

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

MARINA DE ALMEIDA GOMES SORIANO

ESTUDO DO MODO DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASSAGEIROS PARA OPERAR NO  
CORREDOR DA AVENIDA NORTE MIGUEL ARRAES DE ALENCAR

RECIFE

2017

MARINA DE ALMEIDA GOMES SORIANO

ESTUDO DO MODO DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASSAGEIROS PARA OPERAR NO  
CORREDOR DA AVENIDA NORTE MIGUEL ARRAES DE ALENCAR

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Transportes e Gestão das Infraestruturas Urbanas

Linha de pesquisa: Transporte Público

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Herszon Meira

RECIFE

2017

Catálogo na fonte  
Biblioteca Margareth Malta, CRB-4 / 1198

S714e Soriano, Marina de Almeida Gomes.  
Estudo do modo de transporte público de passageiros para operar no corredor da Avenida Norte Miguel Arraes de Alencar / Marina de Almeida Gomes Soriano. - 2017.  
201 folhas, il., gráfs., tabs.  
  
Orientador: Prof. Dr. Leonardo Herszon Meira.  
  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2017.  
Inclui Referências e Apêndices.  
  
1. Engenharia Civil. 2. Transporte público. 3. Planejamento dos transportes. 4. Análise multicritério. I. Meira, Leonardo Herszon. (Orientador). II. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2018-138

MARINA DE ALMEIDA GOMES SORIANO

**ESTUDO DO MODO DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASSAGEIROS PARA  
OPERAR NO CORREDOR DA AVENIDA NORTE MIGUEL ARRAES DE  
ALENCAR**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

Aprovada em: 06/11/2017

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Leonardo Herszon Meira – UFPE  
(orientador)

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ilce Marília Dantas Pinto – UFBA  
(examinadora externa)

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Leonor Alves Maia – UFPE  
(examinadora interna)

A minha mãe, por toda sua dedicação, orientação e amor.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por me direcionar e permitir realizar mais uma etapa da minha vida.

Ao professor e orientador Leonardo Herszon Meira, que com apenas duas aulas na graduação fez eu me apaixonar pela área de transportes. Pela dedicação, incentivo a inscrição no mestrado e paciência com a minha ansiedade.

Aos demais professores Maria Leonor Alves Maia, Oswaldo Cavalcanti da Costa Lima Neto, Anísio Brasileiro de Freitas Dourado e, em especial, ao professor Maurício Oliveira de Andrade pela ajuda na dissertação e em alguns artigos.

Aos técnicos, que disponibilizaram tempo e paciência para responder o questionário.

Aos meus colegas de turma, principalmente Pâmela, Natália, Laize, companheiras de artigos, pesquisas de campo e conversas; e Silmara, pelos conselhos durante as inúmeras caronas de volta para casa.

Aos meus pais, pelo apoio e por estarem sempre presentes. A minha família, pela confiança depositada. A André Luiz pelo carinho, paciência e momentos de distração. Aos amigos que fiz ao longo da jornada.

A todos vocês, o meu sincero agradecimento!

## RESUMO

A intensa urbanização ocorrida nas últimas décadas em inúmeras cidades do mundo não teria sido possível sem o desenvolvimento progressivo dos sistemas de transportes urbanos, principalmente no que diz respeito aos transportes públicos coletivos. Contudo, o crescimento da população nas cidades aliado à dispersão das atividades tem contribuído para que ocorra uma maior necessidade e complexidade dos deslocamentos da população. Assim, na medida em que os transportes reforçam o seu papel articulador do processo produtivo cada vez mais espacializado, planejar e gerir esta atividade torna-se algo mais complexo. Os modelos tradicionais de planejamento de transportes, baseados na implantação de grandes obras viárias e que não levam em consideração uma política de integração com o uso do solo não têm se mostrado eficientes. Os investimentos ditados pelo planejamento dos transportes constam de alternativas caracterizadas por projetos de infraestrutura pertencentes aos diversos modos de transportes. A decisão sobre qual deve ser priorizado varia conforme avaliações que levam em consideração mais de um critério, visando atender um ou mais objetivos. Trata-se, portanto, de avaliar simