento no espaço público próximo ao sistema BRT.

- Operações
 - Serviços rápidos e frequentes entre as principais origens e destinos.
 - Ampla capacidade para a demanda de passageiros ao longo do corredor.
 - Embarques e desembarques rápidos.
 - Cobrança e controle de pagamento antes do embarque.
 - Integração tarifária entre linhas, corredores e serviços alimentadores.

- Estrutura institucional de negócios
 - Entrada no sistema restrita a operadores prescritos, sob uma estrutura administrativa e de negócios reformada.
 - Licitação competitiva e processos completamente transparentes.
 - Gerenciamento eficiente.
 - Sistema de cobrança de tarifas operado e gerenciado por entidade independente.
 - Fiscalização de controle de qualidade por uma entidade ou agência independente.

- Tecnologia
 - Tecnologias veiculares de baixas emissões de poluentes e ruídos.
 - Cobrança e verificação de tarifas automatizadas.
 - Sistema de gerenciamento por controle centralizado, utilizando aplicações de sistemas de tráfego inteligentes.
 - Prioridade semafórica ou separação física nas interseções.

- Marketing e serviço ao usuário
 - Sistema com identidade de mercado distinta

- Excelência em serviços e oferecimento de utilidades essenciais aos usuários.
- Facilidade de acesso entre o sistema e demais opções de mobilidade urbana, tais como bicicletas, taxis, transportes alternativos etc.
- Acessível para pessoas portadoras de deficiência física ou mobilidade reduzida.

2.3 Exemplos de sistemas BRT no mundo

2.3.1 Rede Integrada de Transporte (RIT) de Curitiba – Brasil

Com a revolução do transporte público em Curitiba, que ocorreu a partir de 1970, surgiu à necessidade do incremento da frota, fazendo com que os responsáveis pelo transporte público coletivo se preocupassem em propor melhorias no serviço (LERNER, 2009). Assim, foi criado um sistema sobre pneus de alta qualidade, que foi chamado de Rede Integrada de Transporte de Curitiba (RIT).

A proposta mostrou-se inovadora ao Brasil e ao mundo, tratando-se de um sistema tronco-alimentador de ônibus (NTU, 2010) que transformou a cidade e fez de Curitiba um modelo mundial em BRT. Em 1974, o sistema foi implantado com os primeiros 20 km de canaletas exclusivas para ônibus expressos, no eixo Norte/Sul, com paradas de embarque e desembarque especialmente projetadas, e um projeto de comunicação visual para mostrar a integração com as outras linhas do sistema que serviam os bairros. A operação teve início com 22 veículos e velocidade média de 25 km/h. As linhas de ônibus que vinham diretamente ao centro foram, em sua maioria, transformadas em alimentadoras. O ônibus expresso realizava o trabalho de 2,4 ônibus convencionais devido à maior rapidez e capacidade (URBAN, 2004).

Como observado no mapa do sistema RIT Curitiba (figura 2.1), este sistema opera de forma planejada, integrada e em harmonia com o uso do espaço urbano. Este sistema dá prioridade para o transporte coletivo nos principais corredores de tráfego e promove a sua integração com sistemas de transportes de menor capacidade (sistemas alimentadores) (OLIVEIRA, 2011).

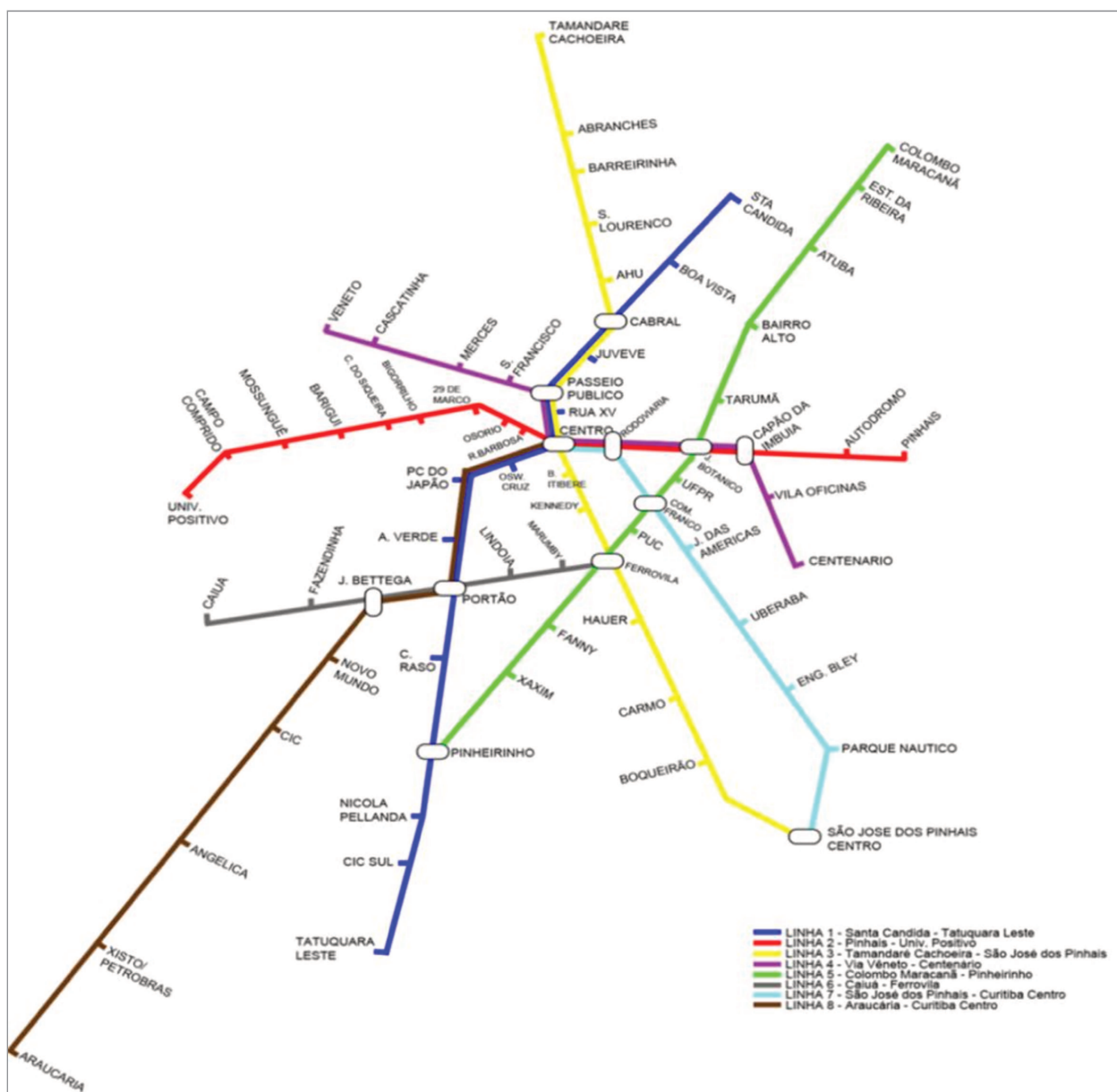


Figura 2. 1 – Mapa do sistema RIT de Curitiba
Fonte: Urbanização de Curitiba S.A, 2013.

- Características físicas do sistema RIT

A rede integrada de transporte permite ao usuário utilizar mais de uma linha de ônibus com pagamento de apenas uma tarifa. Esta rede (representada esquematicamente na figura 2.2) é composta por 340 rotas e quatro tipos de linhas: expressas; alimentadoras; linhas diretas e; interbairros e dois tipos de terminais de integração: terminal de integração urbano e; terminal de integração metropolitano, (URBANIZAÇÃO DE CURITIBA S.A, 2013).

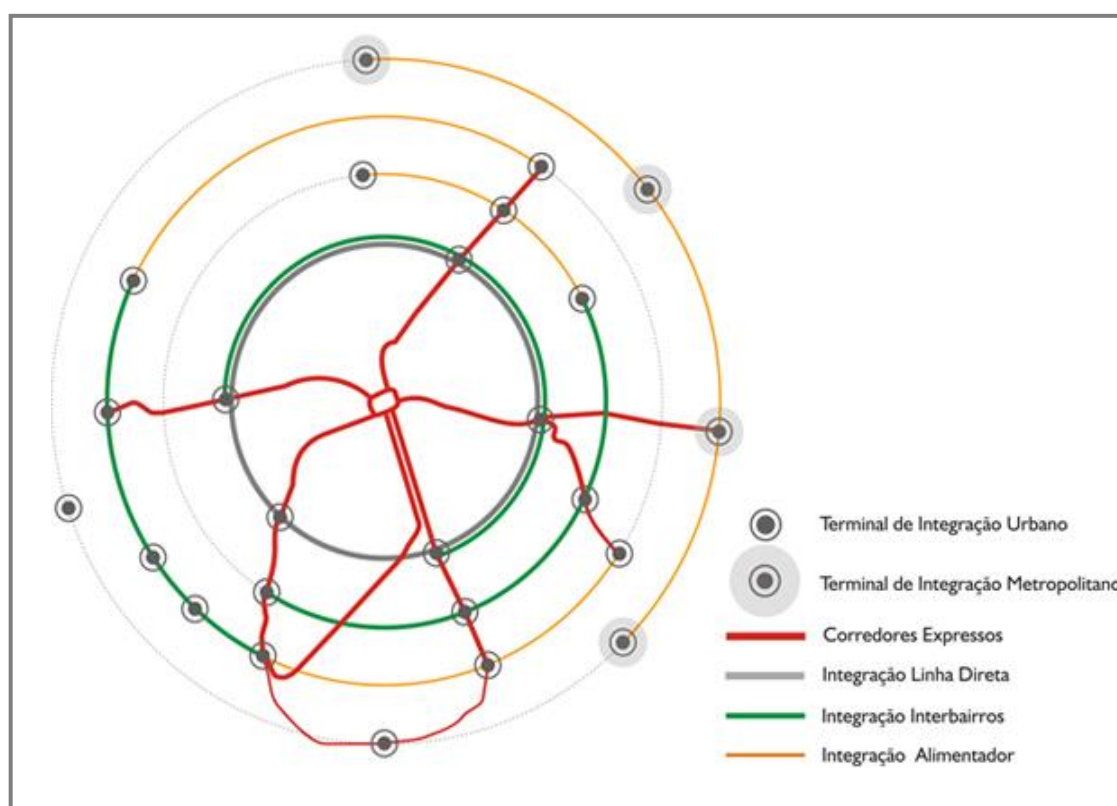


Figura 2. 2 – Esquema viário e terminais

Fonte: Urbanização de Curitiba S.A, 2013.

O sistema tem 30 terminais de integração fechados que permitem uma operação ordenada de poucas linhas de alta frequência na via exclusiva e aumento do conforto térmico no interior (LERNER, 2009). Além disso, os terminais de integração permitem a estruturação dos bairros porque concentram diversas atividades no seu entorno (URBANIZAÇÃO DE CURITIBA S.A, 2013). Um modelo esquemático dos terminais de

integração é apresentado na figura 2.3 na qual se podem observar os elementos que os compõem e a relação com seu entorno.

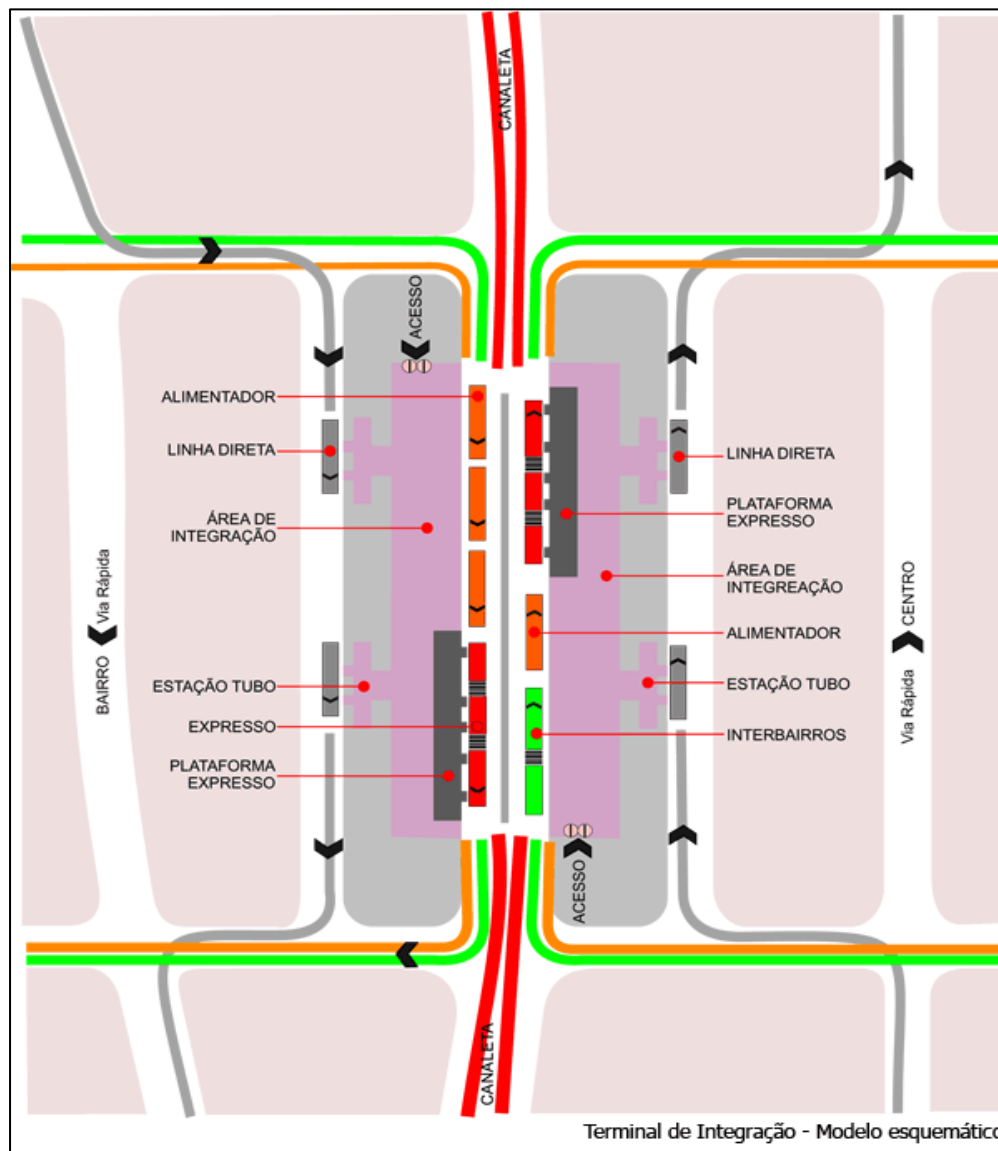


Figura 2. 3 – Esquema dos terminais de Integração
Fonte: Urbanização de Curitiba S.A, 2013.

O sistema RIT se estende por 81 quilômetros de canaletas, vias ou faixas exclusivas, que corre ao longo dos corredores Norte-Sul, Leste-Oeste e Boqueirão, como mostrado na figura 2.4. O pavimento das vias é de concreto (URBANIZAÇÃO DE CURITIBA S.A, 2013).

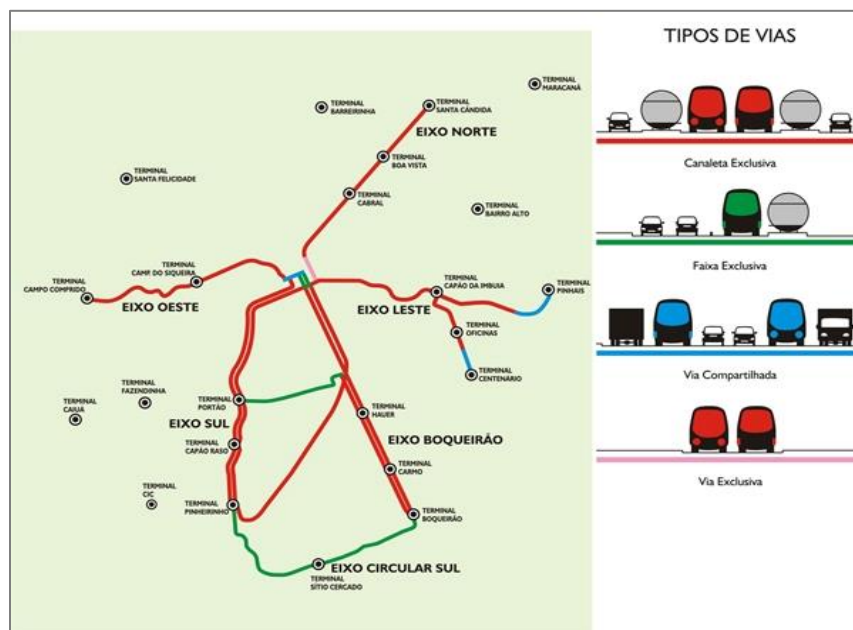


Figura 2. 4 – Estruturação viária
 Fonte: Urbanização de Curitiba S.A, 2013.

O sistema RIT tem 359 estações tubo que permitem a circulação dos usuários e ampla acessibilidade com o pagamento de uma única tarifa (URBANIZAÇÃO DE CURITIBA S.A, 2013). Na figura 2.5 se observa a atividade de embarque e desembarque nas estações tubo.



Figura 2. 5 – Estações tubo
 Fonte: Urbanização de Curitiba S.A, 2013.

Este sistema foi organizado em um eixo estrutural que inclui dois blocos laterais e três vias sendo, portanto, chamado de sistema "trinário" (figura 2.6). A avenida central é dedicada a ônibus BRT (vias de ônibus e estações) e tráfego local que dá acesso a prédios e estacionamentos. As ruas paralelas são dedicadas ao tráfego de maior velocidade (incluindo taxis), com cada rua fornecendo tráfego em uma direção (ao centro da cidade e a periferia). Os blocos laterais são destinados ao uso misto (LINDAU et al., 2010). Como resultado desta concepção, o desenvolvimento urbano é linear ao longo dos eixos estruturais (JUNGE e GROH, 2008).



Figura 2. 6 – Sistema trinário de vias
Fonte: Lindau et al., 2010

- Características operacionais

No sistema RIT, foram adotadas linhas diretas entre terminais de integração e pontos de grande concentração de destinos, aumentando a velocidade comercial do sistema, chegando a 25 km/h (LERNER, 2009). Além disso, as plataformas elevadas dos pisos dos terminais, que estão no mesmo nível do que as dos veículos facilitam o ingresso e saída dos passageiros, o que aumenta a segurança e a eficiência do

sistema, como é mostrado na figura 2.7 (DUARTE e ROJAS, 2012; (URBANIZAÇÃO DE CURITIBA S.A, 2013).



Figura 2. 7 – Sistema de linhas diretas
Fonte: Urbanização de Curitiba S.A, 2013.

Em 2009, a frota era composta por 2275 veículos, dos quais 1930 estavam operantes. Os ônibus têm, como característica particular, as portas à esquerda do veículo, com o fim de facilitar a integração e operação com as estações centrais. O sistema BRT faz uso de veículos maiores ou articulados (figura 2.8) aumentando a capacidade da operação da via exclusiva, chegando a usar ônibus de 25m (270 passageiros) (LERNER, 2009).



Figura 2. 8 – Veículos biarticulados
 Fonte: Urbanização de Curitiba S.A, 2013.

Outra característica importante deste sistema é a prioridade nos cruzamentos controlados por semáforos (LERNER, 2009). Um exemplo é mostrado na figura 2.9.



Figura 2. 9 – Controle semafórico
 Fonte: Urbanização de Curitiba S.A, 2013.

Com abrangência metropolitana, o sistema interliga 14 cidades, proporcionando mobilidade a mais de dois milhões de pessoas diariamente e 21.700 viagens ao dia com atendimento a 25.200 passageiros por hora e por direção (URBANIZAÇÃO DE CURITIBA S.A, 2013).

O embarque pré-pago e em nível dos passageiros é feito em estações tubo, o que aumenta o conforto e a segurança e reduz o tempo médio das paradas (figura 2.10). Estas estações são três vezes mais eficientes do que as paradas e estações de ônibus regulares (LERNER, 2009). As estações e paradas tem maior espaçamento de 500 m até 3 km em alguns casos, o que permite que se incremente a velocidade no serviço (DUARTE e ROJAS, 2012).



Figura 2. 10 – Sistema de embarque pré-pago
Fonte: Urbanização de Curitiba S.A, 2013.

O sistema RIT tem um centro de controle operacional desde 2012, para o monitoramento e supervisão permanente das operações (URBANIZAÇÃO DE CURITIBA S.A, 2013).

2.3.2 Sistema TransMilenio de Bogotá - Colômbia

Uma das cidades pioneiras na adoção do sistema BRT foi Bogotá, que criou o sistema denominado TransMilenio em 2000. Visando uma solução oportuna, duradoura, financiável e contundente para a implantação do transporte público coletivo, a prefeitura de Bogotá deu início a um sistema de alta capacidade de ônibus, inspirado na experiência bem sucedida de Curitiba (FERREIRA, 2007).

O sistema retirou sete mil veículos coletivos particulares de pequeno porte e qualidade precária das ruas da cidade. Apesar de já ser bastante conhecido nos anos de 1990, o BRT ainda não era visto como uma opção de transporte em massa, capaz de oferecer um serviço tão completo quanto os sistemas ferroviários. Os sistemas BRT eram considerados como uma opção para cidades médias e pequenas, e se acreditava que não teriam como atender mais de 12 mil passageiros por hora e por sentido a uma velocidade razoável, com a construção do sistema TransMilenio essa impressão mudou, pois em uma cidade de sete milhões de habitantes este sistema mostrou-se como uma alternativa bem sucedida (NTU, 2010). Em apenas um ano de implantação, o sistema possibilitou um salto na qualidade de vida dos moradores da cidade e na competitividade no sistema de transporte, deixando de lado um modelo de transporte urbano degradado e trazendo consideráveis benefícios ambientais (EMBARQ, 2006).

A construção da primeira fase do sistema começou em 1998 e terminou em 2002, sendo que seu funcionamento foi iniciado em 2000. Já a segunda fase teve início em 2003 e fim em 2006 (TRANSMILENIO S.A., 2007). O sistema completo proposto prevê uma extensão de 388 km (22 corredores) e visa atender a 5,5 milhões de passageiros por dia (TRANSMILENIO S.A., 2013), dos quais 85% devem caminhar no máximo 500 metros (distância média entre as estações) para ter acesso a uma linha troncal, e os 15% restantes devem ter acesso ao sistema por linhas alimentadoras (FERREIRA, 2007).

O sistema TransMilenio transporta 69% da população de Bogotá; 7% se deslocam em ônibus privados e escolares; e 24% em veículos particulares (TRANSMILENIO S.A, 2013). Na figura 2.11 pode se observar o mapa do sistema TransMilenio.

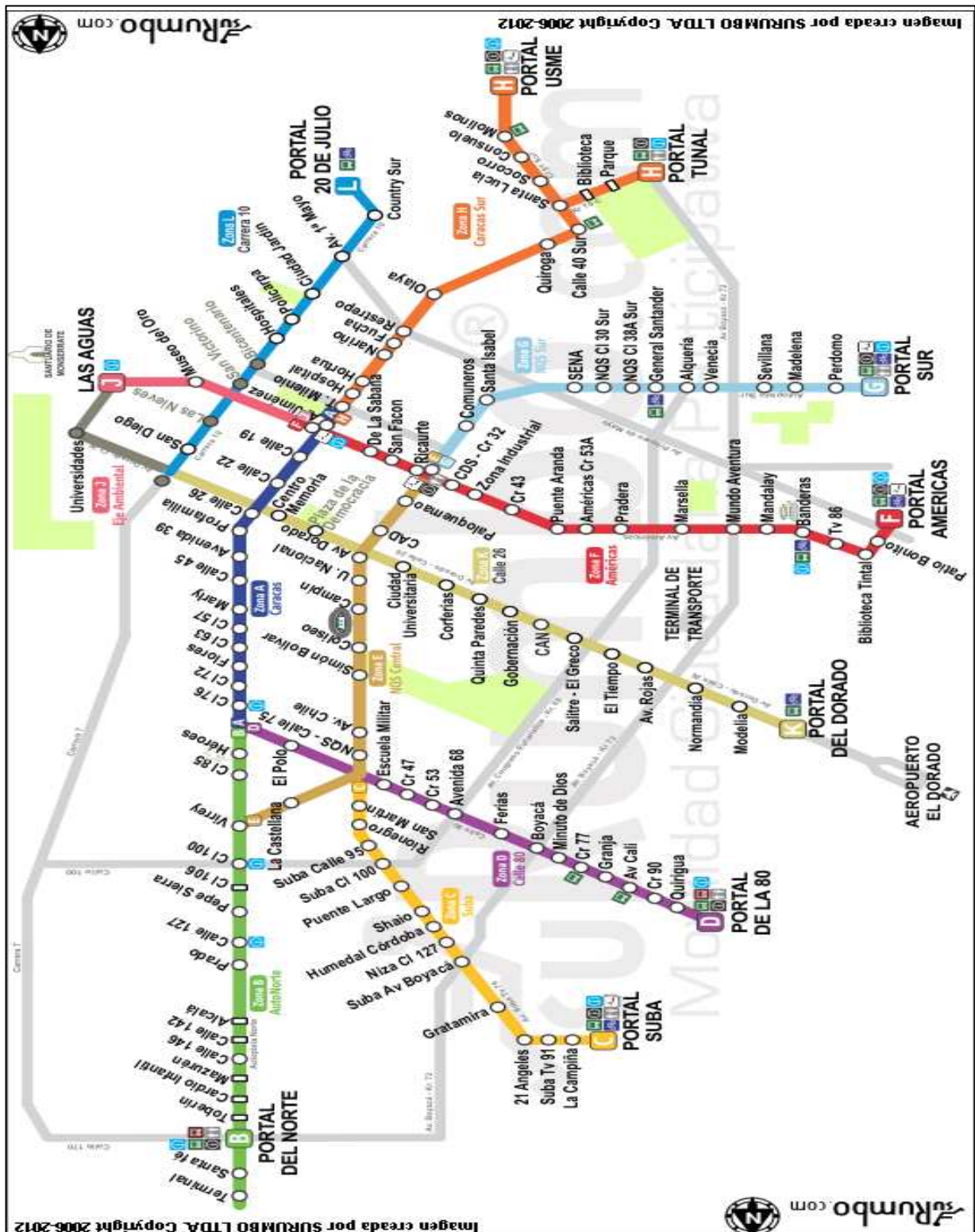


Figura 2. 11 – Mapa do sistema TransMilenio

Fonte: TransMilenio S.A, 2013

- Características físicas do sistema TransMilenio

O sistema TransMilenio se estende por 87 km de vias segregadas (figura 2.12), para os serviços troncais, que correspondem às canaletas centrais (TransMilenio S.A, 2013). As vias segregadas permitem que o ônibus transite a velocidades mais elevadas, sem interferência com tráfego misto; além disso, as vias em faixa dupla permitem ultrapassagens e possibilidades de linhas expressas. Estas medidas facilitam a movimentação de passageiros e reduzem o tempo de manobra do ônibus (ARDILA, 2007).

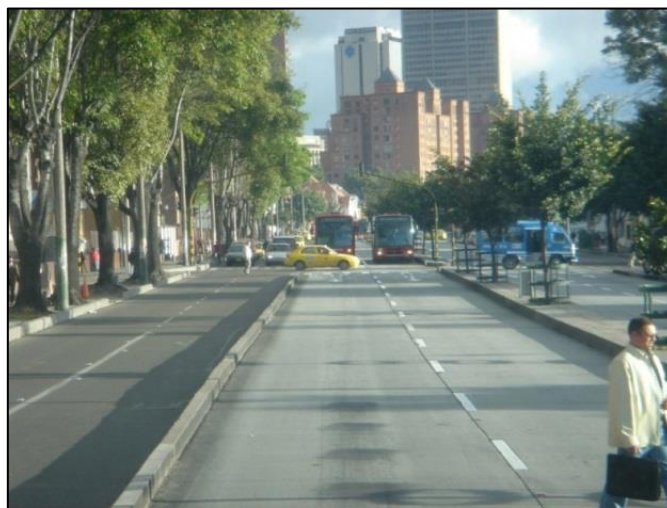


Figura 2. 12 – Vias segregadas
Fonte: TransMilenio S.A, 2013

Este sistema tem 115 estações fechadas e desenhadas especialmente, com a finalidade de ordenar o trânsito. Estas estações são os únicos pontos de parada dos serviços troncais para embarque e desembarque de passageiros. Como pode ser observado na figura 2.13, o nível do piso das plataformas das estações coincide com o nível interno do piso dos veículos (90 cm do pavimento), possibilitando que o embarque e desembarque sejam feitos de maneira mais rápida (LERNER, 2009; TRANSMILENIO, 2013).



Figura 2. 13 – Portas no nível das plataformas
 Fonte: World Bank, 2003

O sistema inclui três tipos de estações: simples, de terminais e intermediarias (TRANSMILENIO, 2013; WORLD BANK, 2003).

As estações simples (figura 2.14) são pontos de parada nos corredores exclusivos, localizadas entre 500 e 700m de distância.



Figura 2. 14 – Estações simples
 Fonte: TransMilenio S.A, 2013

Os terminais (figura 2.15) localizam-se nos pontos inicial e final das rotas troncais. Nestas estações são realizados os transbordos entre os ônibus troncais,

alimentadores de transporte intermunicipal e bicicletas. A tarifa é integrada para todo o sistema.



Figura 2. 15 – Estações terminais.
Fonte: TransMilenio S.A, 2013

A estação intermediária (figura 2.16) são pontos de interseção nos corredores troncais do sistema. Os usuários podem realizar transbordos entre ônibus alimentadores urbanos e ônibus troncais.



Figura 2. 16 – Estações intermediárias.
Fonte: TransMilenio S.A, 2013

- Características operacionais do sistema TransMilenio de Bogotá

Serviços troncais são as rotas que cruzam diferentes zonas da cidade, estes serviços usam as vias principais, especificamente a pista central, estão separadas fisicamente das pistas de uso misto, é por isso a denominação de vias segregadas ou corredores exclusivos, estes serviços iniciam e terminam o seu percurso nas estações de cabeceira do sistema. Neste corredor só operam os ônibus do sistema TransMilenio. Os serviços de rotas troncais oferecidos são de três tipos: *(i)* rota fácil, *(ii)* expressos e *(iii)* super expressos (TRANSMILENIO, 2013).

- Serviços rota fácil: estes serviços param em todas as estações ao longo do recorrido da rota.
- Serviços expressos: são aqueles que foram concebidos para servir áreas específicas previamente identificadas (origem-destino), estes serviços param nas estações designadas, têm uma maior velocidade comercial aos serviços de rota fácil.
- Serviços super expressos: eles param somente em algumas estações (menor número do que os serviços expressos), favorecendo os usuários que fazem longas viagens dentro do sistema, uma vez que têm menos paradas.

Uma inovação introduzida em Bogotá no conceito de BRT é que, além das linhas regulares, que param em cada ponto de ônibus, existem linhas expressas, que param apenas nas principais estações, aumentando assim a velocidade de funcionamento global do sistema. As linhas principais são operadas por ônibus biarticulados e são alimentadas nos terminais, por linhas alimentadoras da região metropolitana (DUARTE e ROJAS, 2012).

Serviços alimentadores são as rotas que provêm de uma zona específica (periférica) e se integram aos serviços troncais, operando de maneira sincronizada com

estes serviços para diminuir o tempo de espera do usuário (CHAPARRO, 2002; TRANSMILENIO, 2013).

O TransMilenio transporta cerca 2,8 milhões de passageiros por dia, tem capacidade para até 50 mil passageiros por hora e por sentido e atende 318 bairros da capital colombiana (NTU, 2010). A velocidade média com a que operam os ônibus na rota troncal é de 26 km/h (TRANSMILENIO, 2013).

A frota é composta por 1392 veículos, divididos em ônibus articulados, biarticulados e alimentadores. Os ônibus articulados têm uma capacidade para 160 passageiros, 18 m de comprimento, quatro portas de 1,10 m do lado esquerdo do veículo e motores alimentados por diesel; os veículos biarticulados têm 27,2 m, com capacidade para 260 passageiros, sete portas de 1,10 m do lado esquerdo do veículo. Estes veículos permitem atender corredores com maior demanda. Na figura 2.17 pode se observar um veículo articulado do sistema TransMilenio. (TRANSMILENIO, 2013).



Figura 2. 17 – Veículo articulado
Fonte: World Bank, 2003

Quanto às operações, o TransMilenio possui um centro de controle operacional equipado com 10 estações de trabalho, cada uma apta a controlar 100 ônibus articulados. Este sistema faz com que seja possível controlar a velocidade, frequência,

horários, rotas dos veículos, permitindo uma prestação adequada dos serviços que o sistema oferece em cada um dos seus percursos. Todos os ônibus possuem uma unidade lógica conectada com o GPS e o sistema automático de abertura de portas (JUNGE e GROH, 2008; TRANSMILENIO, 2013).

Os sistemas de cobrança possuem os seguintes dispositivos: (i) pontos localizados nos acessos das estações; (ii) pontos de venda externos; (iii) terminais de carga automática; (iv) terminais de recargas móveis; (v) barreiras de controle de acesso dos usuários. Os passageiros pagam quando entram na estação, como em um sistema ferroviário. O processo de cobrança é eletrônico, pré-pago e administrado por uma empresa particular (JUNGE e GROH, 2008).

2.3.3 BRT Line 1 de Beijing - China

O sistema BRT Line 1 iniciou suas operações comerciais em dezembro de 2004. A linha piloto teve apenas 5,5 km de comprimento, na primeira fase. Em dezembro de 2005, o BRT Linha 1 começou a operar plenamente e foi ampliado para 16,5 km. O percurso começa em Qianmen (centro da cidade) e termina no Demaozhuang (área residencial do sul), percorrendo 19 estações (DENG e NELSON, 2013; LERNER, 2009). A figura 2.18 mostra este sistema em funcionamento.

Este sistema foi implantado para satisfazer à crescente demanda de viagens e oferecer uma opção mais rápida e confiável para os passageiros que viajam a partir do centro da cidade para a zona sul. Assim, o tempo de viagem reduziu quase 40% com alto número de passageiros (DENG e NELSON, 2013).



Figura 2. 18 – Vista geral do sistema BRT Line 1 de Beijing
 Fonte: Beijing BRT, 2013

- Características físicas do sistema BRT Line 1 de Beijing

O sistema BRT Line 1 de Beijing se estende por 16,5 km de vias segregadas, prestando serviço a 200 mil residentes em oito áreas residenciais e quatro áreas comerciais nos bairros do sul da cidade. Estas vias correspondem à canaleta central das vias principais da cidade como mostrado na figura 2.19 (DARIDO, 2006).



Figura 2. 19 – Via segregada do corredor BRT Line 1 de Beijing
 Fonte: Beijing BRT, 2013

O corredor Line 1 do sistema BRT de Beijing tem 19 estações semifechadas e iluminadas, com distância de 940 m entre estações centrais, e de 75 m e 40 m entre estações intermediárias. As estações estão localizadas no meio da via e algumas estão conectadas por passarelas de pedestres (DARIDO, 2006; BEIJING BRT, 2013). Na figura 2.20 se observa uma estação semifechada e a sua localização.



Figura 2. 20 – Estação intermediarias
Fonte: Beijing BRT, 2013

- Características operacionais do sistema BRT Line 1 de Beijing

Uma das principais vantagens do BRT é a maior velocidade de operação, em comparação com a velocidade em tráfego misto. No caso do BRT Line 1, a velocidade média operacional passou de 16 km/h a 22 km/h em horário de pico e 26 km/h fora do horário de pico (DARIDO, 2006; DENG e NELSON, 2013).

Os ônibus são articulados, com 18,5 m de comprimento e piso baixo (figura 2.21) (DARIDO, 2006; LERNER, 2009); eles têm três portas localizadas do lado esquerdo do veículo, para facilitar as operações de embarque e desembarque (BEIJING BRT, 2013).



Figura 2. 21 – Ônibus articulado BRT
 Fonte: Darido, 2006

As plataformas de embarque e desembarque estão no mesmo nível do piso dos ônibus (figura 2.22) (DARIDO, 2006).



Figura 2. 22 – Acesso em nível das plataformas
 Fonte: Beijing BRT, 2013

Uma característica importante deste sistema é a prioridade nos cruzamentos controlados por semáforos (DARIDO, 2006; DENG e NELSON, 2013), como observado na figura 2.23.



Figura 2. 23 – Controle de prioridade nos cruzamentos
Fonte: Beijing BRT, 2013

A frequência do serviço é de aproximadamente 1,5 min. no horário de pico e de 2 a 3 min. fora do pico. Há monitoramento e informação em tempo real aos passageiros, e o sistema de cobrança é eletrônico (DARIDO, 2006; DENG e NELSON, 2013).

2.3.4 Metrobús da Cidade do México - México

O primeiro sistema de BRT da América do Norte foi inaugurado em 2005 na Cidade de México: o Metrobús, ao longo da Avenida Insurgentes, a principal artéria norte-sul da cidade, a qual pode ser observada no mapa do Metrobús (figura 2.24). Este sistema conseguiu reduzir em 40% o tempo de viagem dos 760 mil passageiros transportados diariamente nas quatro linhas do sistema (LERNER, 2009; SANDS et al., 2008).

A implantação do Metrobús representou uma reforma integral do sistema convencional de transporte público de passageiros, incluindo: (i) modificação do

esquema organizacional para melhorar as condições de serviço e operação; *(ii)* adequação da infraestrutura viária para aumentar o fluxo de veículos; e *(iii)* modernização da frota para obter maior eficiência energética, propiciando assim uma diminuição significativa dos níveis de emissão de gases poluentes na atmosfera (METROBUS, 2012).

- Características físicas do sistema Metrobús

O sistema Metrobús abrange um total de 93 quilômetros, distribuídos em quatro corredores (CTS EMBARQ, 2012; METROBÚS, 2013).



Figura 2. 25 – Vía exclusiva
Fonte: Metrobús, 2013

Linha 1: São 30 km de via segregada em ambos os sentidos (figura 2.25), com três terminais e 44 estações intermediárias (figura 2.26). Esta linha atende a seis distritos da cidade.

Linha 2: 20 km de via segregada em ambos os sentidos, tem dois terminais e 34 estações intermediárias. Atende a cinco distritos da cidade.

Linha 3: Se estende em 17 km de vias segregadas em ambos os sentidos, com quatro terminais e 31 estações intermediárias. Atende a cinco distritos da cidade.

Linha 4: São 28 km de vias segregadas, tem três terminais e 32 estações intermediárias. Esta linha atende a dois distritos da cidade.



Figura 2. 26 – Estações intermediárias
Fonte: Metrobús, 2013

O acesso às estações é devidamente adequado com elementos tais como passarelas, como vemos na figura 2.27 (CTS EMBARQ, 2012; METROBUS, 2013).



Figura 2. 27 – Acesso às estações
Fonte: Metrobús, 2013

- Características operacionais do sistema Metrobús

O Metrobús atende a 800 mil passageiros por dia: 440 mil na linha 1; 170 mil na linha 2; 140 mil na linha 3 e 50 mil na linha 4 (CTS EMBARQ, 2012; METROBUS, 2013).

O sistema opera com 352 ônibus articulados de 18 m, capacidade para 160 passageiros, e 13 ônibus biarticulados de 25 m de comprimento com capacidade para 240 passageiros (figura 2.28), proporcionando redução de 38% no tempo de viagem (CTS EMBARQ, 2012; LÁMBARRY et al., 2010; SANDS et al., 2008).



Figura 2. 28 – Ônibus biarticulado

Fonte: Metrobús, 2013

As linhas do sistema têm ligação com outros modos de transporte, como o metrô e o trem suburbano (METROBUS, 2013). Para agilizar as operações de embarque e desembarque, as plataformas das estações são niveladas com os pisos dos veículos (figura 2.29). O sistema de cobrança de tarifas é pré-embarque (SANDS et al., 2008).



Figura 2. 29 – Plataformas no nível dos veículos
Fonte: Metrobús, 2013

Como consideram Wright e Hook (2008) e Sands et al. (2008), os sistemas BRT têm demonstrado potencial para reduzir as emissões de CO₂. O Metrobús é um exemplo recente do seu impacto na mudança do clima, pois está reduzindo 110.000 toneladas de CO₂ por ano, ao mesmo tempo em que melhora a mobilidade dos passageiros (METROBÚS, 2013).

3. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

3.1 Desempenho do sistema de transporte

Para a NTU (2008, p.5), “desempenho do sistema de transporte público urbano é qualquer fator, quantitativo ou qualitativo, usado para avaliar um aspecto particular do sistema”. Segundo Câmara (2006) e Santana Filho (1984) e, o desempenho está baseado na qualidade dos serviços prestados e no nível em que as necessidades dos usuários são atendidas. Considerando que o sistema de transporte público urbano é o responsável pelos deslocamentos da população de uma cidade, ele deve obedecer a padrões mínimos de qualidade com o fim de garantir o melhor desempenho.

Para Vasconcellos (2000), o desempenho pode estar restrito pela capacidade de transportar passageiros ao longo do percurso, velocidade, tempo de viagem e fluidez no tráfego. No entanto, Silva (2005) afirma que o desempenho dos sistemas BRT está relacionado às características físicas viárias e do tipo de vias rápidas que os compõem; estas características são agrupadas na tabela 3.1.

Tabela 3. 1 – Características relacionadas ao desempenho dos sistemas BRT

Características operacionais	Características físicas e funcionais do sistema	Características do sistema viário	Características das vias exclusivas
Capacidade Velocidade Fluidez no tráfego	Terminais/Estações Dispositivos eletrônicos Tecnologia veicular	Geometria Pavimento Classificação viária	Nível de segregação

Fonte: Silva, 2005

A avaliação de desempenho do sistema de transportes nos grandes centros urbanos “faz parte do processo de operação, monitoração e gestão do sistema que há tempos vem sendo um objetivo a alcançar.” (ANTP, 2007, p.10).

A avaliação de desempenho do sistema de transportes deve ter uma abordagem ampla que busque o entendimento de todos os aspectos econômicos, sociais e ambientais influenciados pelo sistema de transporte em estudo (MOREIRA, 2000). Para tanto, as medidas de avaliação de desempenho devem representar o ponto de vista de todos os atores diretamente envolvidos (NTU, 2008).

3.2 Métodos utilizados para a avaliação de desempenho em transportes

3.2.1 Análise Custo-Benefício

Análise custo-benefício é um método que pode ser empregado em qualquer análise econômica, seja privada ou pública. Porém, esta análise é aplicada, principalmente, em empreendimentos de maior escala, como obras públicas, onde a conceituação de benefício é mais complexa do que em empreendimentos privados (DAMART e ROY, 2009; HIRSCHFELD, 1992).

Segundo CEPAL (1997), o método de análise custo-benefício baseia-se em um princípio muito simples que consiste em comparar os custos e os benefícios econômicos do projeto. É requisito básico desta análise que os custos e benefícios sejam expressos em unidades monetárias.

Este método é utilizado, geralmente, na avaliação do projeto na etapa ex-ante para tomar uma decisão a respeito da sua execução, rejeição ou postergação, quantificar benefícios sociais e custos (BROWNE e RYAN, 2011).

A análise custo-benefício é atualmente utilizada em uma variedade de situações, incluindo: (i) avaliação dos custos e benefícios de infraestrutura de transportes, tais como estradas e transportes públicos, (ii) estimativa do congestionamento e impactos no tempo de viagem de projetos de transporte, (iii) comparação de diferentes escolhas tecnológicas, (iv) avaliação dos custos e benefícios em análise de cenários, e (v)

avaliação da política de transportes em geral. No entanto, a sua utilização parece ser dominante em avaliação de projetos, especialmente na construção de novas estradas (CAULFIELD et al., 2013).

As principais vantagens da análise custo-benefício em avaliação de viabilidade de projetos, políticas e programas de transportes são: *(i)* pode ser usada para comparar os custos e benefícios de uma forma clara e transparente, *(ii)* usada também para internalizar e quantificar os impactos das políticas e programas de transporte na forma de indicador, e *(iii)* pode mostrar a eficácia econômica ou impactos de bem-estar, ou seja, onde os preços reflitam os custos marginais ou onde os custos marginais excedam os benefícios marginais (LITMAN, 2009).

Apesar de ser uma ferramenta amplamente aceita, tem várias limitações, pois vários estudos indicaram que é muito difícil monetizar os impactos de projetos de transportes, em especial os benefícios ou custos que não têm valor econômico constante, tais como poluição do ar, poluição sonora, acidentes e tempo de viagem (BROWNE e RYAN, 2011 apud CAULFIELD et al., 2013).

3.2.2 Análise Multicritério

A análise multicritério é um termo abrangente usado para descrever um conjunto de modelos formais que buscam considerar explicitamente critérios múltiplos ao ajudar indivíduos ou grupos a explorar decisões importantes (BELTON e STEWART, 2002).

Este método de avaliação surgiu como uma alternativa à análise custo-benefício. A principal diferença entre elas é que a análise multicritério pode levar em conta parâmetros qualitativos e quantitativos, enquanto a análise custo-benefício considera apenas valores monetários de custo e benefício (TUDELA et al., 2006). Portanto, a análise multicritério evita estimar os valores monetários dos impactos que são difíceis de monetizar como, por exemplo, os impactos ambientais.

Como afirma Fernandes (1996), o método é apropriado para analisar projetos específicos, identificando seu grau de impacto global. Assim, a análise multicritério costuma ser mais aplicada na avaliação de projetos de transporte do que de programas ou políticas globais. A análise multicritério é cada vez mais utilizada para auxiliar a tomada de decisão, devido à sua capacidade de incorporar os efeitos não monetários na avaliação (CAULFIELD et al, 2013). Além disso, este método pode ser usado para avaliações ex-ante e ex-post de sistemas de transporte (WRIGHT, 1985).

Segundo Munda (2004) e White e Lee (2009) este método também possui fraquezas inerentes, entre as quais se destacam: (i) subjetividade de resultados pela avaliação baseada em ponderações valorativas dos critérios e (ii) devido à complexidade do método, os resultados obtidos podem criar uma percepção polarizada entre os atores (resultados totalmente confiáveis ou desconfiáveis).

3.2.3 Abordagem de características

O método de abordagem de características faz uma descrição das características de um problema, propõe as alternativas para resolvê-lo e apresenta os custos de cada uma delas. Os estudos de abordagem de características costumam ser sucintos e claros; o método é sistêmico, pois se caracteriza por estudar problemas como um todo (WRIGHT 1985).

O processo da abordagem de características começa com a definição do problema a ser resolvido, com base nas características que devem ser alteradas, de acordo com as necessidades dos usuários do transporte coletivo (Figura 3.1). Portanto, os planejadores examinam sistematicamente os meios alternativos de fornecer tais características. Essa análise exige combinações apropriadas de políticas, modalidades e medidas de engenharia de tráfego que forneçam aos usuários as condições favoráveis de que necessitam, ou seja, as melhores características de transporte na percepção desses usuários (SILVA, 2005).

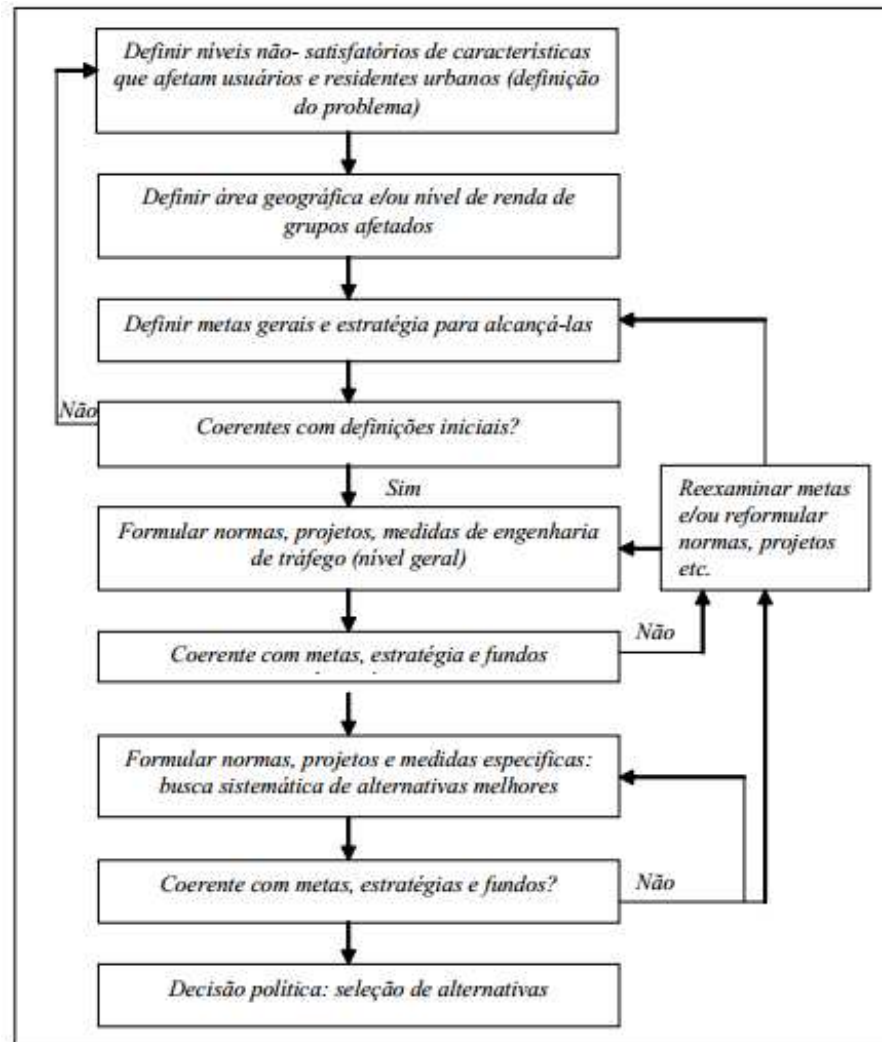


Figura 3. 1– Método da abordagem de características

Fonte: Silva, 2005

3.2.4 Padrão de qualidade de BRT

O padrão de qualidade é uma ferramenta desenvolvida pelo *Institute for Transportation and Development Policy* (ITDP) em 2010, para avaliar o desempenho dos sistemas BRT. Inicialmente, foi aplicado aos sistemas existentes nos EUA, mas à medida que há necessidade de fazer avaliações em outros países, se reconheceu sua aplicabilidade internacional. O padrão de qualidade de BRT tem dois usos principais:

- Avaliar sistemas já construídos para identificar aqueles que apresentam melhor qualidade.
- Ser usado por planejadores, tomadores de decisões e cidadãos interessados como uma forma de avaliar os corredores BRT na fase de planejamento.

Em 2011, desenvolveu-se o documento Padrão de Qualidade de BRT, Versão 1.0, que usa características de projeto como indicadores de um melhor desempenho e experiência dos usuários, mediante um sistema de pontuação planejado. Os critérios usados para definir o sistema de pontos são os seguintes:

- Os pontos devem funcionar como indicadores aproximados de uma qualidade superior de serviço ao usuário (velocidade, conforto, capacidade, etc.).
- Os pontos são atribuídos com base num consenso entre especialistas de BRT sobre o que constitui uma melhor prática de planejamento e projeto de um sistema.
- Os pontos devem recompensar a capacidade de tomada de decisão das equipes, que facilitem o melhor desempenho do sistema.
- Os elementos de mensuração e ponderação devem ser aplicáveis de forma fácil e equitativa a uma ampla gama de sistemas BRT em contextos diferentes.
- A base da pontuação deve ser a mais clara possível e deve ser verificável sem recurso a informações que não estejam facilmente disponíveis.

O padrão de qualidade depende de características facilmente observáveis do sistema que estejam associadas a um alto nível de desempenho. As principais razões desta abordagem são:

- Possibilidade de avaliar tanto os sistemas planejados como os existentes.
- Obter os dados de qualidade é caro e os dados são raros.
- Os indicadores de desempenho, quando usados de forma isolada, podem incentivar os projetistas a tentar obter maior pontuação, propondo soluções

fáceis, não avaliadas em todos os aspectos de influência do sistema, que às vezes podem se tornar enganosas.

- Os indicadores de desempenho podem fomentar o uso indiscriminado de recursos que facilitem a obtenção de maior pontuação.

O sistema de pontuação mostra os critérios e o número de pontos correspondentes do padrão de qualidade de BRT, os quais fazem um total de 100 pontos. As categorias que fazem parte do padrão são as seguintes:

- Planejamento dos serviços
- Projeto da estação e interface entre a estação e os ônibus
- Qualidade do serviço e sistemas de informações aos passageiros
- Infraestrutura
- Integração e acesso.

Existem também no padrão fatores considerados negativos para os sistemas planejados, como se especifica na tabela 3.2.

Tabela 3. 2 – Fatores negativos para os sistemas planejados

Baixas velocidades comerciais: velocidade comercial média de 13 km/h	-10
Menos de 1000 passageiros por hora e por sentido no pico	-5
Falta de fiscalização da prioridade de passagem	-5
Vão muito pronunciado entre o piso do ônibus e a plataforma da estação	-5
Estação invade a calçada ou a via de ônibus	-3
Superlotação	-3
Manutenção precária de ônibus e estações	-3
Distância entre as estações muito longa ou muito curta	-2

Fonte: ITDP, 2010

O padrão de qualidade de BRT complementa outras ferramentas de avaliação de projetos, como a análise custo-benefício. Quando o padrão de qualidade é usado de forma isolada de outros métodos de avaliação de custos, ele pode encorajar despesas excessivas com infraestrutura de BRT de qualidade mais elevada (ITDP, 2010).

3.3 Indicadores de desempenho

Segundo Holanda (2001), os indicadores são instrumentos utilizados para descrever um dado objeto ou acontecimento, segundo uma determinada ótica ou interesse. Para tanto, os indicadores devem obedecer a algumas condições. Allen e Grimm (1980, apud Holanda 2001) afirmam que os indicadores devem: (i) estar relacionados com um objetivo declarado do sistema; (ii) ser facilmente compreensíveis e definíveis; (iii) ser objetivos; (iv) ser mensuráveis a partir de dados disponíveis; (v) ser metodologicamente corretos; (vi) ser aceitos pelas partes envolvidas.

No caso dos transportes, os indicadores são instrumentos de avaliação de desempenho que fornecem informações sobre diversos aspectos de uma operação de transporte. Referem-se às informações que, em termos conceituais, são mensuráveis independentemente de sua coleta obedecer a técnicas ou abordagens qualitativas ou quantitativas (U.S DEPARTMENT OF TRANSPORTATION CONFERENCE ON URBAN TRANSIT PERFORMANCE, 1977 apud BRAZ, 1984).

Segundo Faria (1985), um conjunto de atributos define se um sistema de transportes é melhor ou pior, do ponto de vista dos usuários. Dessa forma, os usuários, por meio de suas preferências diferenciadas em relação às características oferecidas pelos transportes, fazem suas escolhas entre as diversas modalidades existentes.

Existem diversos trabalhos e autores que descrevem os atributos utilizados para medir o desempenho do transporte público urbano. Ferraz e Torres (2004), por exemplo, discorrem sobre o conceito de alguns atributos:

- Acessibilidade: distância percorrida para iniciar e finalizar a viagem por transporte público e a comodidade experimentada nesses percursos;
- Frequência de atendimento: refere-se ao intervalo de tempo da passagem dos veículos do transporte público;
- Tempo de viagem: tempo gasto no interior dos veículos o qual depende da velocidade média e da distância percorrida;
- Lotação: quantidade de passageiros no interior dos veículos;
- Confiabilidade: grau de certeza dos usuários de que o veículo irá passar na origem e chegar ao destino;
- Segurança: está relacionada à frequência de acidentes com veículos coletivos;
- Características dos veículos: a tecnologia e o estado de conservação dos veículos são fatores determinantes na comodidade dos usuários;
- Características dos locais de parada: sinalização adequada e existência de cobertura e bancos para sentar;
- Sistema de informações: abrangem horários, itinerários, informações sobre a linha e informações no interior dos veículos;
- Conectividade: facilidade de deslocamento dos usuários entre dois locais da cidade;
- Comportamento dos operadores: os aspectos importantes são conduzir o veículo com habilidade e tratar os passageiros com respeito;
- Estado das vias: considera-se importante a qualidade da superfície de rolamento e a ausência de lombadas e valetas, a fim de evitar reduções de velocidade.

Faria (1985), por sua vez, apresenta os seguintes atributos:

- Tempo de espera: tem relação direta com a frequência de atendimento do sistema de transporte. No funcionamento do sistema de transporte, são desejáveis tempos de espera menores.
- Tempo total da viagem: de maior importância no transporte coletivo, especialmente nas viagens pendulares;
- Disponibilidade de ônibus reserva: fator fundamental, pois quando existe uma falha mecânica no ônibus em operação, ele é encaminhado para manutenção e substituído por outro. O tempo decorrido na substituição influencia no tempo total da viagem dos passageiros que estão dentro do ônibus e dos que estão esperando por ele nos pontos de parada;
- Regularidade dos horários: muito importante nas linhas de baixa frequência, devido ao desconforto psicológico da espera. Características associadas ao conforto, como ventilação, temperatura, ruído, densidade de passageiros, vibração, iluminação, tipo do assento, aceleração e desaceleração, devem estar adequadas para que os usuários tenham um nível de conforto psicológico desejável; caso contrário, o sistema se torna insatisfatório.

A primeira conferência nacional sobre “Desempenho de Sistemas de Transporte”, realizada em Norfolk, Virginia, em 1977, concluiu que o desempenho do transporte pode ser avaliado segundo dois importantes conceitos: eficiência e eficácia (TALLEY e ANDERSON, 1980).

- Eficiência é a capacidade do sistema de utilizar recursos de capital e mão de obra disponível na realização dos serviços;
- Eficácia refere-se ao nível de serviço alcançado pelo sistema no atendimento aos seus objetivos.

A Associação Nacional de Empresas de Transportes Urbanos (2006) identifica os seguintes indicadores de avaliação de desempenho para os serviços de transporte público:

- Mobilidade urbana;
- Frota;
- Desempenho operacional;
- Tarifa;
- Ambiente da operação;
- Ambiente institucional.

3.4 Exemplos de avaliação de desempenho de sistemas BRT

Neste item, são apresentados exemplos de avaliação de desempenho relativos aos sistemas BRT de Curitiba, Bogotá e Beijing, descritos no Capítulo 2.

3.4.1 Rede Integrada de Transporte (RIT) de Curitiba – Brasil

Silva (2005), em sua dissertação de mestrado, fez uma avaliação do sistema RIT de Curitiba, por meio de uma análise qualitativa das suas características físicas e operacionais, a fim de contribuir para os estudos de implantação de vias exclusivas, sob a ótica da Abordagem de características. A autora propõe uma avaliação qualitativa referente ao desempenho do sistema, relacionado às suas características físicas, diante dos vários níveis de desempenho relacionados à velocidade, capacidade do sistema e condições de fluidez no tráfego.

- Características físicas
 - Características relacionadas ao sistema viário: pavimento, geometria e classificação das vias;

- Características físicas e funcionais do sistema: características das paradas e estações, da tecnologia veicular e dos dispositivos eletrônicos;
 - Características das vias exclusivas: nível de segregação.
- Características operacionais (Variáveis de desempenho)
 - Capacidade do sistema;
 - Velocidade operacional;
 - Fluidez no tráfego.

Em seguida, foi feito um cruzamento entre as características físicas do sistema e as características operacionais (denominadas variáveis de desempenho), representado na tabela 3.3.

Tabela 3. 3 – Relação entre as características físicas do sistema e as características operacionais (variáveis de desempenho)

Variáveis/ desempenho		Capacidade do sistema	Velocidade operacional	Fluidez no tráfego
Características físicas do sistema				
Características Físicas/funcionais do sistema	Estações	X	X	
	Dispositivos eletrônicos	X		X
	Tecnologia veicular	X	X	
Características do sistema viário	Geometria		X	X
	Pavimento		X	
	Classificação viária		X	
Características das vias exclusivas	Nível de segregação		X	X

Fonte: Silva, 2005

Da tabela 3.3 foram identificadas doze relações entre as características físicas do sistema e as características operacionais. Também abordada a percepção dos usuários frente aos transportes urbanos, a partir das seguintes características:

(a) tempo de espera; (b) segurança; (c) conforto; (d) tempo de viagem; (e) frequência; (f) acessibilidade; e (g) custo.

Três destas características foram objeto de observação neste estudo: segurança, conforto e tempo de viagem. Assim, se fez um cruzamento de dados das características físicas e operacionais com as três características de percepção dos usuários.

Os resultados obtidos mostram que as características de desempenho operacional influenciam no tempo de viagem e no conforto dos usuários, pelas condições de tráfego na via, velocidade e a lotação dos veículos.

3.4.2 Sistema TransMilenio de Bogotá – Colômbia

Hidalgo et al. (2013) apresentam uma avaliação de desempenho ex-post do sistema TransMilenio de Bogotá. Foi utilizada a análise custo-benefício, que inclui a avaliação monetária dos impactos diretos sobre o tempo de viagem e custos de viagem e externalidades, como a melhoria da segurança rodoviária e da qualidade do ar.

A avaliação foi feita para um período de 20 anos (1998 a 2018). O valor presente dos custos do projeto foi de 2 bilhões de dólares em 2008, dos quais 61% refletiram no custo público e 39% no custo privado.

Os benefícios do projeto foram estimados em 3,1 bilhões de dólares em 2008: 52% dos benefícios estimados vêm da economia de tempo de viagem para os usuários de trânsito, 37% de economia na operação dos ônibus tradicionais retirados de serviço após a implantação do Transmilenio, e 8% são provenientes da redução da poluição do ar e dos acidentes de trânsito.

O valor presente líquido dos benefícios socioeconômicos e custos, entre 1998 e 2018, utilizando uma taxa de desconto anual de 12%, é de 1,13 bilhão de dólares em 2008. A relação custo-benefício socioeconômico é de 2,5 e a taxa interna de retorno social é de 24,2%.

Uma análise da sensibilidade indica que o Valor Presente Líquido permanece positivo, mesmo quando são feitas mudanças significativas nos valores de entrada. As maiores alterações são observadas em benefícios de tempo de viagem e de custos operacionais.

A avaliação ex-post do sistema Transmilenio confirma os impactos positivos que os investimentos para a construção do sistema têm trazido para a cidade de Bogotá. Junto com os impactos tradicionais no tempo e custos de viagem, a metodologia inclui a avaliação socioeconômica dos impactos na saúde, redução de mortes, lesões e doenças decorrentes da melhoria da segurança rodoviária e da qualidade do ar, bem como uma estimativa dos impactos negativos do tráfego durante a construção.

O estudo identifica outros impactos, como uma diminuição da criminalidade e aumento nos valores da terra, emprego e receitas fiscais. Apesar do bom desempenho do sistema, de acordo com os indicadores de impacto socioeconômico, há um forte declínio na satisfação do usuário e uma necessidade de introduzir melhorias no serviço (HIDALGO et al., 2013).

3.4.3 BRT Line 1 de Beijing – China

Deng e Nelson (2013) examinam o desempenho e os impactos do BRT Line 1 de Beijing. Os autores consideram o papel da tecnologia aplicada e a sua influência nos seguintes atributos: desempenho técnico, velocidade de operação, frequência do serviço, qualidade do serviço, custo de capital (infraestrutura e veículos), custo

operacional, impactos no comportamento de viagem, impactos no tráfego e no valor da propriedade ao longo do corredor, os quais são detalhados a seguir.

- Desempenho técnico: o sistema tem atraído um grande número de passageiros: em 2011, a média de viagens diárias foi em torno de 120 mil no corredor. O BRT melhorou substancialmente a oferta de transporte público na zona sul de Beijing. Durante as horas pico, dois ou três veículos articulados chegam nas estações juntos. A capacidade do BRT Line 1 poderia ser facilmente expandida com uma frota maior e melhorias operacionais (HIDALGO et al., 2007, apud DENG e NELSON, 2013).
- Velocidade de operação: uma das principais vantagens do sistema BRT é a elevada velocidade de operação, sendo que o uso do corredor exclusivo e a prioridade do sinal de trânsito nas áreas fortemente congestionadas proporcionam um aumento significativo da velocidade do sistema. Em comparação à operação de tráfego mista, a velocidade média operacional do sistema aumentou de 16 km/h para 22 km/h em horário de pico e para 26 km/h fora do horário pico. O tempo da viagem passou de 1 hora para 37 minutos.
- Frequência do serviço: funciona de segunda a domingo, das 5 às 23 horas. A frequência do serviço é de aproximadamente 1,5 minuto durante o horário pico e de 2 a 3 minutos fora do horário pico.
- Qualidade do serviço: uma pesquisa recente realizada por Deng e Nelson (2013) sugeriu que 85,5% dos passageiros estão satisfeitos com os serviços prestados pelo BRT.
- Custo de capital (infraestrutura e veículos) por km: foi de US\$ 5 milhões em 2004. Esse custo é maior do que o de outros projetos de BRT na China, em parte por causa da construção de vias e estações exclusivas.

- Custo operacional: a estrutura tarifária do BRT é a mesma do serviço de ônibus convencional. Segundo os autores, as tarifas não estão integradas com outras modalidades de transporte público. Ademais, este sistema BRT não foi projetado para operar de uma maneira financeiramente rentável.
- Impactos no comportamento de viagem: as características do BRT, como o bom desempenho técnico, a velocidade de operação e a alta frequência, fornecem um alto nível de serviço e, conseqüentemente, um impacto positivo no crescimento do número de passageiros e viagens realizadas.
- Impactos no tráfego: um fato notável é que a operação do BRT não só fornece velocidade de operação significativamente mais rápida para o serviço de ônibus, mas também melhora a velocidade dos veículos que circulam paralelamente ao corredor exclusivo.
- Impactos no valor da propriedade ao longo do corredor: um sistema BRT melhora a acessibilidade perto das estações e, portanto, poderia ter impactos positivos nos valores das propriedades. No caso do BRT de Beijing, tem havido alguns efeitos positivos sobre o valor da propriedade e o desenvolvimento de projetos imobiliários na área de influência do sistema.

O BRT Linha 1 de Beijing é considerado um sucesso já que contribuiu para a melhoria significativa do transporte na zona sul de Beijing, principalmente na área de influência do sistema, e tem melhorado muito a acessibilidade das comunidades para o centro da cidade.

4. AUXÍLIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO

4.1 Introdução

O Auxílio Multicritério à Decisão (AMCD) é uma metodologia empregada na modelagem dos processos decisórios (Cordeiro Netto et al., 1993). Esta metodologia visa melhorar a compreensão de um problema, no qual as alternativas são avaliadas por múltiplos critérios, os quais, na maioria dos casos, são conflitantes.

A metodologia de Auxílio Multicritério à Decisão (MCDA – Multicriteria Decision Aid) visa, em primeiro lugar, construir uma estrutura partilhada, onde são consideradas aquelas dimensões que os atores desejam, ao invés de partir de uma situação pré-existente (BOUYSSOU, 1989). Procura ser objetiva, clara e o mais transparente possível, sem pretender mostrar ao decisor uma solução única (GOMES et al., 2002 apud ALMEIDA e COSTA, 2003).

Segundo Easley et al. (2000), o AMCD possibilita que os decisores compreendam e explicitem suas preferências em relação às alternativas, auxiliando-os na avaliação e escolha das melhores alternativas para solucionar um problema.

A abordagem multicritério foi desenvolvida para problemas que incluem aspectos qualitativos e/ou quantitativos, tendo como base o princípio de que a experiência e o conhecimento das pessoas são pelo menos tão valiosos quanto os dados utilizados para a tomada de decisão (SCHMIDT, 1995).

Nota-se, por conseguinte, que o AMCD leva em conta a subjetividade dos atores. Portanto, a construção de vários critérios, por meio de vários pontos de vista, é uma característica da abordagem multicritério. Estes pontos de vista representam os eixos pelos quais os diversos atores de um processo decisório justificam, transformam e

questionam suas preferências parciais, com o objetivo de avaliar as alternativas (ROY E BOUYSSOU, 1993).

Mendoza et al. (1999) apontam que uma vantagem do Auxílio Multicritério à Decisão está relacionada com o fato de que, em um grupo multidisciplinar, não é necessário que todos os atores concordem com a importância relativa dos critérios. Assim, cada um dos atores apresenta seus próprios julgamentos e contribui distintamente para que uma conclusão seja alcançada em conjunto.

Segundo Bouyssou (1989 apud Mello et al., 2005), a abordagem multicritério apresenta as seguintes vantagens:

- Possibilita a construção de uma base para o diálogo entre analistas e decisores que têm diversos pontos de vista;
- Facilita a incorporação de incertezas relativas aos dados sobre cada ponto de vista.

Além disso, a abordagem multicritério permite agregar critérios de natureza social e ambiental aos critérios econômicos (SOARES, 2006).

Apesar da diversidade de métodos e técnicas multicritério, os elementos básicos de uma decisão são simples: *(i)* um conjunto finito ou infinito de ações, alternativas ou soluções; *(ii)* no mínimo dois critérios; *(iii)* no mínimo um decisor. Dados esses elementos básicos, a metodologia de Auxílio Multicritério à Decisão ajuda a tomar decisões principalmente em termos de escolha, ordenação ou classificação de ações (PINHEIRO et al., 2008).

Ensslin et al. (2001) consideram que o paradigma construtivista é o mais adequado para auxiliar um processo de decisão. No construtivismo, as pessoas constroem representações mentais continuamente, a partir do que percebem da

realidade que estão vivenciando (Landry, 1995; Holz, 1999; Montibeller, 2000 apud Ensslin et al., 2001), sendo que cada pessoa tem uma visão própria do contexto decisório (EDEN, 1989 apud ENSSLIN et al., 2001). Assim, os resultados do processo de decisão não podem ser considerados como a solução ótima, mas como soluções que podem atender aos objetivos e valores dos decisores.

Segundo Bana e Costa e Chagas (2002), o Auxílio Multicritério à Decisão compreende três etapas: Estruturação, Avaliação e Recomendações. Essas etapas são descritas nos itens a seguir.

4.2 Estruturação

A estruturação é o processo por meio do qual se busca compreender uma situação de decisão (Belton e Stewart, 2002). Ela conduz à identificação e caracterização dos principais atores intervenientes e à explicitação das alternativas de decisão potenciais, que se pretendem comparar entre si (BANA e COSTA et al., 1995 apud FERNANDES, 1996).

Esta etapa do AMCD preconiza a definição e análise do contexto de decisão e a identificação dos objetivos fundamentais dos atores. Em outras palavras, o contexto de decisão e os objetivos fundamentais conferem forma e conteúdo à estrutura de decisão (KEENEY, 1992).

A estruturação visa à construção de um modelo formal, que seja aceito pelos decisores como uma forma de representação e organização de seus valores, e que possa servir de base à aprendizagem, à investigação, à comunicação e à discussão interativa com e entre os decisores (EASLEY et al., 2000).

A estruturação compreende as seguintes atividades (GALVES, 2005):

- Identificar o tipo de situação
- Caracterizar o contexto decisório
 - Nível de decisão
 - Limites geográficos e temporais
 - Atores e decisor
- Especificar valores
 - Identificar e estruturar os objetivos fundamentais
 - Especificar atributos
- Criar Alternativas

4.2.1 Identificar o tipo de situação

Uma situação de decisão pode ser um problema ou uma oportunidade. Um problema de decisão é produto de ações que não podem ser controladas pelo decisor, enquanto uma oportunidade é identificada e definida pelo decisor (KEENEY, 1992).

4.2.2 Caracterizar o contexto decisório

O nível de decisão pode ser estratégico, incluindo políticas, planos e programas de longo e médio prazos, ou se referir a um projeto específico. Os limites temporais dependem do nível de decisão e os limites geográficos estão relacionados à delimitação do espaço físico que a situação de decisão abrange.

Segundo Roy (1996), atores são as pessoas e as instituições que, baseadas nos seus valores, desejos, interesses e/ou preferências, intervêm direta ou indiretamente na decisão. Os atores desempenham papéis diferentes em função do seu sistema de valores e da sua posição em relação ao processo decisório.

Esses atores podem ser: (i) decisor, que é o responsável pela decisão; (ii) facilitador, que é um especialista que apoia o processo de decisão por meio de

ferramentas específicas; (iv) indivíduos e grupos direta ou indiretamente envolvidos (GALVES, 2005).

Em diversos casos, o decisor é facilmente identificável, tratando-se do proprietário, administrador ou qualquer outro indivíduo que tenha a responsabilidade de decidir sobre uma determinada situação. Entretanto, há casos nos quais os decisores não são únicos, sendo necessário identificá-los e integrá-los ao processo decisório (ENSSLIN et al., 2001).

4.2.3 Especificar valores

Os valores dos atores são explicitados por meio de objetivos. Segundo Keeney (1992), um objetivo caracteriza-se por três aspectos: (i) um contexto de decisão; (ii) um objeto; e (iii) uma direção de preferência. Esse autor distingue dois tipos de objetivos: (i) fundamental: caracteriza uma razão essencial para interesse numa situação de decisão; e (ii) meio: importante para alcançar um objetivo fundamental.

Keeney (1992) propõe que os objetivos fundamentais sejam organizados em uma hierarquia (também denominada árvore de valor), que oferece uma visão geral e útil da estrutura dos interesses dos atores em vários níveis de especificação. As propriedades desejáveis do conjunto de objetivos fundamentais são:

- Essencial: um objetivo fundamental deve expressar uma razão essencial para o interesse na situação de decisão;
- Controlável: cada objetivo deve representar um aspecto relacionado somente às ações compatíveis com o contexto decisório;
- Completo: os objetivos fundamentais devem incluir todos os aspectos considerados fundamentais pelos atores;
- Mensurável: especifica o grau em que cada objetivo pode ser alcançado;

- Operacional: permite a coleta de informação necessária para a análise dentro dos limites de tempo e esforço disponíveis;
- Isolável: cada objetivo fundamental deve permitir a análise de cada aspecto fundamental do problema de forma independente dos demais;
- Não redundante: o mesmo aspecto do problema não pode ser representado por mais de um objetivo fundamental;
- Conciso: o número de elementos do conjunto de objetivos fundamentais deve ser o mínimo necessário para a análise de uma decisão;
- Compreensível: para facilitar a geração e a comunicação de ideias durante o processo de decisão.

Para que seja possível avaliar as alternativas propostas, é preciso associar um atributo a cada objetivo fundamental. Keeney (1992) define atributo como uma medida do grau em que um objetivo é atingido. Bana e Costa (1992) usa o termo descritor, que ele define como um conjunto de níveis de impacto que servem como base para descrever os desempenhos das ações potenciais em termos de cada objetivo fundamental.

Existem três tipos de atributos: naturais, construídos e indiretos (KEENEY, 1992). Atributos naturais (ou diretos) são aqueles que possuem medidas diretas e são interpretados da mesma maneira por todos os atores.

Quando não for possível medir um objetivo por meio de um atributo direto, usa-se um atributo construído, que é desenvolvido especificamente para cada contexto decisório. Atributo indireto (proxy) é aquele que associa um evento ou propriedade fortemente relacionada (dependente) ao objetivo fundamental.

Ensslin et al. (2001) consideram que os atributos também podem ser quantitativos ou qualitativos e contínuos ou discretos. Atributo quantitativo descreve o

objetivo utilizando somente números. Atributo qualitativo, por sua vez, necessita de expressões semânticas e/ou representações pictóricas para descrever o objetivo.

Atributo discreto é formado por um número finito de níveis de impacto. Atributo contínuo é constituído por uma função matemática contínua.

Segundo Keeney (1992), os atributos devem possuir as seguintes propriedades:

- Mensurabilidade: devem ser definidos níveis de impacto claros, de modo que não deixem dúvidas quanto ao aspecto que está sendo avaliado;
- Operacionalidade: um atributo operacional permite medir o objetivo a ele associado de forma independente dos demais objetivos; além disso, para que um atributo seja operacional, é preciso que se definam quais dados coletar e como obtê-los;
- Inteligibilidade: a descrição das consequências de uma dada ação, assim como a interpretação destas consequências com relação ao objetivo, deve ser compreendida por todos os atores.

4.2.4 Criar alternativas

Segundo Hammond et al.(2004, p. 57) “as alternativas constituem a matéria prima para a tomada de decisões. Elas apresentam o âmbito de escolhas possíveis para a busca de objetivos”.

As alternativas possuem importância fundamental, portanto, deve ser mantido um nível elevado no processo de criação das mesmas (HAMMOND et al., 2004).

As alternativas são o ponto focal das abordagens para a tomada de decisões. No entanto, são relevantes apenas porque são meios para atingir valores e devem ser criadas para alcançar os valores especificados para a situação de decisão (Keeney, 1992).

4.3 Avaliação

A etapa de avaliação é considerada uma fase de síntese, na qual se faz a valoração das alternativas ou ações potenciais, por meio da articulação e modelagem das preferências dos atores (BANA e COSTA et al., 1995 apud FERNANDES, 1996).

Os métodos de avaliação multicritério podem ser classificados em três tipos (ROY e BOUYSSOU, 1993):

- Critério único de síntese
- Subordinação de síntese
- Julgamento local interativo

4.3.1 Critério único de síntese

Neste grupo de métodos, define-se um desempenho global para cada alternativa avaliada por meio de uma função de agregação. O objetivo dessa função é agrupar os múltiplos critérios e auxiliar o decisor na seleção das alternativas (Soares, 2006).

Os métodos MAUT (Multi-Attribute Utility Theory) e MAVT (Multi-Attribute Value Theory), desenvolvidos pelos norte-americanos Keeney e Raiffa, são os mais representativos deste tipo de abordagem (SCATULIN, 2012).

O método MAVT com a função de agregação na forma aditiva é um dos mais utilizados no auxílio multicritério à decisão, devido a sua simplicidade. Porém, a condição para utilização da função aditiva é que haja mútua independência de preferência entre os atributos. A função de valor multiatributo aditiva é expressa pela seguinte equação:

$$V(A) = k_1 \times v_1(A) + k_2 \times v_2(A) + k_3 \times v_3(A) \dots \dots + k_n \times v_n(A)$$

Onde:

$V(A)$	: valor global da alternativa A
$v_1(A), v_2(A) \dots v_n(A)$	: valores da alternativa A nos atributos 1, 2, ... n
$k_1, k_2, \dots k_n$	: constantes de escala dos atributos 1, 2, ... n
n	: número de atributos.

Os valores obtidos nas funções de valor, referentes aos desempenhos de cada alternativa em relação a cada objetivo, são agregados em um único valor, por meio de constantes de escala que, por sua vez, consistem em relações de “trade off” entre as preferências dos atores.

4.3.2 Subordinação de síntese

Nos métodos de subordinação de síntese (outranking), as ações são comparadas par a par e admite-se a existência de relações de subordinação. Se os atores, em função dos desempenhos de duas ações A e B , consideram que A é pelo menos tão boa quanto B , e não há argumentos para refutar tal julgamento, então A subordina B . A ordem de preferência das alternativas é definida com base na análise das relações de subordinação entre elas (ENSSLIN et al., 2001).

Os métodos desse grupo aceitam a possibilidade de incomparabilidade entre as alternativas. Isto significa que, para um dado critério, o decisor não sabe se prefere a alternativa A ou a B . As situações de incompatibilidade podem ocorrer na prática, devido à incerteza e imprecisão dos dados utilizados e pelas características próprias do decisor (VILAS BOAS, 2006).

Como exemplos de métodos de subordinação de síntese, podem-se apontar os métodos ELECTRE e PROMETHEE.

4.3.3 Julgamento local interativo

Neste grupo de métodos, a agregação não resulta de uma regra explícita, como nos dois grupos anteriores, mas ocorre por meio de uma sequência de julgamentos formulados pelo decisor em resposta às perguntas feitas por um facilitador (ou um computador). A recomendação surge, então, como o produto da interação entre esses atores. Entre os métodos deste grupo, podem-se citar PREFCALC e STEM (ROY e BOUYSSOU, 1993).

4.4 Recomendações

Nesta etapa do AMCD, os resultados da avaliação são apresentados e discutidos com os atores, para que eles compreendam as consequências das alternativas propostas e recomendem ao decisor a mais adequada. Para melhor fundamentar a recomendação final, é importante proceder a uma análise de sensibilidade.

Análise de sensibilidade é o exame da robustez das respostas do modelo frente a alterações nos seus parâmetros (Goodwin e Wright, 1991 apud Ensslin et al, 2001). Os valores dos parâmetros do modelo de avaliação multicritério não podem ser tomados como valores exatos, já que foram obtidos de acordo as preferências dos atores.

Dessa forma, a análise de sensibilidade geralmente consiste em mudar os valores dos parâmetros e observar o que acontece no resultado final (Ensslin et al, 2001). Esse tipo de análise permite testar a capacidade do modelo de avaliação em produzir resultados consistentes e estáveis, e indica se os resultados obtidos são confiáveis (SCATULIN, 2012).

5. METODOLOGIA

5.1 Introdução

O presente capítulo trata da metodologia proposta para esta pesquisa, a qual busca contemplar o objetivo de avaliação de desempenho do sistema BRT (*Bus Rapid Transit*) da cidade de Lima, no Peru.

Inicialmente foi feita uma pesquisa bibliográfica sobre os seguintes temas: (i) sistema de transporte público urbano; (ii) sistemas BRT (*Bus Rapid Transit*); (iii) Avaliação de desempenho; (iv) Auxílio Multicritério à Decisão. Os três primeiros temas oferecem uma base teórica para a identificação dos aspectos considerados na avaliação de desempenho de sistemas de transportes, enquanto o quarto trata da metodologia escolhida para o desenvolvimento da pesquisa.

Avaliar o desempenho do sistema BRT de Lima é um problema complexo, pois há vários atores envolvidos, cada um com seus objetivos, e vários impactos no meio urbano a considerar. O Auxílio Multicritério à Decisão (AMCD) foi escolhido, pois conforme explica Galves (2005), problemas complexos com dimensões múltiplas precisam ser tratados por meio de uma análise multicritério.

As abordagens multicritério proporcionam uma melhor adaptação aos contextos decisórios encontrados na prática. Elas permitem que um grande número de dados, interações e objetivos sejam avaliados de forma integrada, o que constitui uma vantagem da análise multicritério em relação à análise monocritério (GARTNER, 2001). Além disso, podem ser incluídas variáveis tanto quantitativas como qualitativas, que dependem principalmente da percepção dos usuários.

Assim, o Auxílio Multicritério à Decisão é apropriado para analisar projetos específicos, identificando seu grau de impacto global, as ações mais eficazes e as que devem ser modificadas (FERNANDES, 1996).

5.2 Etapas para a elaboração do modelo de avaliação de desempenho

Segundo Bana e Costa et al. (2002), o processo de apoio à decisão compreende três etapas: estruturação, avaliação e recomendações. Estas três etapas serão consideradas para elaborar o modelo de avaliação de desempenho.

5.2.1 Estruturação do problema

A atividade de estruturação será conduzida seguindo uma abordagem construtivista. Esta abordagem reconhece a importância dos aspectos subjetivos no processo de decisão: valores, objetivos, cultura e intuição do decisor (ENSSLIN et al., 2001).

A etapa de estruturação visa à construção de um modelo formal (Bana e Costa, 1993) que seja aceito pelo decisor como uma forma de representação e organização de seus valores e possa servir de base à aprendizagem, à investigação, à comunicação e à discussão interativa com e entre os decisores, com o objetivo de integrar os componentes objetivos do problema e os subjetivos dos atores, de tal forma que os sistemas de valores dos atores sejam explicitados (EASLEY et al., 2000; EDEN et al., 1983).

Para o desenvolvimento desta pesquisa, a estruturação será constituída das seguintes atividades: (i) identificação do tipo de situação; (ii) caracterização do contexto de avaliação; (iii) especificação dos objetivos fundamentais dos atores; (iv) definição dos atributos e seus níveis.

O resultado principal do processo de estruturação é a identificação do conjunto de objetivos fundamentais, organizado em uma hierarquia (Keeney, 1992). A hierarquia de objetivos fundamentais oferece uma visão geral e útil da estrutura de valores dos atores em vários níveis de especificação.

- Identificação do tipo de situação

Trata-se da avaliação de desempenho do sistema BRT da cidade de Lima, conhecido como “Metropolitano”. Será feita uma descrição das principais características físicas e operacionais do sistema BRT.

- Caracterização do contexto de avaliação

Inicialmente, será definido o limite geográfico da área de estudo bem como o limite temporal considerado na avaliação. A caracterização do contexto também inclui a identificação dos atores e do decisor, que são os indivíduos ou grupos que compartilham um mesmo sistema de valores (ROY, 1996). A identificação dos atores e do decisor será feita por meio de uma lista dos grupos ou indivíduos envolvidos na situação.

- Especificação dos objetivos fundamentais dos atores

Para a identificação e a estruturação dos objetivos fundamentais, será adotado o procedimento recomendado por Keeney (1992), no qual os valores dos atores são explicitados por meio de seus objetivos.

Esta etapa da estruturação será desenvolvida por meio de entrevistas com os atores. Como ferramentas de apoio para desenvolver as entrevistas, pretende-se utilizar as recomendadas por Keeney (1992): lista de desejos; problemas e dificuldades; consequências; metas, restrições e diretrizes; perspectivas diferentes.

Durante as entrevistas, também será feito um questionamento sobre os objetivos de cada ator, através da seguinte pergunta: por que este objetivo é importante? Esse

questionamento visa distinguir aqueles objetivos que são importantes por si só, isto é, fundamentais, dos objetivos-meio. Assim, o resultado das entrevistas será uma lista de objetivos fundamentais. Em seguida, esses objetivos serão organizados em uma hierarquia, conforme proposto por Keeney (1992).

- Definição dos atributos e seus níveis

Para cada objetivo fundamental do último nível da hierarquia será definido um atributo, que mede o grau em que esse objetivo é atingido (KEENEY, 1992).

Um atributo é caracterizado por um nome e uma escala de medida, que pode ser quantitativa ou qualitativa. Para cada atributo, é necessário definir um intervalo de variação, compreendido entre o melhor nível viável e o pior nível aceitável. Também podem ser definidos os níveis bom e neutro (ENSSLIN et al., 2001).

Os tipos de atributos a serem considerados serão os recomendados por Keeney (1992): (i) naturais ou diretos; (ii) construídos; (iii) indiretos.

5.2.2 Avaliação de desempenho

Para fazer a avaliação de desempenho do sistema BRT da cidade de Lima será utilizado o método de agregação da função de valor multiatributo na forma aditiva, expresso pela seguinte equação:

$$V(\text{BRT})_i = k_1 \times v_1 + k_2 \times v_2 + k_3 \times v_3 \dots \dots + k_n \times v_n$$

Onde:

- V_i : valor global de desempenho do sistema BRT para o ator i
- $v_1, v_2 \dots v_n$: valores de desempenho nos atributos 1, 2, ..., n
- $k_1, k_2, \dots k_n$: constantes de escala dos atributos 1, 2, ..., n
- n : número de atributos do modelo

Desta forma, serão agregados os valores parciais, para estabelecer o valor global, por meio das constantes de escala. Na função de agregação aditiva, a somatória das constantes de escala é igual a um. Para tanto, os atributos devem ser mutuamente independentes com relação às preferências de um ator, ou seja, apresentam somente efeitos individuais sobre o valor global. Esta independência permite ordenar os níveis de cada atributo independentemente dos outros atributos (ENSSLIN et al., 2001).

Nesta etapa, pretende-se obter resultados de avaliação local e global, por meio das funções de valor e as constantes de escala.

- Funções de valor

Uma função de valor é uma ferramenta aceita pelos atores para auxiliar a articulação de suas preferências em relação aos níveis de um atributo. O método a ser utilizado para a construção das funções de valor é o da Pontuação Direta (*Direct Rating*), que pode ser aplicado tanto para atributos quantitativos como para atributos qualitativos (ENSSLIN et al., 2001).

O método consiste em um ordenamento, em termos de preferência, dos níveis de um determinado atributo, sendo que ao pior nível aceitável e ao melhor nível viável se associam os valores de zero e cem, respectivamente. Em seguida, solicita-se aos atores que expressem numericamente valores para outros níveis do atributo, sendo que os valores de zero e cem serão tomados como referência para avaliar os demais. Para a construção das funções de valor, pretende-se fazer entrevistas com o decisor e, se possível, com outros atores.

- Constantes de escala

As constantes de escala expressam as preferências entre os atributos. Para a sua determinação, será adotado o método *Swing Weights*. O procedimento deste

método é um dos mais simples para ser aplicado, avaliando a melhoria dos atributos, do pior nível ao melhor nível (GOODWIN e WRIGHT, 1991, apud ENSSLIN et al., 2001).

Em entrevistas abertas com o decisor, será considerada uma ação hipotética, com todos os atributos no pior nível aceitável. Solicita-se ao decisor escolher um atributo que ele gostaria de passar para o melhor nível viável; a este salto atribuem-se cem pontos. O mesmo procedimento se repete até que sejam definidos os saltos de todos os atributos. As magnitudes de todos os saltos são medidas em relação ao primeiro salto.

Finalmente, somam-se as pontuações e divide-se cada uma delas pela somatória; os resultados obtidos são as respectivas constantes de escala dos atributos, cuja somatória deve ser igual a um.

- Perfil de desempenho

Perfil de desempenho é um gráfico no plano cartesiano, onde estão representados os atributos e seus respectivos desempenhos, medidos pelas funções de valor. Dessa forma, o perfil de desempenho expressa o resultado da avaliação local.

Pretende-se construir um gráfico de perfil de desempenho considerando os valores da situação atual obtidos nas funções de valor estimadas pelo decisor.

- Valor global de desempenho

Para determinar o valor global de desempenho, será aplicada a equação da função de valor multiatributo na forma aditiva.

O valor global de desempenho é a pontuação que obtém a alternativa (neste caso a situação atual), considerando seu desempenho em cada atributo, mensurado a

partir da respectiva função de valor e ponderado pela constante de escala (SCATULIN, 2012).

5.2.3 Análise dos resultados e recomendações

Neste item, serão analisados os resultados obtidos nas etapas de estruturação do problema e avaliação de desempenho.

Além disso, será feita uma análise comparativa entre a situação atual do sistema e uma situação planejada, mediante a substituição de valores de alguns atributos considerados no projeto inicial do sistema BRT. Para obter os valores da situação planejada, será feita a avaliação local dos atributos considerados, por meio das funções de valor construídas pelo decisor. Os valores determinados serão substituídos na fórmula da função de valor multiatributo, obtendo-se assim o valor global da situação planejada.

Finalmente, serão feitas recomendações de acordo com os resultados obtidos em cada etapa para a melhoria do desempenho do sistema.

6. APLICAÇÃO

Para atingir o objetivo da pesquisa, foi proposta a utilização da metodologia de Auxílio Multicritério à Decisão. Neste capítulo se apresenta o processo de aplicação dessa metodologia e os resultados obtidos.

6.1 Estruturação do problema

6.1.1 Identificação do tipo de situação

Trata-se da avaliação de desempenho do sistema *Bus Rapid Transit* da cidade de Lima, no Peru. Apresentam-se, a seguir, um breve histórico do sistema, suas características físicas e operacionais.

- Histórico do sistema BRT da cidade de Lima

As origens do sistema BRT da cidade de Lima remontam a 1972, com a construção da via Expressa, que foi a primeira via de ônibus segregada em um país em desenvolvimento (WRIGHT E HOOK, 2008).

Já na década de 1990, a mobilidade urbana em Lima tornou-se caótica, como resultado de: (i) assentamento da população migrante e menos recursos na periferia em relação ao centro da cidade; (ii) políticas de desregulamentação do transporte público e; (iii) ausência de um sistema de transporte de massa rápido para uma cidade de 9 milhões de pessoas (CARDENAS, 2010).

Com o principal objetivo de superar tal situação, o Banco Mundial financiou recursos, entre 1997 e 2000, para a elaboração do Projeto de Transporte Urbano para a área Metropolitana de Lima, o qual incluiu a proposta de vários corredores de ônibus de alta capacidade.

Nos anos de 2002 e 2003, foram elaborados os projetos do denominado Sistema de Transporte Metropolitano da cidade de Lima (Sistema BRT de Lima). A sua construção iniciou em 2006 e a operação comercial ocorreu em 28 de julho de 2010, de maneira parcial (PROTRANSPORTE, 2012). Desde dezembro de 2010, o sistema opera em sua totalidade, como ilustrado na figura 6.1, onde podemos observar o percurso do sistema, junto com os terminais e estações que o conformam.

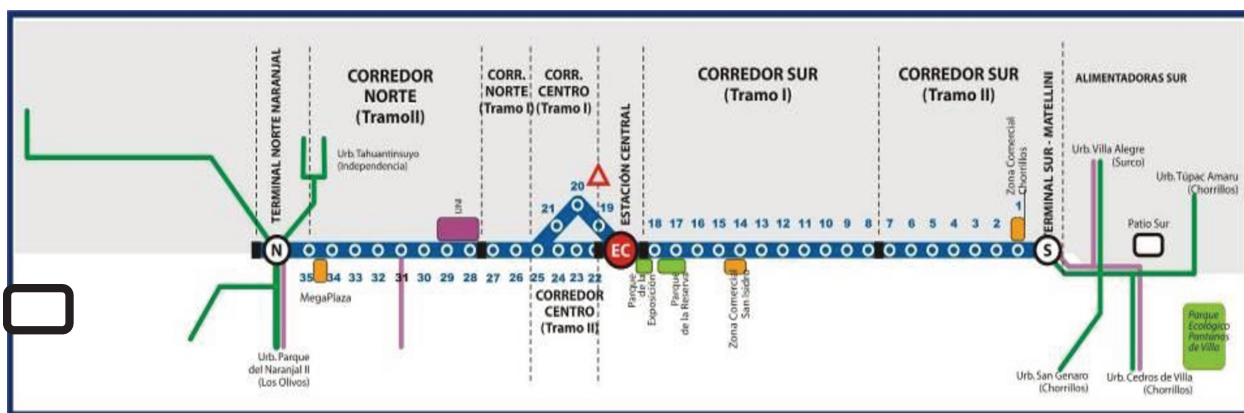


Figura 6. 1 – Mapa do sistema BRT de Lima
Fonte: Protransporte. Metropolitano 2012

- Características físicas do sistema

O sistema BRT da cidade de Lima conecta 16 distritos da cidade, por meio de um corredor exclusivo, desde *Chorrillos* (distrito localizado ao sul da cidade) até *Independencia* (distrito localizado ao norte). Rotas alimentadoras vão desde os terminais de transferência até os bairros desses dois distritos.

Rota troncal: estende-se por 26,1 km de via segregada, do terminal de transferência de *Matellini* (*Chorrillos*) até o terminal de transferência de *Naranjal* (*Independencia*). Esta rota é constituída por 35 estações intermediárias, 2 estações de transferência, e uma estação central, que ligam a cidade de sul a norte (figura 6.2). As

estações e terminais são os únicos pontos de parada do serviço troncal, para embarque e desembarque de passageiros.



Figura 6. 2 – Rota *troncal* do sistema BRT de Lima
Fonte: Protransporte. Instituto Metropolitano 2012

Rotas alimentadoras: têm a finalidade de transportar os usuários do sistema aos terminais de transferência, para poder embarcar na rota *troncal*. A rota alimentadora sul leva dos pontos de parada até o Terminal *Matellini*, como representado na figura 6.3.

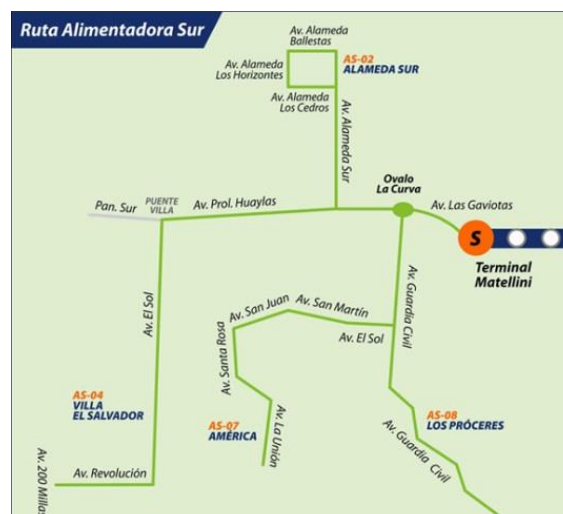


Figura 6. 3 – Rota alimentadora sul
Fonte: Protransporte. Instituto Metropolitano 2012

A rota alimentadora norte leva dos pontos de parada até o Terminal Naranjal, como representado na figura 6.4.



Figura 6. 4 – Rota alimentadora norte
Fonte: Protransporte. Instituto Metropolitano 2012

Terminais de transferência: localizam-se nos pontos iniciais e finais da rota *troncal* e permitem a transferência rápida para as rotas alimentadoras ou vice-versa. O sistema tem dois terminais de transferência.

O Terminal *Matellini* (figura 6.5) está localizado na Avenida *Prolongación Paseo de la República*, no distrito de *Chorrillos*.



Figura 6. 5— Terminal *Matellini*

O Terminal *Naranjal* (figura 6.6) localiza-se na Avenida *Tupac Amaru*, no distrito de *Independencia*.



Figura 6. 6 – Terminal *Naranjal*

Fonte: Protransporte. Instituto Metropolitano 2012

Estações intermediárias: o sistema conta com 35 estações intermediárias localizadas na rota principal; há dois tipos de estações:

- Estações em um só nível, com rampas de acesso e faixas de pedestres sinalizadas. A figura 6.7 ilustra uma estação em um só nível, localizada no distrito de *Barranco*.



Figura 6. 7– Estação em um só nível

Fonte: Protransporte. Instituto Metropolitano 2012

- Estações em dois níveis, que estão localizadas na via expressa e na praça *Dos de Mayo*; possuem escadas de acesso e elevadores. Na figura 6.8 está representada uma estação em dois níveis localizada na Avenida *Paseo de la Republica*.



Figura 6. 8 – Estação em dois níveis
Fonte: Protransporte. Instituto Metropolitano 2012

A Estação central (figura 6.9), localizada embaixo do parque *Los Héroes Navales*, constitui o ponto de interconexão principal do sistema.



Figura 6. 9 – Estação central
Fonte: Protransporte. Instituto Metropolitano 2012

Para possibilitar que o embarque e o desembarque de passageiros seja feito de forma rápida, o nível do piso das plataformas coincide com o nível interno do piso dos veículos, como pode ser observado na figura 6.10.



Figura 6. 10 – Portas do ônibus ao nível das plataformas

- Características operacionais do sistema

Serviços troncais: são as rotas que usam unicamente as vias segregadas ou exclusivas, em faixa dupla, que permitem ultrapassagens e serviços expressos, como mostrado na figura 6.11; estes serviços iniciam ou terminam nos terminais de transferência. Os serviços troncais oferecidos são:

Serviços expressos, que só fazem paradas em determinadas estações; caracterizam-se pela rapidez do serviço comparada com o serviço regular. O sistema tem seis serviços expressos.

Serviços superexpressos, que só fazem paradas em determinadas estações (menor número do que os serviços expressos); caracterizam-se pela rapidez do serviço comparada com o serviço regular. Só funcionam em horários determinados.

Serviços regulares, que fazem paradas em todas as estações; o sistema tem três tipos de serviços, que são identificados por meio de letras A, B e C.



Figura 6. 11 – Via segregada e em faixa dupla

Serviços alimentadores são as rotas que provêm de uma zona específica (periférica) e se integram aos serviços troncais.

Os ônibus funcionam com GNV (gás natural), e a frota é composta por 312 ônibus articulados de 18 metros, que operam na rota troncal do sistema, e 222 ônibus alimentadores de 09 e 12 metros, que utilizam as rotas alimentadoras. A velocidade média na rota troncal é de 27,90 km/h.

As características dos ônibus articulados (figura 6.12) são: capacidade para 160 passageiros, quatro portas do lado esquerdo, portas e janelas de emergência, piso de 90 centímetros de altura, comunicação GPRS, espaços para passageiros com necessidades especiais (figura 6.13), localização automática veicular utilizando sistema posicional por satélite, megafonia, painel informativo eletrônico, sensor de priorização de semáforos, sensores e alarmes de segurança, luzes e som de abertura e fechamento de portas.



Figura 6. 12 – Ônibus articulado



Figura 6. 13 – Espaço para passageiros com necessidades especiais
Fonte: Protransporte. Instituto Metropolitano 2012

O BRT de Lima possui um centro de controle operacional, no qual é possível controlar a velocidade, frequência, horários, rotas dos veículos, permitindo uma prestação adequada dos serviços que o sistema oferece em cada um dos seus percursos.

Os sistemas de cobrança possuem os seguintes dispositivos: pontos localizados nos acessos das estações; terminais de carga automática; barreiras de controle de acesso dos usuários como observado na figura 6.14. Os passageiros pagam quando entram na estação. A cobrança é eletrônica e administrada por uma empresa particular.



Figura 6. 14 – Sistemas de cobrança

A operação do sistema BRT da cidade de Lima é administrada por empresas concessionárias e Protransporte, como se descreve na tabela 6.1.

Tabela 6. 1 – Operação do sistema BRT de Lima

Componentes do sistema	Administração
Transporte de passageiros	Quatro concessionárias
Unidade de cobrança	Uma concessionária
Centro de gestão e controle	Protransporte
Centro de abastecimento de GNV	Duas concessionárias
Sistema de vídeo-vigilância	Protransporte

6.1.2 Caracterização do contexto de avaliação

- Limites geográficos e temporais

Considera-se como limite geográfico da área de estudo o corredor troncal ou corredor segregado de alta capacidade (COSAC I), que é o eixo principal do sistema BRT de Lima.

Como limite temporal, considera-se o ano de 2013, já que os dados utilizados neste estudo são desse ano.

▪ Identificação dos atores e decisor

Para a identificação dos atores e decisor, foi feita uma lista de indivíduos e grupos diretamente envolvidos na situação e que possuem o mesmo sistema de valores. Esta lista foi elaborada levando em conta o papel de cada ator em relação ao sistema BRT, sendo considerados atores que gerenciam e operam o sistema (Protransporte e empresas de transporte), fiscalizam (municipalidade de Lima), utilizam (usuários) e aqueles que são afetados direta ou indiretamente pelo funcionamento do sistema (residentes, motoristas e taxistas). O decisor e os atores identificados estão listados na tabela 6.2.

Tabela 6. 2 – Identificação dos atores e decisor

Decisor	▪ Gerente de operações de Protransporte
Atores	▪ Subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima ▪ Usuários ▪ Residentes (presidente da associação de bairro) ▪ Empresas de transporte ▪ Motoristas ▪ Taxistas

6.1.3 Identificação dos objetivos fundamentais dos atores

A identificação dos objetivos fundamentais foi realizada por meio de entrevistas abertas com os atores e o decisor. Descreve-se, a seguir, o procedimento para obtenção dos objetivos fundamentais de cada um dos atores.

- Gerente de operações de Protransporte

A identificação dos objetivos fundamentais do decisor foi feita por meio de uma entrevista em que o decisor foi questionado sobre os aspectos importantes do sistema BRT para Protransporte. Como resultado da entrevista, foram identificados os seguintes objetivos fundamentais: atender a demanda e reduzir o tempo de viagem.

- Subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima

Para a identificação dos objetivos fundamentais, esse ator foi questionado sobre os aspectos importantes do sistema BRT para a Municipalidade como órgão fiscalizador, mostrando como resultado a seguinte lista de objetivos fundamentais: reduzir o tempo de viagem; diminuir a poluição atmosférica; reduzir o custo da tarifa; melhorar o conforto; melhorar a segurança contra atropelamentos; melhorar a segurança contra acidentes.

- Usuários

Para a especificação dos objetivos fundamentais dos usuários do sistema BRT de Lima, foram realizadas entrevistas em quatro estações do sistema, durante cinco dias. Para as entrevistas, foram escolhidas a estação central, por ser um ponto de interconexão, a estação de transferência *Matellini*, e as principais estações intermediárias. As entrevistas foram feitas em horários fora de pico, durante três a quatro horas ao dia por três dias, e horários de pico, sendo um dia no período da manhã e outro dia no período da noite. Os passageiros entrevistados foram escolhidos em igual quantidade entre homens e mulheres, com faixas etárias diferentes: jovens, adultos e idosos. Teve-se também o cuidado de entrevistar pessoas com necessidades especiais e mulheres grávidas ou com criança no colo. Na tabela 6.3 se especifica a quantidade de pessoas entrevistadas em cada estação.

Tabela 6. 3 – Programação das entrevistas com os usuários

Dia	Nome da estação	Número de pessoas entrevistadas
1º dia	Central	30
2º dia	Central	35
3º dia	Javier Prado	25
4º dia	28 de Julio	25
5º dia	Matellini	30

As entrevistas foram desenvolvidas fazendo os questionamentos sobre os aspectos importantes do sistema BRT para os usuários. Como resultado, foram obtidos os seguintes objetivos fundamentais: reduzir o tempo de viagem (identificado por 145 entrevistados); reduzir o custo da tarifa (identificado por 50 entrevistados); melhorar a acessibilidade (identificado por 42 entrevistados); diminuir a poluição atmosférica (identificado por 11 entrevistados); melhorar o conforto (identificado por 24 entrevistados).

- Residentes

Para identificar os objetivos fundamentais dos residentes, foi consultada a presidente da associação do bairro *Alameda de Chorrillos*. Em uma entrevista, pediu-se que ela descrevesse os aspectos importantes do sistema BRT para os residentes. Como resultados foram obtidos os seguintes objetivos: reduzir o tempo de viagem; reduzir o custo da tarifa; melhorar a acessibilidade; diminuir a poluição atmosférica; melhorar o conforto.

- Empresas de transporte e Motoristas

Não foi possível realizar entrevistas com as empresas de transporte e os motoristas.

- Taxistas

A identificação dos objetivos fundamentais foi realizada por meio de entrevistas com 10 taxistas que prestam serviço na área de estudo considerada neste trabalho.

Das entrevistas se obteve, como objetivo fundamental, melhorar a segurança contra acidentes.

6.1.4 Estruturação dos objetivos fundamentais

Na tabela 6.4 são resumidos os objetivos fundamentais identificados pelos atores.

Tabela 6. 4 – Objetivos identificados

Ator	Objetivos fundamentais
Gerente de operações de Protransporte	Atender a demanda Reduzir o tempo de viagem
Subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima	Reduzir o tempo de viagem Diminuir a poluição atmosférica Reduzir o custo da tarifa Melhorar o conforto Melhorar a segurança contra atropelamentos Melhorar a segurança contra acidentes
Usuários	Reduzir o tempo de viagem Reduzir o custo da tarifa Melhorar a acessibilidade Diminuir a poluição atmosférica Melhorar o conforto
Residentes	Reduzir o custo da tarifa Melhorar a segurança contra acidentes Melhorar a segurança contra atropelamentos Diminuir a poluição atmosférica
Taxistas	Melhorar a segurança contra acidentes

Os objetivos identificados na tabela 6.4 foram estruturados em uma hierarquia dos objetivos fundamentais, apresentada na figura 6.15.



Figura 6. 15 – Hierarquia dos objetivos fundamentais

A hierarquia está organizada em níveis, a partir do objetivo geral: Melhorar o desempenho do sistema BRT de Lima. Embaixo desse objetivo, há sete objetivos no primeiro nível hierárquico: atender a demanda, melhorar a segurança, reduzir o custo de tarifa, diminuir a poluição atmosférica, reduzir o tempo de viagem, melhorar a acessibilidade e melhorar o conforto. No segundo nível hierárquico há dois objetivos que explicam os aspectos da segurança a ser melhorados: segurança contra acidentes e segurança contra atropelamentos.

6.1.5 Definição dos atributos e seus níveis

Para cada objetivo fundamental do último nível da hierarquia, foi definido um atributo, conforme descrito a seguir.

- Objetivo fundamental: Atender a demanda

Para este objetivo, o atributo definido é demanda. Neste caso, a escala de medida escolhida foi o número de passageiros por dia.

- Objetivo fundamental: Melhorar a segurança contra acidentes

Acidentes é o atributo direto definido para este objetivo fundamental, cuja escala de medida é o número de acidentes por mês.

- Objetivo fundamental: Melhorar a segurança contra atropelamentos

Atropelamentos é o atributo direto definido para este objetivo, cuja escala de medida é o número de atropelamentos por mês.

- Objetivo fundamental: Reduzir o custo da tarifa

O atributo definido para este objetivo é custo da tarifa, que é um atributo direto. A escala de medida escolhida foi o *nuevo sol*, que é a unidade monetária utilizada no Peru.

- Objetivo fundamental: Diminuir a poluição atmosférica

O atributo adotado é a emissão de dióxido de carbono (CO₂), medida em tonelada. A escolha deste atributo deve-se ao uso do gás natural no funcionamento dos ônibus do sistema BRT de Lima, com o qual se pretendeu reduzir as emissões de gases poluentes, principalmente de dióxido de carbono.

- Objetivo fundamental: Reduzir o tempo de viagem

Tempo foi o atributo direto definido para o objetivo de reduzir o tempo de viagem no ônibus, cuja escala de medida específica é o minuto.

- Objetivo fundamental: Melhorar a acessibilidade nas estações

Para este objetivo se utilizou um atributo construído, composto por níveis de impacto que combinam os elementos considerados importantes na acessibilidade (ver tabela 6.7).

- Objetivo fundamental: Melhorar o conforto

Para o objetivo de melhorar o conforto também foi utilizado um atributo construído, apresentado na tabela 6.8.

Os atributos com as suas respectivas escalas de medida são apresentados na tabela 6.5.

Tabela 6. 5 – Definição dos atributos

Objetivos fundamentais	Atributos	Escala de medida
Atender a demanda	Demanda	Número de passageiros/dia
Melhorar a segurança contra acidentes	Acidentes	Número acidentes/mês
Melhorar a segurança contra atropelamentos	Atropelamentos	Número atropelamentos/mês
Reduzir o custo da tarifa	Custo da tarifa	Nuevo Sol*
Diminuir a poluição atmosférica	Emissão de CO ₂	Tonelada
Reduzir o tempo de viagem	Tempo	Minutos
Melhorar a acessibilidade	Acessibilidade	Atributo construído
Melhorar o conforto	Conforto	Atributo construído

*Cotação 1sol=0,35 USD (em junho de 2014).

Para cada atributo, foram definidos dois níveis de referência: o melhor nível viável e o pior nível aceitável. Esses níveis são apresentados na tabela 6.6, juntamente com os dados da situação atual do sistema *Bus Rapid Transit* de Lima, que permitirão avaliar o desempenho do sistema em cada um dos atributos.

Tabela 6. 6 – Níveis dos atributos

Atributos	Melhor nível viável	Pior nível aceitável	Situação atual
Demanda (número de passageiros/dia)	447.735 ¹	83.508 ¹	325.426 ¹
Acidentes (número de acidentes/mês)	0	31 ²	17 ²
Atropelamentos (número de atropelamentos/mês)	0	2,0 ²	1,0 ²
Custo da tarifa (<i>nuevo sol</i>)	1,80	2,00	2,00
Emissão de CO ₂ (tonelada)	73.022 ³	0	28.665 ⁴
Tempo (minutos)	20,20	23,20	21,50
Acessibilidade	4	1	4
Conforto	4	1	2

Fonte: ¹(Protransporte, 2013a) – Demanda por dia . ²(Protransporte, 2013b) – Validações por estação . ³AENOR – Validation report (2012). ⁴(Protransporte, 2013c) – Gestão ambiental.

Para o atributo demanda, o melhor nível viável é de 447.745 passageiros por dia e o pior nível aceitável é de 83.508 passageiros por dia. Esses valores foram obtidos dos dados de demanda do ano de 2013 (PROTRANSPORTE, 2013a), considerando a maior e a menor quantidade de passageiros registrados por dia, respectivamente.

O melhor nível viável para o atributo acidentes é de 0 acidente por mês e o pior nível aceitável é de 31 acidentes por mês. Esses níveis resultaram da média aritmética dos dados mensais existentes para o sistema BRT no ano de 2013 (PROTRANSPORTE, 2013b). Para maior especificação deste atributo, foram

considerados três tipos de acidentes: quedas ao subir e descer do ônibus; pressão pela porta do ônibus; acidentes ocasionados pela frenagem do ônibus.

Para o atributo atropelamentos, considerou-se que o melhor nível corresponde a nenhum atropelamento e o pior nível a 2 atropelamentos por mês, obtidos pela média aritmética dos dados mensais existentes para o sistema BRT no ano de 2013 (PROTRANSPORTE, 2013b)

O melhor nível viável para o custo da tarifa é de 1,80 *nuevo sol*, considerado pelo gerente de operações de Protransporte como valor máximo a pagar pelo serviço oferecido; o pior nível aceitável é de 2,00 *nuevos soles*, valor que está sendo cobrado pela empresa que opera o sistema.

Para o atributo emissão de CO₂, o melhor nível viável corresponde a reduzir 73.022 toneladas em 2013, cifra estabelecida por Protransporte, e o pior nível aceitável seria a redução de 0 tonelada (PROTRANSPORTE, 2013c).

Para o atributo tempo, foi considerado o tempo que um ônibus demora para percorrer 10 quilômetros no corredor. Assim, o melhor nível viável é de 20,20 minutos e o pior nível aceitável é de 23,20. Estes dados foram estabelecidos no projeto inicial do sistema BRT de Lima (COSAC I) (GETINSA e TARYET, 2003).

Para o atributo acessibilidade, foram determinados quatro níveis de impacto, conforme apresentado na tabela 6.7. O nível 4 está relacionado ao melhor nível viável e o nível 1 ao pior nível aceitável. A caracterização e definição de cada nível foram baseadas em Wright e Hook (2008).

Tabela 6. 7 – Acessibilidade (atributo construído)

Nível de impacto	Descrição
4	Presença de rampas e/ou elevadores e plataformas ao nível dos veículos em todas as estações; sinalização em todas as estações e ao longo da via.
3	Presença de rampas e/ou elevadores e plataformas ao nível dos veículos em todas as estações; sinalização em todas as estações.
2	Presença de rampas e/ou elevadores e plataformas ao nível dos veículos em todas as estações; não há sinalização.
1	Não há rampas e/ou elevadores e plataformas ao nível dos veículos nas estações, nem sinalização ao longo da via.

Para o atributo conforto, foram determinados quatro níveis de impacto: o nível 4 está relacionado ao melhor nível viável, o nível 1 ao pior nível aceitável e os níveis 2 e 3 são intermediários (tabela 6.8). A caracterização e definição de cada nível foram baseadas em Wright e Hook (2008).

Tabela 6. 8 – Conforto (atributo construído)

Nível de impacto	Descrição
4	Assentos de tecido e acolchoado, ônibus com ar condicionado, carroceria com tratamento isolante dos ruídos.
3	Assentos de tecido e acolchoado, ônibus sem ar condicionado, carroceria com tratamento isolante dos ruídos
2	Assentos de material plástico, ônibus sem ar condicionado, carroceria com tratamento isolante dos ruídos.
1	Assentos de material plástico, ônibus sem ar condicionado, carroceria sem tratamento isolante dos ruídos.

6.2 Avaliação de desempenho

A etapa de avaliação de desempenho compreende a obtenção das funções de valor e das constantes de escala, a avaliação local (em cada atributo) e a avaliação global.

6.2.1 Funções de Valor

Uma função de valor representa as preferências de um ator em relação aos diferentes níveis de cada atributo. Elas foram estimadas utilizando o método da Pontuação Direta descrito no capítulo 5. Para a definição das funções de valor, foram entrevistados o gerente de operações de Protransporte (decisor) e o subgerente de estudos de trânsito e transportes da Municipalidade de Lima. Em entrevistas separadas, solicitou-se que eles estimassem valores numéricos para os níveis de cada atributo, com exceção do melhor nível viável e do pior nível aceitável cujos valores são fixados em cem e zero respectivamente.

Os valores fornecidos pelo gerente de operações de Protransporte são apresentados nas tabelas 6.9 a 6.16 e as funções de valor são ilustradas nas figuras 6.16 a 6.23.

Tabela 6. 9 – Valores para os níveis do atributo demanda

Demanda (número de passageiros/dia)	Valor
447.735	100
300.000	80
200.000	60
100.000	30
83.508	0

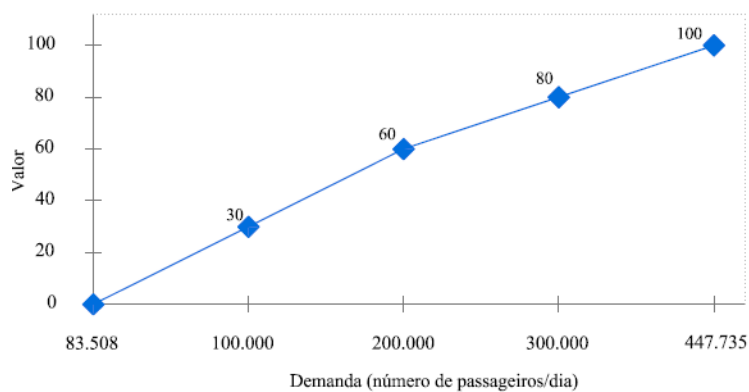


Figura 6. 16 – Função de valor para demanda

Tabela 6. 10 – Valores para os níveis do atributo acidentes

Acidentes (número de acidentes/mês)	Valor
0	100
11	60
21	30
31	0

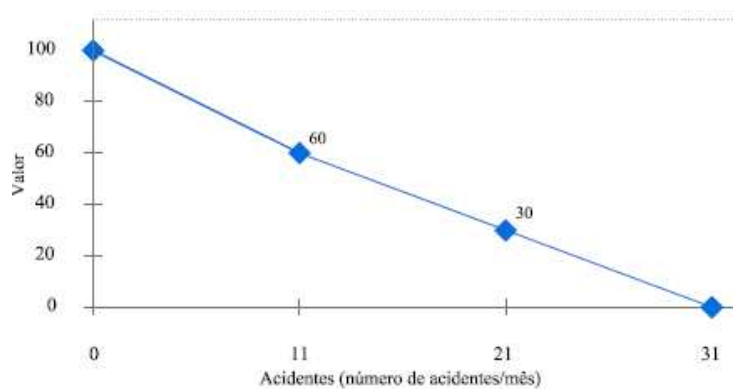


Figura 6. 17– Função de valor para acidentes

Tabela 6. 11– Valores para os níveis do atributo atropelamentos

Atropelamentos (número de atropelamentos/mês)	Valor
0	100
1,0	50
2,0	0

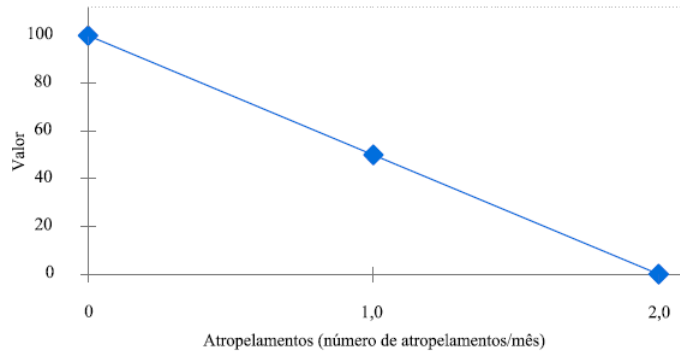


Figura 6. 18 – Função de valor para atropelamentos

Tabela 6. 12 – Valores para os níveis do atributo custo da tarifa

Custo da tarifa (<i>nuevo sol</i>)	Valor
1,80	100
1,85	90
1,90	80
1,95	70
2,00	0

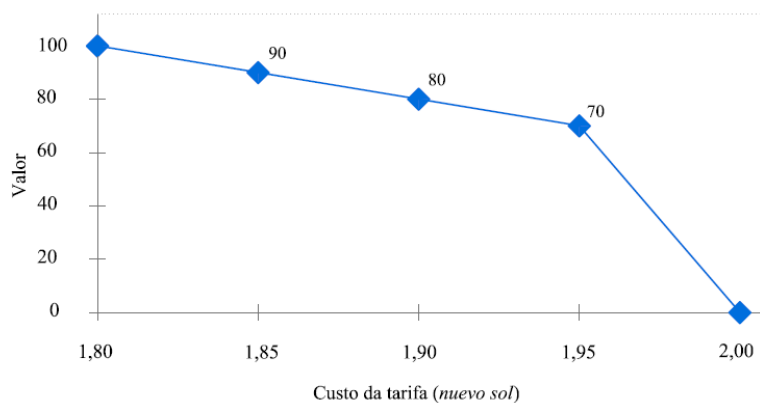


Figura 6. 19 – Função de valor para custo da tarifa

Tabela 6. 13 – Valores para os níveis do atributo emissão de CO₂

Emissão de CO ₂ (tonelada)	Valor
73.022	100
60.000	80
40.000	60
20.000	40
0	0

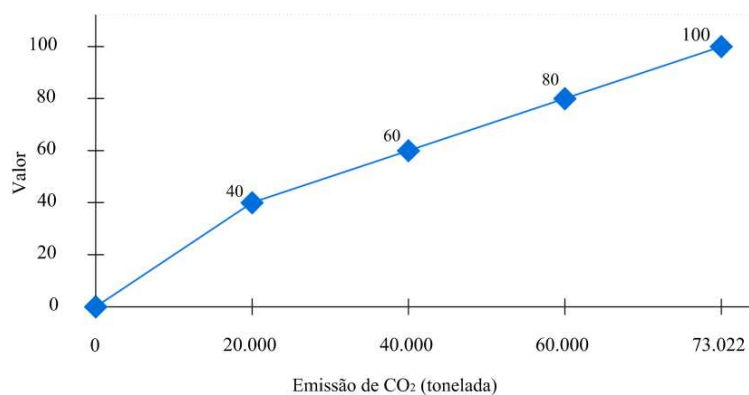


Figura 6. 20 – Função de valor para emissão de CO₂

Tabela 6. 14 – Valores para os níveis do atributo tempo

Tempo (minutos)	Valor
20,20	100
21,20	90
22,20	80
23,20	0

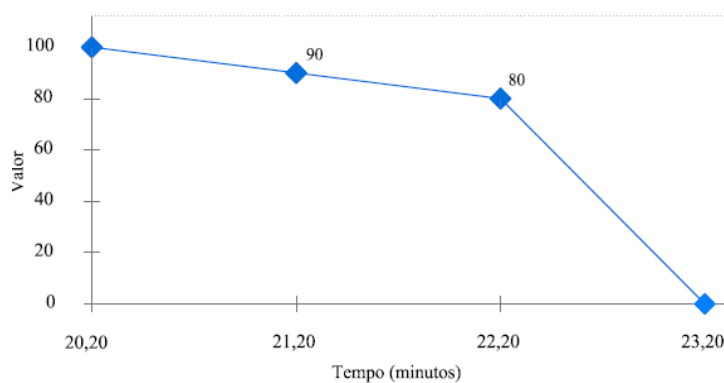


Figura 6. 21 – Função de valor para tempo

Tabela 6. 15– Valores para os níveis do atributo acessibilidade

Acessibilidade	Valor
4	100
3	75
2	50
1	0

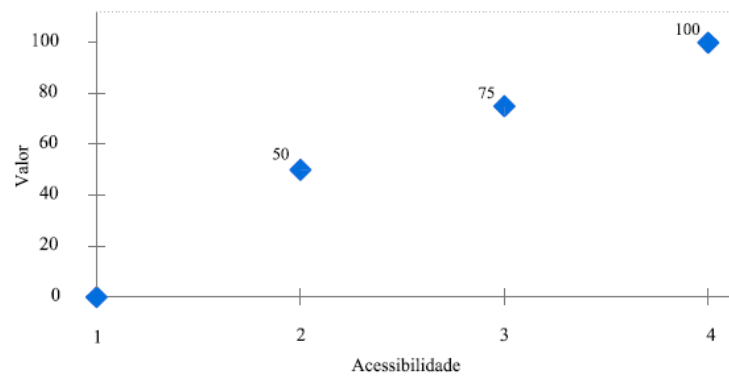


Figura 6. 22 – Função de valor para acessibilidade

Tabela 6. 16 – Valores para os níveis do atributo conforto

Conforto	Valor
4	100
3	75
2	50
1	0

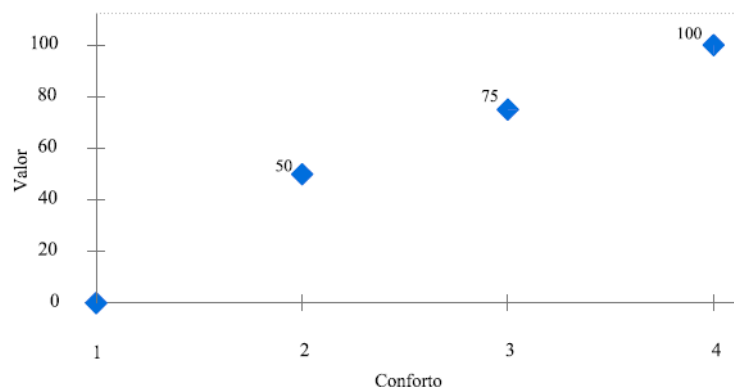


Figura 6. 23 – Função de valor para conforto

Os valores estimados pelo subgerente de estudos de trânsito e transportes da Municipalidade de Lima são apresentados nas tabelas 6.17 a 6.24 e as funções de valor ilustradas nas figuras 6.24 a 6.31.

Tabela 6. 17 – Valores para os níveis do atributo demanda

Demanda (número de passageiros/dia)	Valor
447.735	100
300.000	70
200.000	40
100.000	20
83.508	0

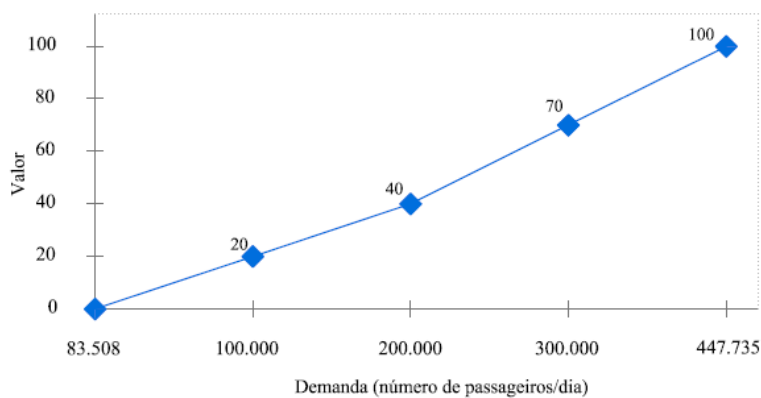


Figura 6. 24 – Função de valor para demanda

Tabela 6. 18 – Valores para os níveis do atributo acidentes

Acidentes (número de acidentes/mês)	Valor
0	100
11	60
21	40
31	0

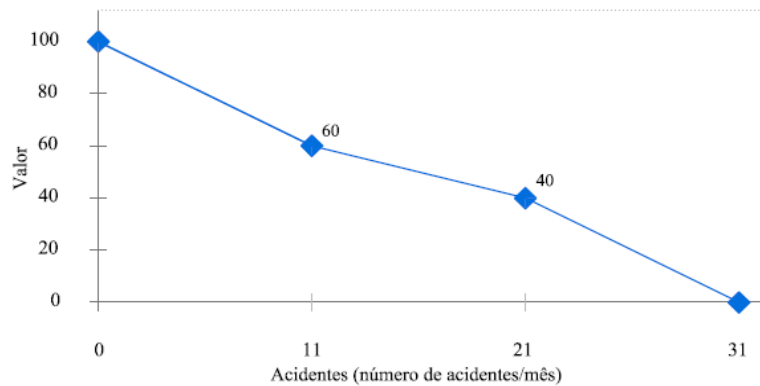


Figura 6. 25 – Função de valor para acidentes

Tabela 6. 19 – Valores para os níveis do atributo atropelamentos

Atropelamentos (número de atropelamentos/mês)	Valor
0	100
1	50
2	0

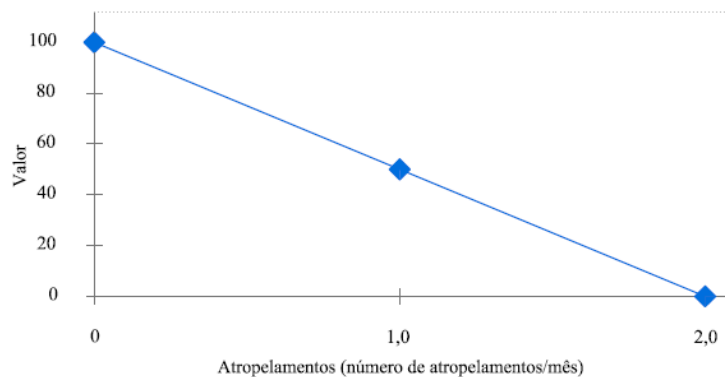


Figura 6. 26 – Função de valor para atropelamentos

Tabela 6. 20 – Valores para os níveis do atributo custo da tarifa

Custo da tarifa (<i>nuevo sol</i>)	Valor
1,80	100
1,85	90
1,90	85
1,95	80
2,00	0

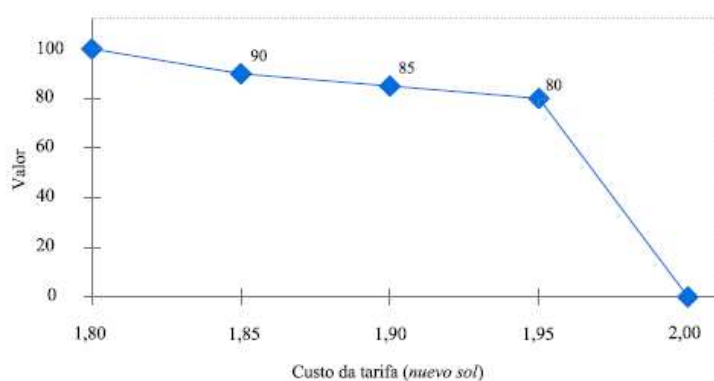


Figura 6. 27 – Função de valor para custo da tarifa

Tabela 6. 21 – Valores para os níveis do atributo emissão de CO₂

Emissão de CO ₂ (tonelada)	Valor
73.022	100
60.000	70
40.000	60
20.000	30
0	0

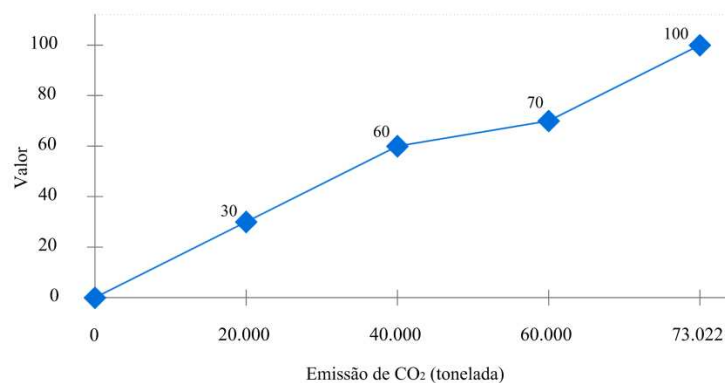


Figura 6. 28 – Função de valor para emissão de CO₂

Tabela 6. 22 – Valores para os níveis do atributo tempo

Tempo (minutos)	Valor
20,20	100
21,20	90
22,20	80
23,20	0

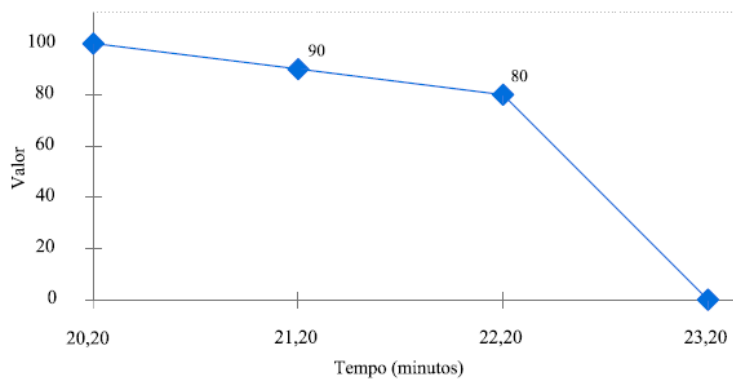


Figura 6. 29 – Função de valor para tempo

Tabela 6. 23 – Valores para os níveis do atributo acessibilidade

Acessibilidade	Valor
4	100
3	90
2	80
1	0

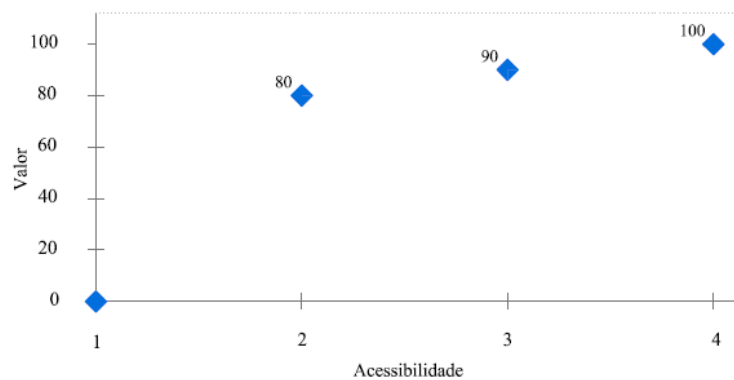


Figura 6. 30 – Função de valor para acessibilidade

Tabela 6. 24 – Valores para os níveis do atributo conforto

Conforto	Valor
4	100
3	75
2	60
1	0

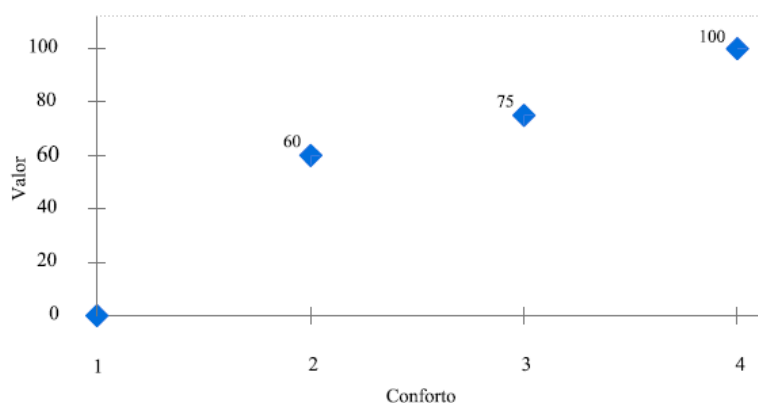


Figura 6. 31 – Função de valor para conforto

Uma vez obtidos os gráficos das funções de valor para os dois atores escolhidos, foram inseridos os dados da situação atual, obtendo-se um valor que reflete o estado atual do sistema em cada atributo.

Os valores obtidos para a situação atual considerando as funções de valor construídas pelo gerente de operações de Protransporte são ilustrados nas figuras 6.32 a 6.39.

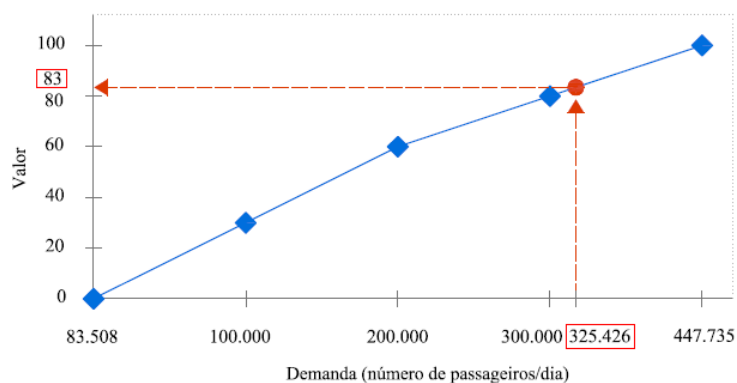


Figura 6. 32 – Valor da situação atual para demanda

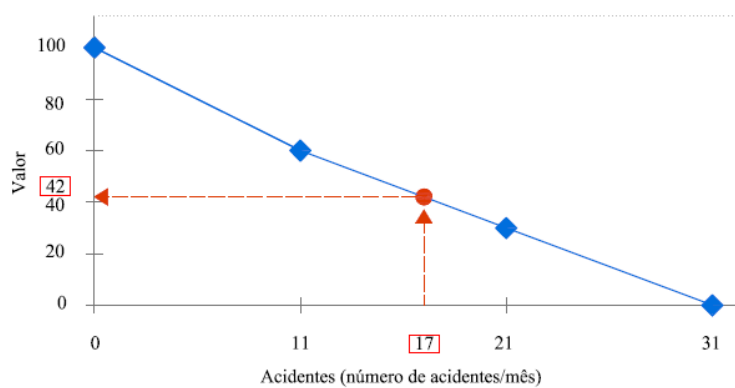


Figura 6. 33 – Valor da situação atual para acidentes

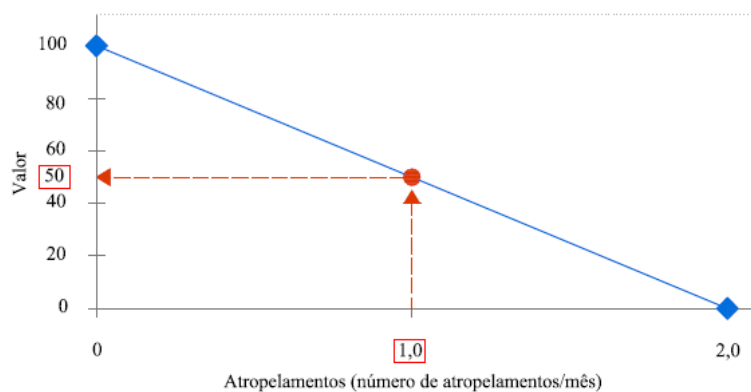


Figura 6. 34 – Valor da situação atual para atropelamentos

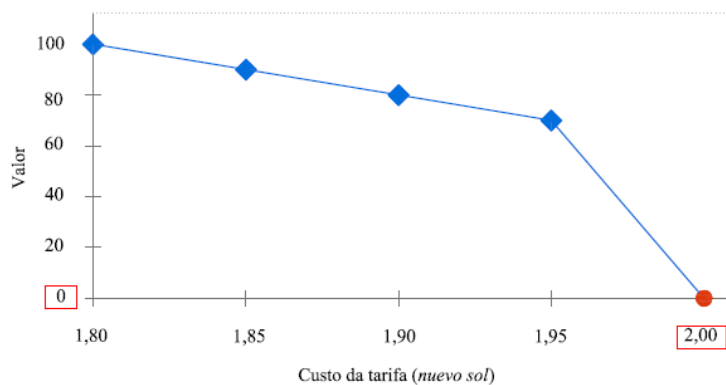


Figura 6. 35 – Valor da situação atual para custo da tarifa

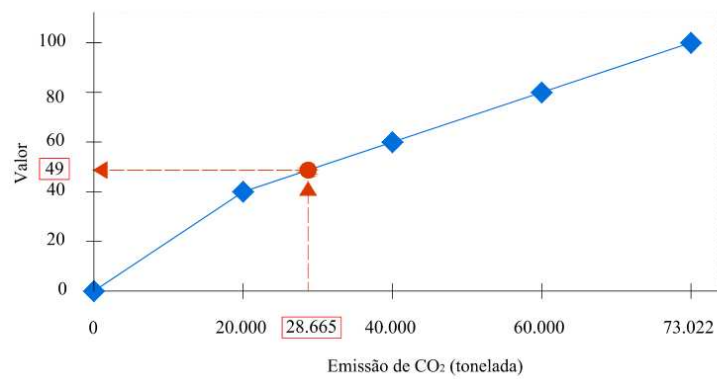


Figura 6. 36 – Valor da situação atual para emissão de CO₂

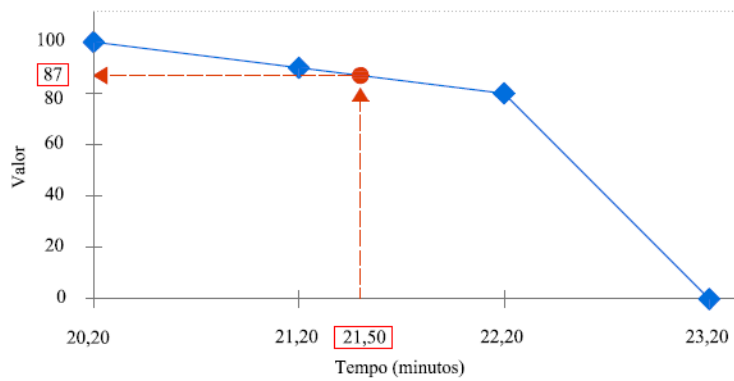


Figura 6. 37 – Valor da situação atual para tempo

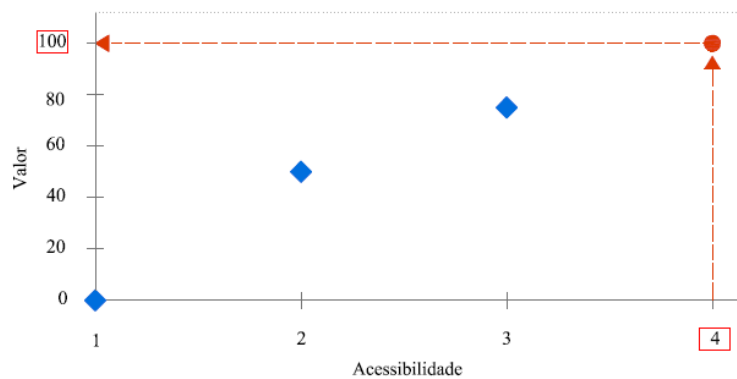


Figura 6. 38 – Valor da situação atual para acessibilidade

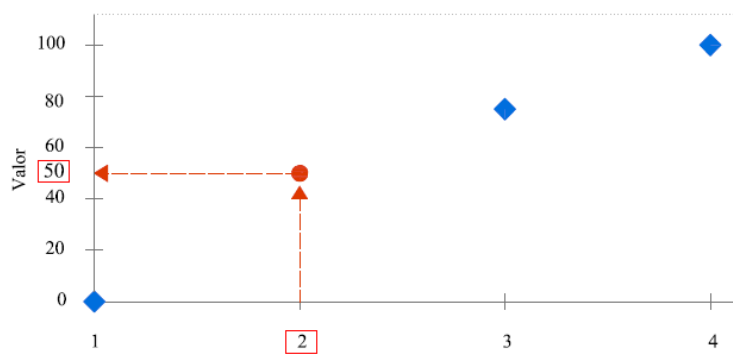


Figura 6. 39 – Valor da situação atual para conforto

Os valores obtidos para a situação atual considerando as funções de valor construídas pelo subgerente de trânsito e transportes da Municipalidade de Lima são ilustrados nas figuras 6.40 a 6.47.

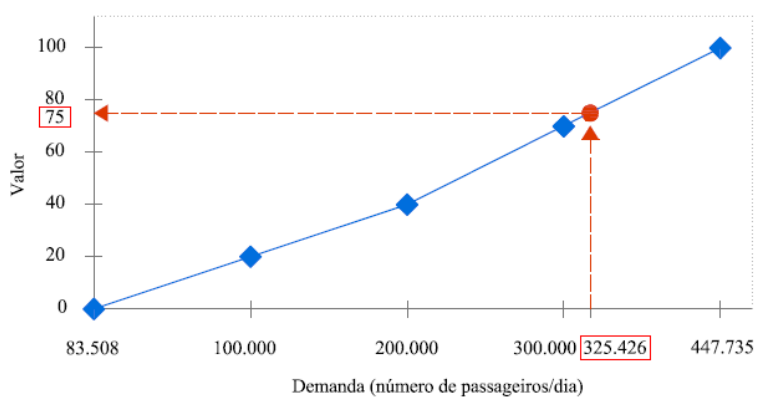


Figura 6. 40 – Valor da situação atual para demanda

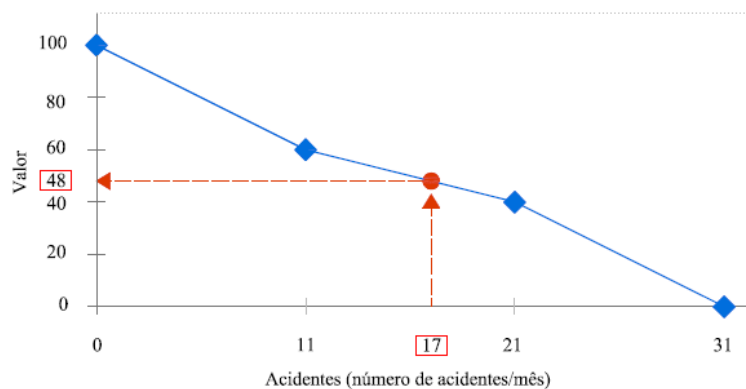


Figura 6. 41 – Valor da situação atual para acidentes

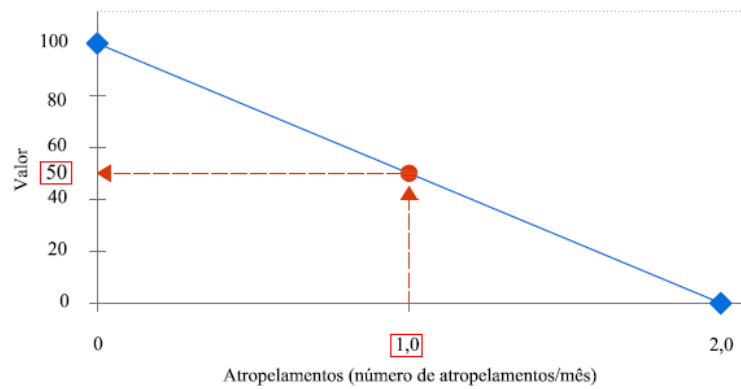


Figura 6. 42 – Valor da situação atual para atropelamentos

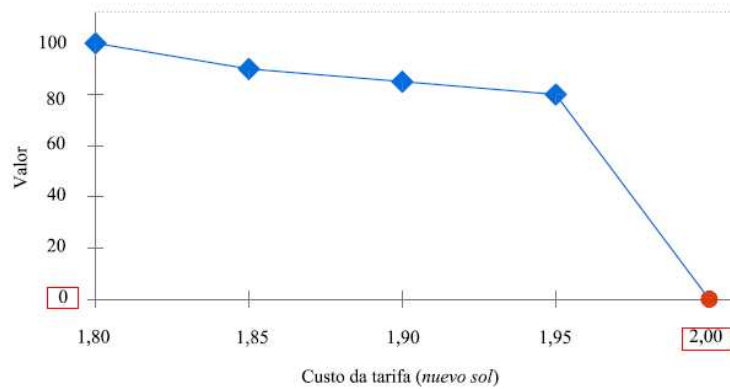


Figura 6. 43 – Valor da situação atual para custo da tarifa

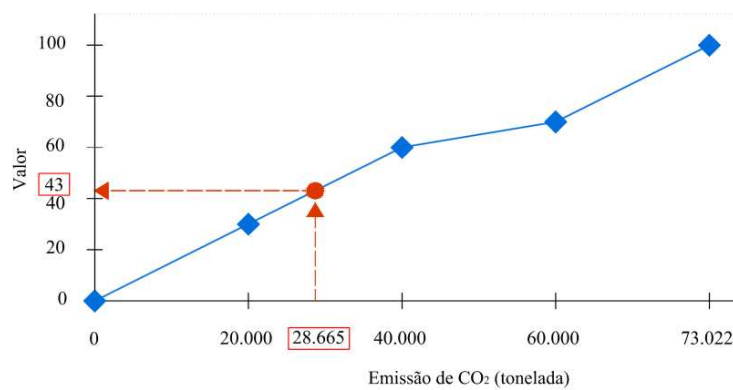


Figura 6. 44 – Valor da situação atual para emissão de CO₂

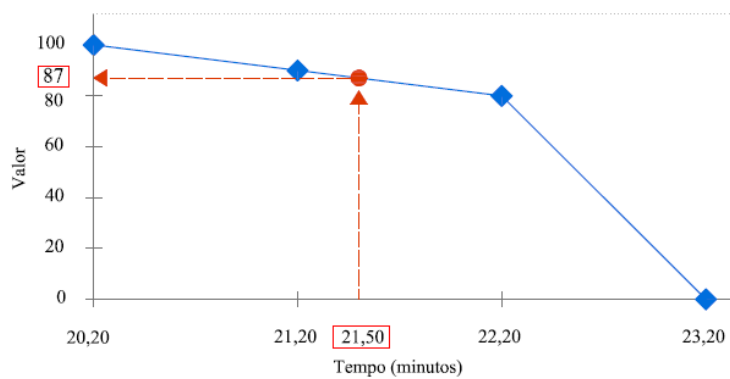


Figura 6. 45 – Valor da situação atual para tempo

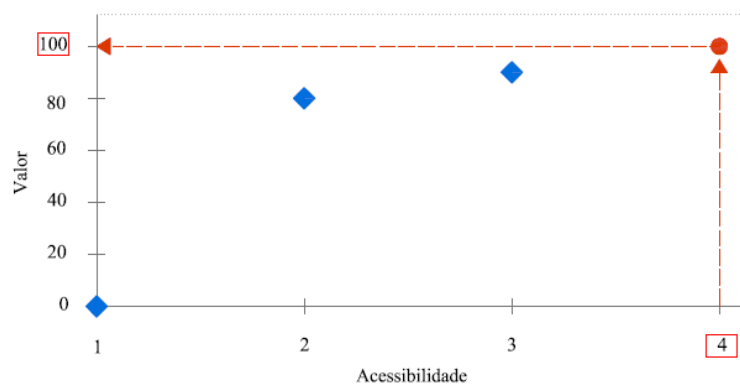


Figura 6. 46 – Valor da situação atual para acessibilidade

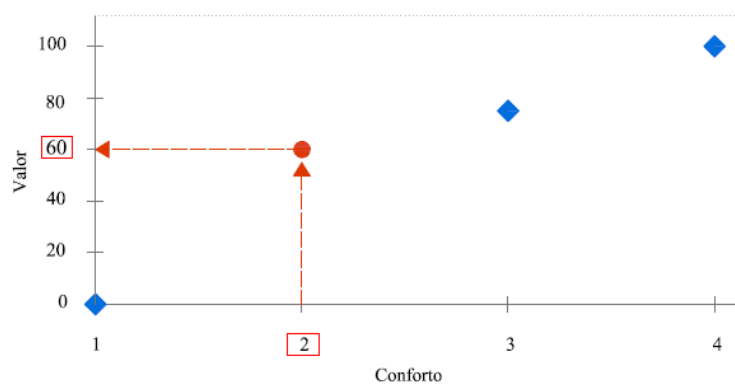


Figura 6. 47 – Valor da situação atual para conforto

6.2.2 Constantes de escala

As constantes de escala expressam as preferências dos atores entre os atributos. Para a determinação desses parâmetros, foi adotado o método Swing Weights, descrito no capítulo 5. Em entrevistas realizadas separadamente com os atores escolhidos (gerente de operações de Protransporte e subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima), considerou-se uma ação hipotética com todos os atributos no pior nível aceitável e solicitou-se ao ator escolher um atributo que gostaria de passar para o melhor nível viável. A este salto foram atribuídos 100 pontos. O mesmo questionamento foi feito em relação aos atributos remanescentes, obtendo-se o atributo que o ator desejaria passar para o melhor nível em segundo lugar. O procedimento foi repetido até que se definissem os saltos de todos os atributos para cada nível da hierarquia dos objetivos fundamentais.

- Determinação das constantes de escala pelo gerente de Protransporte

A tabela 6.25 mostra os saltos para cada um dos atributos do 2º nível hierárquico.

Tabela 6. 25 – Valores dos saltos para os atributos do 2º nível hierárquico

Atributo	Saltos
Acidentes	80
Atropelamentos	100

Observa-se que o atributo atropelamentos foi o escolhido pelo decisor para passar para o melhor nível viável em primeiro lugar e obteve 100 pontos.

A tabela 6.26 mostra os saltos para cada um dos atributos do 1º nível hierárquico.

Tabela 6. 26 – Valores dos saltos para os atributos do 1º nível hierárquico

Atributo	Saltos
Demanda	70
Segurança	90
Custo da tarifa	60
Emissão de CO ₂	40
Tempo	100
Acessibilidade	50
Conforto	30

Observa-se que o atributo tempo de viagem foi escolhido pelo decisor para passar para o melhor nível viável em primeiro lugar e obteve 100 pontos; o atributo que obteve a menor pontuação foi conforto, com 30 pontos.

Finalmente, somam-se os pontos de cada nível hierárquico e dividem-se os pontos de cada salto pela somatória. Por exemplo, a soma dos pontos do 2º nível hierárquico é igual a 180 (tabela 6.25). Dividindo-se os pontos dos saltos obtidos para acidentes e atropelamentos por esse valor, obtêm-se as respectivas constantes de escala, que são apresentadas na tabela 6.27.

Tabela 6. 27 – Constantes de escala do 2º nível hierárquico

Atributo	Constantes de escala
Acidentes	0,44
Atropelamentos	0,56

Na tabela 6.28, são apresentadas as constantes de escala do 1º nível hierárquico.

Tabela 6. 28 – Constantes de escala do 1º nível hierárquico

Atributo	Constantes de escala
Demanda	0,16
Segurança	0,20
Custo da tarifa	0,14
Emissão de CO ₂	0,09
Tempo	0,23
Acessibilidade	0,11
Conforto	0,07

Na figura 6.48 é ilustrada a hierarquia dos objetivos fundamentais com as constantes de escala estimadas pelo gerente de operações de Protransportes.

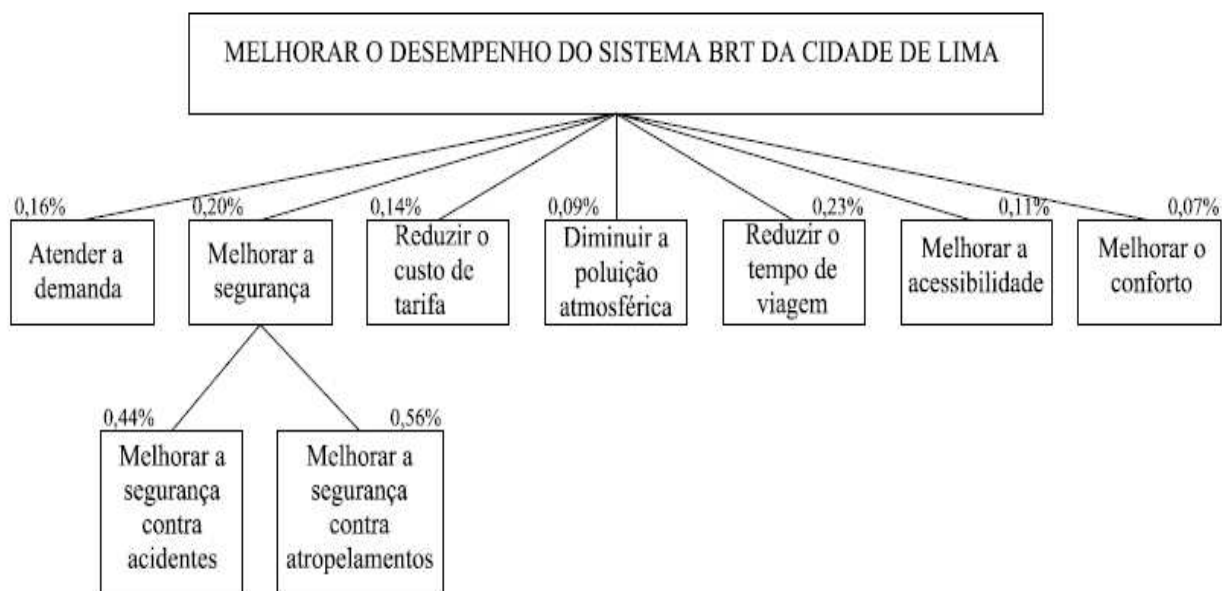


Figura 6. 48 – Constantes de escala estimadas pelo gerente de operações de Protransporte

- Determinação das constantes de escala pelo subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima.

A tabela 6.29 mostra os saltos atribuídos pelo subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima para cada um dos atributos do 2º nível hierárquico.

Tabela 6. 29 – Valores dos saltos para os atributos do 2º nível hierárquico

Atributo	Saltos
Acidentes	100
Atropelamentos	50

O atributo acidentes foi escolhido pelo ator para passar para o melhor nível viável em primeiro lugar e obteve 100 pontos.

A tabela 6.30 mostra os saltos atribuídos pelo ator para cada um dos atributos do 1º nível hierárquico.

Tabela 6. 30 – Valores dos saltos para os atributos do 1º nível hierárquico

Atributo	Saltos
Demanda	90
Segurança	50
Custo da tarifa	60
Emissão de CO ₂	40
Tempo	100
Acessibilidade	80
Conforto	70

O atributo tempo foi escolhido pelo ator para passar para o melhor nível viável em primeiro lugar e obteve 100 pontos; o atributo que obteve a menor pontuação foi emissão de CO₂ com 40 pontos.

Na tabela 6.31 são apresentadas as constantes de escala do 2º nível hierárquico, obtidas de acordo com o procedimento descrito anteriormente.

Tabela 6. 31 – Constantes de escala do 2º nível hierárquico

Atributo	Constantes de escala
Acidentes	0,67
Atropelamentos	0,33

Na tabela 6.32 são apresentadas as constantes de escala do 1º nível hierárquico.

Tabela 6. 32 – Constantes de escala do 1º nível hierárquico

Atributo	Constantes de escala
Demanda	0,19
Segurança	0,10
Custo da tarifa	0,12
Emissão de CO ₂	0,08
Tempo	0,21
Acessibilidade	0,16
Conforto	0,14

Na figura 6.49 é ilustrada a hierarquia dos objetivos fundamentais com as constantes de escala estimadas pelo subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima.

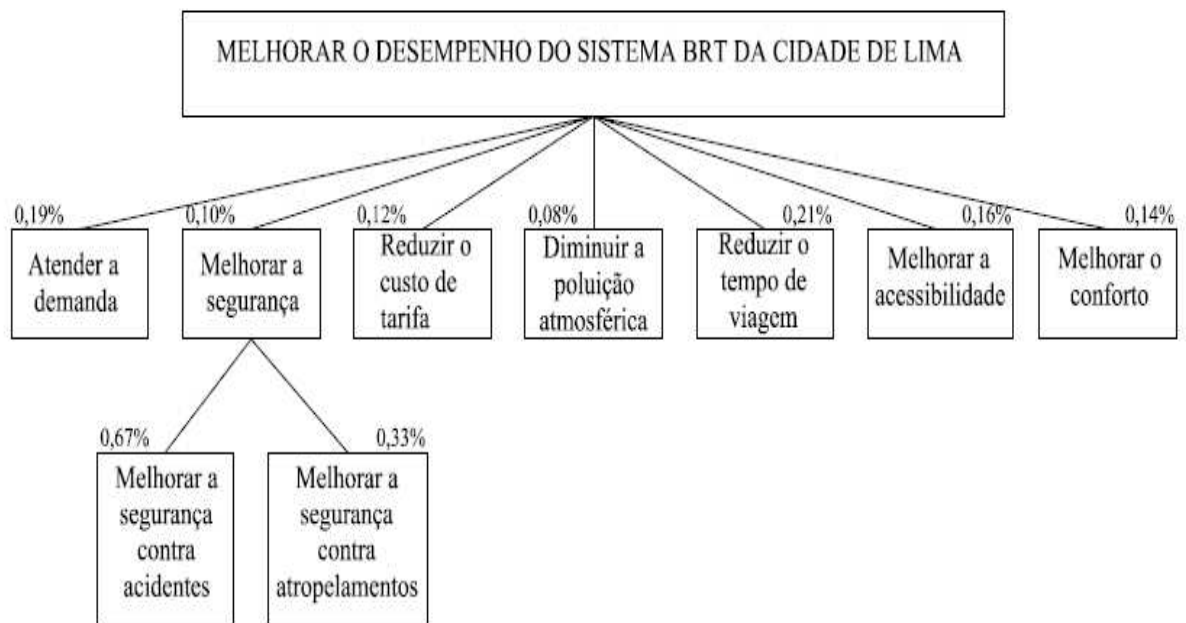


Figura 6. 49 – Constantes de escala estimadas pelo subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima

6.2.3 Perfil de desempenho

Os valores correspondentes à situação atual, obtidos a partir das funções de valor (figuras 6.32 a 6.47), podem ser representados em perfis de desempenho. Na tabela 6.33 são especificados os valores obtidos para a situação de acordo com o gerente de operações de Protransporte.

Tabela 6. 33 – Valores obtidos para a situação atual de acordo com o gerente de operações de Protransporte

Atributos	Situação atual	Valor para o gerente de operações de Protransporte
Demanda	325.426	83
Acidentes	17	42
Atropelamentos	1	50
Custo da tarifa	2,00	0
Emissão de CO ₂	28.665	49
Tempo	21,50	87
Acessibilidade	4	100
Conforto	2	50

Na tabela 6.34 são especificados os valores obtidos para a situação atual de acordo com o subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima.

Tabela 6. 34 – Valores obtidos para a situação atual de acordo com o subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima

Atributos	Situação atual	Valor para o subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima
Demanda	325.426	75
Acidentes	17	48
Atropelamentos	1	50
Custo da tarifa	2,00	0
Emissão de CO ₂	28.665	43
Tempo	21,50	87
Acessibilidade	4	100
Conforto	2	60

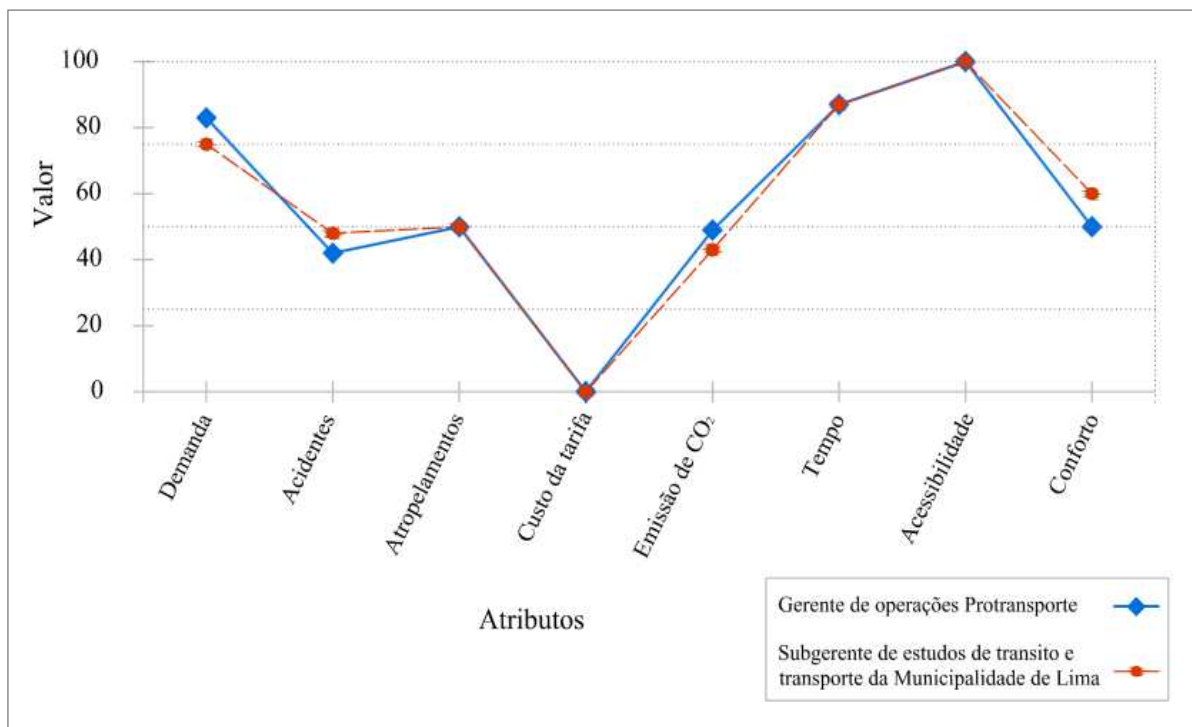


Figura 6. 50 – Perfis de desempenho

Com os valores das tabelas 6.33 e 6.34 foi feito o gráfico de perfis de desempenho, que é mostrado na figura 6.50. Esses perfis serão comentados no item sobre análise dos resultados.

6.2.4 Valor global

Para a avaliação global do desempenho do sistema BRT da cidade de Lima, foi utilizado o método da função de valor multiatributo na forma aditiva, expresso pela seguinte equação:

$$V(\text{BRT})_i = k_1 \times v_1 + k_2 \times v_2 + k_3 \times v_3 \dots \dots + k_n \times v_n$$

Onde:

- V_i : valor global de desempenho do sistema BRT para o ator i ($i = 1,2$)
 $v_1, v_2 \dots v_n$: valores de desempenho nos atributos 1, 2, ..., n
 $k_1, k_2, \dots k_n$: constantes de escala dos atributos 1, 2, ..., n
 n : número de atributos do modelo

Para obter o valor global de desempenho do sistema BRT segundo o gerente de Protransporte, a função de valor multiatributo foi aplicada ao segundo nível da hierarquia dos objetivos fundamentais, obtendo-se o valor parcial do objetivo melhorar a segurança:

$$v_{\text{seg}} = 0,44 \times 42 + 0,56 \times 50$$

$$v_{\text{seg}} = 18,48 + 28$$

$$v_{\text{seg}} = 46,48$$

Com esse valor, aplicou-se a mesma equação ao primeiro nível da hierarquia para obter o valor global:

$$V(\text{BRT})_1 = 0,16 \times 83 + 0,20 \times 46,48 + 0,14 \times 0 + 0,09 \times 49 + 0,23 \times 87 + 0,11 \times 100 + 0,07 \times 50$$

$$V(\text{BRT})_1 = 13,28 + 9,3 + 0 + 4,41 + 20,01 + 11 + 3,5$$

$$V(\text{BRT})_1 = 61,5$$

Assim, o valor global de desempenho do sistema BRT da cidade de Lima segundo o gerente de Protransporte é igual a 61,5.

O mesmo procedimento foi usado para obter o valor global segundo o subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima:

$$v_{seg} = 0,67 \times 48 + 0,33 \times 50$$

$$v_{seg} = 32,16 + 16,5$$

$$v_{seg} = 48,66$$

$$V(BRT)_2 = 0,19 \times 75 + 0,10 \times 48,66 + 0,12 \times 0 + 0,08 \times 43 + 0,21 \times 87 + 0,16 \times 100 + 0,14 \times 60$$

$$V(BRT)_2 = 14,25 + 4,86 + 0 + 3,44 + 18,27 + 16 + 8,4$$

$$V(BRT)_2 = 65,2$$

O valor global de desempenho do sistema BRT segundo o subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima é igual a 65,2.

6.3 Análise dos resultados e recomendações

Neste item, são apresentadas as análises e recomendações, elaboradas a partir dos resultados da estruturação do problema e da avaliação de desempenho, descritos nos itens 6.1 e 6.2 deste capítulo.

6.3.1 Estruturação do problema

Como resultado principal da etapa da estruturação, foi obtida a hierarquia dos objetivos fundamentais dos atores (figura 6.2). O objetivo “atender a demanda” foi identificado apenas pelo gerente de operações de Protransporte. Os objetivos fundamentais comuns a vários atores são apresentados na tabela 6.35.

Tabela 6. 35 – Objetivos fundamentais comuns aos vários atores

Objetivo fundamental	Atores
Melhorar a segurança contra acidentes	▪ Subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima ▪ Usuários ▪ Residentes ▪ Taxistas
Melhorar a segurança contra atropelamentos	▪ Subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima ▪ Usuários ▪ Residentes
Reduzir o custo da tarifa	▪ Subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima ▪ Usuários ▪ Residentes
Diminuir a poluição atmosférica	▪ Subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima ▪ Usuários ▪ Residentes
Reduzir o tempo de viagem	▪ Gerente de operações de Protransporte ▪ Subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima ▪ Usuários
Melhorar a acessibilidade	▪ Subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima ▪ Usuários
Melhorar o conforto	▪ Subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima ▪ Usuários

A ocorrência de objetivos fundamentais comuns pode ser explicada, principalmente, pelos interesses dos atores. Assim, o subgerente de estudos de trânsito e transporte, os usuários e os residentes estão interessados em melhorar a segurança (contra acidentes e atropelamentos), reduzir o custo da tarifa e diminuir a poluição atmosférica. Reduzir o tempo de viagem, melhorar a acessibilidade e o conforto também são objetivos fundamentais do subgerente e dos usuários. Observa-se que, para o gerente de operações de Protransporte, “reduzir o tempo de viagem” também é um objetivo fundamental.

Durante o processo de estruturação, não foi possível realizar entrevistas com as empresas de transporte que operam os ônibus do sistema BRT de Lima e os motoristas dos ônibus, devido ao receio mostrado pelas empresas de transporte em fornecer informações. Da mesma forma, não foi possível realizar entrevistas com outros representantes ou presidentes de associações de bairros.

Esta falta de participação de alguns atores pode ter influenciado a construção da hierarquia dos objetivos fundamentais. Ou seja, alguns objetivos fundamentais, principalmente aqueles ligados à área operacional, podem não ter sido incluídos na hierarquia.

Um dos objetivos da pesquisa foi “identificar quais dos objetivos planejados no projeto inicial foram atingidos no processo final de implantação do sistema”. A seguir faz-se uma comparação de alguns dos objetivos identificados:

- Atender a demanda: a demanda projetada para o sistema BRT de Lima foi de 436.084 passageiros/dia (GETINSA e TARYET, 2003). Atualmente, são atendidos 325.426 passageiros/dia (média anual no ano de 2013).
- Reduzir o tempo de viagem: o tempo para percorrer 10 quilômetros no corredor foi projetado entre 20,20 e 23,20 minutos (GETINSA e TARYET,

2003). Observa-se que, atualmente, o tempo médio para percorrer 10 quilômetros é de 21,50 minutos.

- Reduzir o custo de tarifa: o custo da tarifa única projetada para percorrer o sistema BRT da cidade de Lima foi de 1,20 *nuevo sol* (GETINSA e TARYET, 2003). Na atualidade, são cobrados 2,00 *nuevos soles*.

6.3.2 Avaliação de desempenho

Da etapa de avaliação de desempenho, foram obtidos resultados de avaliação local e de avaliação global, por meio da obtenção das funções de valor e constantes de escala.

Para fazer a avaliação local, foram obtidas as funções de valor para os dois atores escolhidos: gerente de operações de Protransporte e subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima. A partir dessas funções, obtiveram-se valores que refletem o estado atual do sistema em cada um dos atributos, como é mostrado na tabela 6.36.

Tabela 6. 36 – Comparação dos valores obtidos para a situação atual de acordo com os atores escolhidos

Atributos	Valor para o gerente de operações de Protransporte	Valor para o subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima
Demanda	83	75
Acidentes	42	48
Atropelamentos	50	50
Custo da tarifa	0	0
Emissão de CO ₂	49	43
Tempo	87	87
Acessibilidade	100	100
Conforto	50	60

Observa-se que os atributos atropelamentos, custo da tarifa, tempo e acessibilidade têm valores iguais para os dois atores. Os atributos demanda, acidentes, emissão de CO₂ e conforto têm valores diferentes para os dois atores, embora as diferenças sejam pequenas.

Com esses valores, foram feitos os gráficos de perfil de desempenho para os dois atores (figura 6.50). Observa-se a semelhança na representação gráfica dos perfis, o que mostra que os valores obtidos são iguais para alguns atributos e com pequena diferença para outros, como assinalado anteriormente.

Para permitir uma análise mais detalhada, o eixo vertical do gráfico de perfis de desempenho foi dividido em quatro intervalos de igual valor: o primeiro intervalo corresponde a valores de zero a vinte e cinco pontos; o segundo intervalo, com valores de vinte e cinco até cinquenta pontos; o terceiro intervalo, com valores de cinquenta até setenta e cinco pontos e o quarto intervalo, no qual as pontuações são mais altas, com valores de setenta e cinco até cem pontos.

A análise do perfil de desempenho de acordo com o gerente de operações de Protransporte mostra que:

- No primeiro intervalo, há um atributo, que é o custo da tarifa;
- No segundo intervalo, há quatro atributos: acidentes, atropelamentos, emissão de CO₂ e conforto;
- No quarto intervalo, há três atributos: demanda, tempo e acessibilidade.

A análise do perfil de desempenho de acordo com o subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima mostra que:

- No primeiro intervalo também há um atributo, que é o custo da tarifa;

- No segundo intervalo, há três atributos: acidentes, atropelamentos e emissão de CO₂;
- No terceiro intervalo, há dois atributos: demanda e conforto;
- No quarto intervalo, há dois atributos: tempo e acessibilidade.

Para fazer a avaliação global, primeiro foram estimadas as constantes de escala de acordo aos atores escolhidos, que são apresentadas nas tabelas 6.37 e 6.38.

Tabela 6. 37 – Comparação das constantes de escala do 2º nível hierárquico

Atributo	Constantes de escala para o gerente de Protransportes	Constantes de escala para o subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima
Acidentes	0,44	0,67
Atropelamentos	0,56	0,33

Tabela 6. 38 – Comparação das constantes de escala do 1º nível hierárquico

Atributo	Constantes de escala para o gerente de Protransportes	Constantes de escala para o subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima
Demanda	0,16	0,19
Segurança	0,20	0,10
Custo da tarifa	0,14	0,12
Emissão de CO ₂	0,09	0,08
Tempo	0,23	0,21
Acessibilidade	0,11	0,16
Conforto	0,07	0,14

As constantes de escala dos atributos demanda, custo da tarifa, emissão de CO₂ e tempo têm diferenças pequenas. Já os atributos segurança, acessibilidade e conforto apresentam diferenças maiores.

Utilizando o método da função de valor multiatributo na forma aditiva, foi determinado o valor global de desempenho para cada ator escolhido. O valor global, segundo o gerente de operações de Protransporte é igual a 61,5 pontos e o valor global obtido para o subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima é igual a 65,2 pontos, mostrando uma diferença de 3,7 pontos.

Os valores globais para a situação atual serão comparados com os valores globais para uma situação planejada. Para tanto, serão substituídos os dados dos seguintes atributos:

- Demanda: 325.426 passageiros/dia (dado da situação atual) serão substituídos por 436.084 passageiros/dia (dado obtido do projeto inicial do sistema BRT)
- Custo da tarifa: 2,00 *nuevos soles* (dado da situação atual) serão substituídos por 1,80 *nuevo sol* (dado fornecido pelo gerente de operações de Protransporte)

Primeiramente, é feita a avaliação local dos atributos demanda e custo da tarifa, para cada um dos atores. Os valores obtidos para a situação planejada, considerando as funções de valor construídas pelo gerente de operações de Protransporte, são ilustrados nas figuras 6.51 e 6.52.

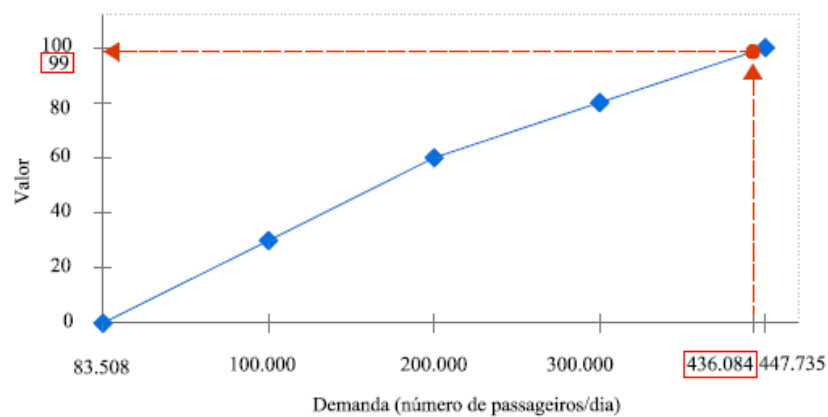


Figura 6. 51 – Valor da situação planejada para demanda

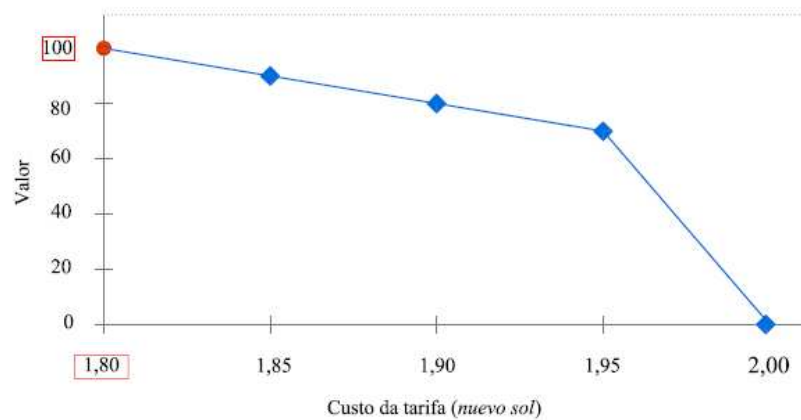


Figura 6. 52 – Valor da situação planejada para custo da tarifa

O valor obtido para a situação planejada, considerando a função de valor do atributo demanda, construída pelo subgerente de estudos de trânsito e transporte, é ilustrado na figura 6.53. Para o atributo custo da tarifa, o valor também é igual a 100, pois representa o melhor nível deste atributo.

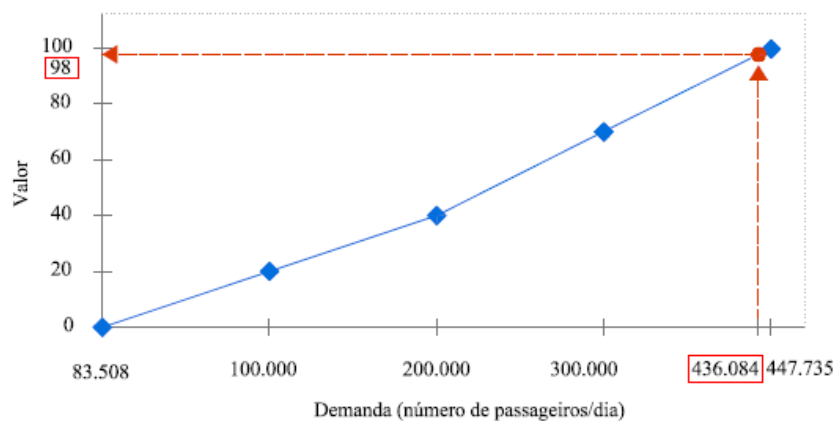


Figura 6. 53 – Valor da situação planejada para demanda

Na tabela 6.39, são apresentados os valores obtidos para a situação planejada de acordo com os atores escolhidos.

Tabela 6. 39 – Comparação dos valores obtidos para a situação planejada de acordo com os atores escolhidos

Atributos	Valor para o gerente de operações de Protransporte	Valor para o subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima
Demanda	99	98
Custo da tarifa	100	100

Para obter o valor global, segundo o gerente de Protransporte, a função de valor multiatributo foi aplicada ao primeiro nível da hierarquia dos objetivos fundamentais, obtendo-se:

$$\begin{aligned}
 V(\text{BRT})_1 &= 0,16 \times 99 + 0,20 \times 46,48 + 0,14 \times 100 + 0,09 \times 49 + 0,23 \times \\
 &\quad 87 + 0,11 \times 100 + 0,07 \times 50 \\
 V(\text{BRT})_1 &= 15,84 + 9,3 + 14 + 4,41 + 20,01 + 11 + 3,5 \\
 V(\text{BRT})_1 &= 78,1
 \end{aligned}$$

De acordo com o mesmo procedimento, foi calculado o valor global segundo o subgerente de estudos de trânsito e transportes da Municipalidade de Lima, obtendo-se:

$$V(BRT)_2 = 0,19 \times 98 + 0,10 \times 48,66 + 0,12 \times 100 + 0,08 \times 43 + 0,21 \times 87 + 0,16 \times 100 + 0,14 \times 60$$

$$V(BRT)_2 = 18,62 + 4,86 + 12 + 3,44 + 18,27 + 16 + 8,4$$

$$V(BRT)_2 = 81,6$$

Na tabela 6.40, são comparados os valores globais da situação atual com os valores globais da situação planejada.

Tabela 6. 40 – Comparação dos valores globais para a situação planejada

Atores	Valor global da situação atual	Valor global da situação planejada
Gerente de operações de Protransporte	61,5	78,1
Subgerente de estudos de trânsito e transportes da Municipalidade de Lima	65,2	81,6

Os valores globais da situação planejada apresentam uma melhoria significativa do desempenho em relação aos valores globais da situação atual, para os dois atores. A melhoria representa um incremento de 16,6 pontos para o gerente de operações de Protransporte e de 16,4 pontos para o subgerente de estudos de trânsito e transporte da Municipalidade de Lima.

6.3.3 Recomendações

De acordo com as avaliações locais, refletidas nos perfis de desempenho, considera-se que os atributos localizados no primeiro, segundo e terceiro intervalos podem ter seu desempenho melhorado. Estes atributos são: custo da tarifa, acidentes, atropelamentos, emissão de CO₂, conforto e demanda.

A melhoria do desempenho do custo da tarifa ou da demanda já contribuiria de maneira importante para a melhoria do desempenho global do sistema BRT, como foi evidenciado na comparação entre os resultados globais da situação atual com os resultados globais da situação planejada.

Para respaldar o processo de melhoria do sistema, pode-se propor que esta metodologia de avaliação sirva de base para o desenvolvimento de um sistema de gerenciamento com avaliações periódicas, possibilitando o acompanhamento dos desempenhos locais e global do sistema BRT de Lima.

7. CONCLUSÃO

O objetivo geral da dissertação foi o de avaliar o desempenho do sistema BRT da cidade de Lima, no Peru, utilizando a metodologia de Auxílio Multicritério à Decisão (AMCD).

Para escolher a metodologia a ser utilizada neste estudo, analisaram-se, inicialmente, os seguintes métodos de avaliação de desempenho que são atualmente aplicados em sistemas Bus Rapid Transit: análise custo-benefício, abordagem de características e padrão de qualidade BRT. Também foram analisados exemplos de avaliação de desempenho dos sistemas Bus Rapid Transit de Curitiba, Bogotá e Beijing. No primeiro exemplo, a avaliação foi feita sob a ótica da abordagem de características; no BRT de Bogotá, aplicou-se a análise custo-benefício e, no de Beijing, a avaliação baseou-se em alguns indicadores de desempenho. Contudo, não foi encontrado nenhum exemplo de avaliação de desempenho de sistemas BRT onde tenha sido aplicado o Auxílio Multicritério à Decisão. Os resultados dessas análises orientaram a opção pelo AMCD, já que a avaliação do desempenho de um sistema Bus Rapid Transit é um problema complexo, pois há vários atores envolvidos e diversos impactos a considerar e essa metodologia permite que todos esses aspectos sejam explicitamente levados em conta na avaliação.

Na etapa de estruturação, obteve-se a hierarquia dos objetivos fundamentais, que expressa os pontos de vista e as necessidades dos atores, no que se refere ao funcionamento do sistema. Estes objetivos são: atender a demanda; melhorar a segurança contra acidentes; melhorar a segurança contra atropelamentos; reduzir o custo da tarifa; reduzir a poluição atmosférica; reduzir o tempo de viagem; melhorar a acessibilidade; melhorar o conforto.

Na etapa de avaliação de desempenho, obtiveram-se resultados de avaliação local, para cada atributo, e resultados de avaliação global do sistema. A avaliação local

permitiu conhecer quais atributos poderiam ser melhorados de forma individual, entre os que podemos mencionar: custo da tarifa; acidentes; atropelamentos e emissão de CO₂. Já a avaliação global permitiu conhecer o estado geral do sistema.

Um dos objetivos da pesquisa foi o de identificar quais dos objetivos contemplados no projeto inicial foram atingidos no processo final de implantação do sistema. Assim, foram considerados os seguintes objetivos do projeto inicial: atender a demanda, reduzir o tempo de viagem e o custo da tarifa. Os resultados evidenciam que reduzir o tempo de viagem foi o único objetivo atingido adequadamente.

A aplicação do AMCD permitiu integrar os componentes objetivos do problema com os subjetivos dos atores: avaliar o desempenho de um sistema BRT, utilizando indicadores que representam os objetivos fundamentais dos atores.

Considera-se que os objetivos do trabalho foram claramente atingidos, já que foi possível desenvolver todas as etapas da metodologia e foram obtidos resultados satisfatórios para cada uma delas.

Durante a realização da pesquisa, houve dificuldades para solicitar e fazer as entrevistas com alguns atores que foram identificados; também foram encontradas limitações para obter as informações necessárias para determinar os níveis de referência dos atributos.

A metodologia utilizada neste estudo não se restringe ao sistema BRT da cidade de Lima, mas pode também ser aplicada em outros sistemas Bus Rapid Transit. Dessa forma, sugere-se, para pesquisas futuras sobre o tema, que o Auxílio Multicritério à Decisão seja aplicado na avaliação de desempenho de sistemas BRT em contextos diversos, bem como de outros tipos de sistema de transporte urbano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AENOR - ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. **High capacity segregated corridor (COSAC I)**. Validation report. Madrid – España 2012.

ALLEN, W., GRIMM, L. G. Development and Application of Performance measures for a medium – sized Transit System. **Transportation Research Record**, n. 746, p. 8-13. 1980. *apud* HOLANDA, H. **Avaliação de Desempenho de Sistemas de Transporte Público Urbano sob a ótica da Eficácia**. Tese de mestrado – Instituto Militar de engenharia. Rio de janeiro, 2001.

ALMEIDA, A.T., COSTA, A.P.C.S. **Aplicações com Métodos Multicritério de Apoio a Decisão**. Recife. Ed. Universitária, 2003.

ARDILA, A. **How Public Transportation's Past is Haunting its Future in Bogotá, Colombia**. Transportation Research Record. Journal of the Transportation Research Board, n. 2038, 2007.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS - ANTP. **Elementos para a montagem de quadro de indicadores de desempenho de transportes em São Paulo**. São Paulo, 2007.

BANA e COSTA, C. A. **Structuracion, Construction et Exploitation d'un modèle multicritère d'aide à la decision**. 1992. Tese PhD – Universidade Técnica de Lisboa.

BANA e COSTA, C. A. **Três Convicções Fundamentais na Prática do Apoio à Decisão**. Pesquisa Operacional, v. 13, n.1, p. 09-20. 1993.

BANA E COSTA, C. A., STEWART, T. J., VANSNICK, J.C. **Multicriteria decision analysis: some thoughts based on the tutorial and discussion sessions of the ESIGMA meetings**. In: EUROPEAN CONFERENCE ON OPERATIONAL RESEARCH, 14. 1995. Jerusalem: Hebrew University of Jerusalem. *apud* FERNANDES, C.H., **Priorização de Projetos Hidrelétricos sob a ótica social – um estudo de caso utilizando análise custo/benefício e uma metodologia multicritério de apoio à decisão – “MACBETH”**. Tese de Mestrado em Engenharia da Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianopolis. 1996.

BANA E COSTA, C. A., CHAGAS, M. P. **A career choice problem: Na example of how to use MACBETH to build a quantitative value model based on quantitative value judgments**. 2002. London School of Economics and Political Science, Londres.

BEIJING BRT. **China Bus Rapid Transit**, disponível em: < <http://www.chinabrt.org>>, acesso em: 22 de Abril de 2013.

BELTON, V., STEWART, T. **Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach**. Kluwer Academic Publishers, Boston. 2002.

BRAZ, C. C. A. **Procedimento de Otimização de Desempenho do Transporte coletivo por ônibus**. 1984. Tese de Mestrado em Engenharia de Transportes – Instituto Militar de Engenharia . Rio de Janeiro.

BOGOTÁ. “**Transmilenio**”. 2003 [on line], disponível em: <<http://www.transmilenio.gov.co>>, acesso em: 12 de março de 2013.

BROWNE, D., RYAN, L. **Comparative analysis of evaluation techniques for transport policies**. Environmental Impact Assessment: Review 31, p. 226-233. 2011.

BOUYSSOU, D. **Modeling inaccurate determination, uncertainty, imprecision using multiple criteria**. In: Lockett, A. G., Islei, G. (eds.) Improving Decision Making in Organizations, 1989. Berlin: Springer. p. 78-87. apud MELLO, J.C; GOMES, E.G; GOMES, L.F; BIONDI NETO, L; MEZA, L.A. **Avaliação do tamanho de aeroportos portugueses com relações multicritério de superação**. Pesquisa operacional. V. 25, n.3, p. 313-330. Setembro a dezembro de 2005.

CÂMARA, M. T. **Uma Metodologia para Avaliação de Desempenho em Infra-Estruturas de Transporte Concedidas: Aplicação às Concessões de Rodovias Federais Brasileiras**. 2006 p. Tese de Mestrado em Transportes – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF.

CANÇADO, V.L. **Levantamento de opinião dos usuários em relação aos atributos dos transportes por ônibus**. In CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, IX, 1995. Anais ... São Carlos: ANPET. p. 1004-1014.

CARDENAS, O. N. **Programa de Transporte Urbano de Lima (Corredor Segregado de Alta Capacidad- COSAC I Etapa)**. Centro Iberoamericano de Desarrollo Estratégico Urbano. Lima. 2010.

CAUFIELD, B., BAILEY, D., MULLARKEY, S. **Using data envelopment analysis as a public transport project appraisal tool**. Transport Policy, v. 29, p. 74-85. 2013.

CEPAL. **Manual de Formulação e Avaliação de Projetos Sociais**. Santiago de Chile, 1997.

CHAPARRO, I. **Evaluación del Impacto Socioeconómico del Transporte Urbano en la ciudad de Bogotá**. El Caso del Sistema de Transporte masivo, TransMilenio. CEPAL - ECLAC- Naciones Unidas. Santiago de Chile, 2002.

CLEMEN, R., REILLY, T. **Making Hard Decisions with Decision Tools**. Pacific Grove. Duxbury, 2001.

CORDEIRO NETTO, O. M., AZZOLIN P. V., SILVEIRA, C. C. **Métodos multicritério aplicados ao planejamento de recursos hídricos: o caso da escolha de um sítio de barragem de regularização no sudoeste da França**. Parte 1 – discussão teórica. In: CONGRESSO DA ABRH. 1993.

CTS EMBARQ. **México** 2012, disponível em: <<http://www.ctsmexico.org>>, acesso em: 15 de março de 2013.

CUI, X., GAO, J., WANG Y. **Research of Bus Rapid Transportation Based on "Public Transportation First"** 2010. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FUTURE INFORMATION TECHNOLOGY AND MANAGEMENT ENGINEERING. IEEE. 2010.

DAMART, S., ROY, B. **The uses of Cost Benefit analysis in Public Transportation decision making in France**. Transport Policy, v. 16, p. 200-212. 2009.

DARIDO, G. **Bus Rapid Transit Developments in China**. U.S. Department of Transportation Federal Transit Administration. Washington D.C, 2006.

DENG, T., NELSON, J. D. **Bus rapid transit implementation in Beijing**: An evaluation of performance and impacts. Research in Transportation Economics, n. 39, p. 108-113. 2013.

DUARTE, F., ROJAS, F. **Intermodal Connectivity to BRT**: A Comparative Analysis of Bogotá and Curitiba, Journal of Public Transportation, n. 15. 2012.

EDEN, C., JONES, S., SIMS, D. **Messing about in problems**. Pergamum. Oxford. 1983.

EDEN, C. **Using cognitive mapping for strategic options development and analysis (SODA)**. In Rosenhead J. ed. Rational Analysis for a Problematic World. Wiley; Chichester. 1989.

EASLEY, R.F., VALACIH, J.S., VENKATARAMANAN, M.A. **Capturing Group Preferences in a Multicriteria Decision**. European Journal of Operational Research 125, p. 73-83. 2000.

EMBARQ "Sustainable Mobility". Magazine: **Metrobús**, Welcome Aboard, year 1, October 2006, v. 1. "The WRI Center for Sustainable Transport". Disponível em: <<http://embarq.wri.org> >, acesso em: 30 de maio de 2013.

ENSSLIN, L., MONTIBELLER NETO, G., NORONHA, S. M. **Apoio à decisão; metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas**. Florianópolis: Insular, 2001.

ERNST, J. **Initiating Bus Rapid Transit in Jakarta, Indonesia**. Transportation Research Record, n. 1903, p.20-26. 2005.

FARIA, C. A. **Percepção do usuário com relação as características do nível de serviço do transporte coletivo urbano por ônibus**. 1985. Tese de mestrado em Engenharia de Transportes – Escola de Engenharia de São Carlos- USP.

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

FERREIRA, E. **Corredores de Ônibus de Alto Desempenho**. Instituto de Energia e Meio Ambiente. 2007.

FERNANDES, C.H., **Priorização de Projetos Hidrelétricos sob a ótica social** – um estudo de caso utilizando análise custo/benefício e uma metodologia multicritério de apoio à decisão – “MACBETH”. Tese de Mestrado em Engenharia da Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 1996.

GALVES, M.L. **Structuring decision situations: a brief overview**. Advances in Multicriteria Decision Aid, Brest. França, 2005.

GARTNER, I. R. **Avaliação Ambiental de Projetos em Bancos de Desenvolvimento Nacionais e Multilaterais**: Evidências e Propostas. Editora Universa. Brasília, 2001.

GETINSA Y TARGET. **Estudios técnicos y ambientales del corredor segregado de alta capacidad (COSAC I) y sus terminales de transferencia**. 2003.

GOODWIN. P., WRIGTH, G. **Decision Analysis for Mangement Judgment**. Chichester: John Wiley & Sons. 1991. *apud* ENSSLIN, L., MONTIBELLER NETO, G., NORONHA, S. M. **Apoio à decisão; metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas**. Florianópolis: Insular, 2001.

GOMES, L. F., GOMES, C. F. ALMEIDA, A. **Tomada de Decisão Gerencial: Enfoque Multicritério**. Editora Atlas. São Paulo. 2002. *apud* ALMEIDA, A.T., COSTA, A.P.C.S. Aplicações com Métodos Multicritério de Apoio a Decisão. Recife. Ed. Universitária, 2003.

HAMMOND, J., KEENEY, R., RAIFFA, H. **Decisões Inteligentes**. Ed. Campus. Elsevier Rio de Janeiro, 2004.

HENSHER, D. **Bus transport: Economics, policy and planning**. 1. Ed. JAI Press publication. 2007.

HIDALGO, D., PEREIRA, L., ESTUPIÑAN, N., JIMENEZ, P.L. **TransMilenio BRT System in Bogota, High Performance and Positive Impact-main Result of an Ex-post Evaluation**. Research in transportation economics, 39, p. 133-138. 2013.

HIDALGO, D., CUSTODIO, P., GRAFTIEAUX, P. **Presentation of results from ‘A critical look at major bus improvements in Latin America and Asia: Case studies of hitches, hic-ups and areas for improvement; synthesis of lessons learned’**. 2007. UK Department for International Development and the World Bank. *apud* DENG, T., NELSON, J. D. **Bus rapid transit implementation in Beijing**: An evaluation of performance and impacts. Research in Transportation Economics, n. 39, p. 108-113. 2013.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custos**. 5 ed. São Paulo Atlas. 1992.

HOLANDA, H. **Avaliação de Desempenho de Sistemas de Transporte Público Urbano sob a ótica da Eficácia**. Tese de mestrado – Instituto Militar de engenharia. Rio de Janeiro, 2001.

HOLZ, E. **Estratégia de equilíbrio ente a busca de benefícios privados e os custos sociais gerados pelas unidades agrícolas familiares**: um método multicritério de avaliação e planejamento de microbacias hidrográficas. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

INSTITUTE FOR TRANSPORTATION & DEVELOPMENT POLICY – ITDP. **Padrão de Qualidade de BRT**, versão 1.0. New York, 2010.

KEENEY, R.L. **Value focused thinking: a path to creative decision making**. Harvard University Press, Cambridge. 1992.

JUNGE, J., GROH, M. **Bus Rapid Transit in Latin America**. 2008.

LÁMBARRY, F., RIVAS, L.A., TRUJILLO, M.M. **Planning Models for a Bus Rapid Transit System (BRT)**: The case of Metrobús in Mexico City. International Journal of Bussiness and Management, v.1, n. 15. 2010.

LANDRY, M. **A note on the concept of problem**. Quebec: Maurice Landry Faculty of Administrative Sciences, Laval University, 1995.

LERNER, J. **Avaliação Comparativa das Modalidades de Transporte Público Urbano**. NTU. 2009.

LEVINSON, H.S., ZIMMERMAN, S., CLINGER, J., GAST, J. **Bus rapid transit**. Synthesis of case studies. Transportation Research Record, 1841, p. 1–11. 2003.

LINDAU, L.A., HIDALGO, D., FACCHINI, D. **Curitiba, the Cradle of Bus Rapid Transit**. Transportation Research Board, 2010. v. 36, n. 3, Ed. ALEXANDRINE PRESS, p. 274-82.

LITMAN, T. **Transportation Cost Benefit and analysis**: Techniques, estimated and implications. Victoria Transport Policy Institute, 2009.

MELLO, J.C; GOMES, E.G; GOMES, L.F; BIONDI NETO, L; MEZA, L.A. **Avaliação do tamanho de aeroportos portugueses com relações multicritério de superação**. Pesquisa operacional. V. 25, n.3, p. 313-330. Setembro a dezembro de 2005.

MENDOZA, G. A., MACOUN, P., PRABHU, R., SUKADRI, D., PURNOMO, H., HARTANTO, H. **Guidelines for Plying Multi-criteria Analysis to Assessment of Criteria and Indicators**. Center for International Forestry Research, Jakarta. 1999. Disponível em: <www.cifor.cgiar.org/acm/methods/toolbox9.html>. Acesso em: 16 de junho 2013.

METROBUS. **Metrobús Insurgentes** – Programa de Mitigación y Recuperación Urbana: Proyecto Introducción de Medidas Ambientalmente Amigables en Transporte. 2012.

MOREIRA, R. **Avaliação de Projetos de Transporte utilizando Analise Benefício Custo e Método de Analise Hierárquica**. 2000. Tese de Mestrado em Engenharia de Transportes – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MONTIBELLER, G.N. **Mapas Cognitivos Difusos para o Apoio à Decisão**. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 2000. *apud* ENSSLIN, L., MONTIBELLER NETO, G., NORONHA, S. M. **Apoio à decisão; metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas**. Florianópolis: Insular, 2001.

MUMFORD, L. **A cidade na história**: suas origens, Desenvolvimento e Perspectivas. São Paulo: Martins Fontes. 1982.

MUNDA, G. Social **Multicriteria evaluation (SMCE)**: Methodological Foundations and Operational Consequences. European Journal of Operational Research. 2004.

NTU – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS. **Desempenho e Qualidade nos Sistemas de Ônibus Urbanos**. 2008.

NTU – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS. **Conceitos e Elementos de Custos de Sistemas BRT**. Brasília, 2010.

NTU – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS. **Estudos de BRT no Brasil**. Caderno Técnico. São Paulo, 2011.

NTU – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS. **Estudos de BRT no Brasil**. 2 Ed. São Paulo, 2012.

OLIVEIRA, J. **Análise do sistema BRT para melhorias do transporte público**. 2011. Centro de Paula Souza Faculdade de Tecnologia da zona leste São Paulo.

PINHEIRO, P. R., CONRADO DE SOUZA, G., ARAUJO DE CASTRO, A.C. **Estruturação do Problema Multicritério para Produção de Jornal**. Pesquisa Operacional, v. 8, n. 2. Rio de Janeiro 2008.

PRESTON, J, **Transport, Public**. University of Southampton, Southampton, UK & 2009 Elsevier Ltd. All rights reserved.

POLUS, A. **Modelling and Measurements of Bus service Reliability**. Transport Research, v.12 1978.

PROTRANSPORTE. Instituto Metropolitano 2012, disponível em: < <http://www.Protransporte.gob.pe>>, acesso em: 23 de abril de 2013.

_____. Gerencia de operações. Quadros estatísticos de demanda por dia. Lima 2013(a).

_____. Gerencia de operações. Validações por estação. Lima 2013(b).

_____. Gestão ambiental. Lima 2013(c), disponível em < <http://www.metropolitano.com.pe/index.php/metropolitano/gestion-ambiental>>. Acesso em 11 de novembro de 2013.

ROY, B., BOUYSSOU, D. **Aide multicritère à la décision**: méthodes et cas. Paris: Economica, 1993. p. 695

ROY, B. **Multicriteria Methodology for Decision Aiding**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996.

SANDS, L., REESE, A., ARTEAGA, M., ESPINOSA, C., LATARGERE, J., RUIZ, A. **Inserting bus rapid transit into an existing transportation system**: the Mexico City experience State University, USA. Revista: WIT Transactions on ecology and the environment, v. 117 .2008. Ed wit press.

SANTANA FILHO, A. R. **Avaliação de Desempenho de Serviços de Ônibus Urbano do**

Ponto de Vista do Usuário. COPPE/UFRJ, Tese de mestrado, Programa de Engenharia de Transportes, Rio de Janeiro, 1984.

SCATULIN, B. L. **Auxilio Multicriterio à Decisão aplicado à Implantação de Sistemas de Armazenamento de grãos na Propriedade Rural.** 2012. Tese de Mestrado Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SILVA, G. A. **Considerações sobre as características de vias exclusivas para o ônibus Urbano:** Uma contribuição para estudos de Implantação. Tese de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília. 2005.

SOARES, U. P. **Procedimento para a localização de terminais rodoviários interurbanos, interestaduais e internacionais de passageiros.** Dissertação de mestrado- Universidade Federal do Rio de Janeiro 2006.

SCHMOCKER, J. D, BELL M.G.H., LAM, W.H.K. **Importance of public transportation.** Journal. 2003.

SCHMIDT, A. M. **Processo de apoio à tomada de decisão – Abordagens: AHP e MACBETH.** Tese de Mestrado em Engenharia de Produção. Florianópolis: UFSC, 1995.

TALLEY, W. K., ANDERSON, P. P. **Effectiveness and Efficiency in Transit Performance:** A Theoretical Perspective. Old Dominion University. Norfolk, USA, 1980.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD WASHINGTON, D.C. **Transit Cooperative Research Program;** Bus Rapid Transit ,v. 2: Implementation Guidelines . 2003.

TRANSMILENIO S.A. **Plan Marco Sistema Transmilenio.** Centro de Documentação do Transmilenio 2007.

TRANSMILENIO. TransMilenio S.A 2013, disponível em: <<http://www.transmilenio.gov.co>>, acesso em: 18 de abril de 2013.

THOMAS, E. **Presentation at Institute of Transportation Engineers meeting.** Chicago 2001.

TUDELA, A., AKIKI, N., CISTERNAS, R. **Comparing the output of Cost Benefit and Multicriteria analysis: an application to Urban Transport Investments.** Transportation Research for Policy Practice. 2006.

U.S DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. **Conference on Urban Transit Performance- Concepts and Indicators**. Norfolk, Virginia, Setembro, 1977.

URBAN, R.G. **História do sistema de transporte coletivo de Curitiba**. Curitiba: Travesa dos Editores, 2004.

URBANIZAÇÃO DE CURITIBA S.A. **RIT Curitiba**, disponível em: <<http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br>>, acesso em: 16 de abril de 2013.

VASCONCELLOS, E. A. **Transporte urbano nos países em desenvolvimento: reflexões e propostas**. 3. Ed. Annablume, São Paulo. 2000.

VILAS BOAS, C. **Modelo Multicritérios de Apoio À Decisão Aplicado ao uso Múltiplo de Reservatórios**: Estudo da Barragem do Ribeirão João Leite.2006. Tese Mestrado em Gestão Econômica do Meio Ambiente – universidade de Brasília – UNB.

WRIGHT, Lloyd., HOOK Walter. **Bus rapid transit. Planning Guide**. Institute for transportation and Development Policy. New York, NY. 2008

WRIGHT, C. L. **Avaliação de projetos**: uma abordagem alternativa a benefícios e custos. Revista Brasileira de Economia. N.39, p. 61-88. 1985.

_____. **Fast wheels, slow traffic**: Urban Transport Choices. Copyright 1992. Temple University Choice Filadelfia, Pennsylvania.

WHITE, I., LEE, G. J., **Operational Research and Sustainable Development**: Tacking the social dimension. European Journal of Operational Research. 2009.

WORLD BANK. **TransMilenio Busway** - based Mass Transit, Bogotá, Colombia. 2003.

XIAO, C., GAO, J., WANG, Y. **Research of Bus Rapid Transportation Based on "Public Transportation First"**. In: International Conference on Future Information Technology and Management Engineering, 5. Changzhou. v.3, n.2, p.174-177. 2010.

ZLATKOVIC, M., STEVANOVIC, A., CEVALLOS, F., JOHNSON, H.R. **35M MAX**: the first bus rapid transit system in Salt Lake County. World Review of Intermodal Transportation Research, v.3, n.1-2, p.103 – 120, 2010.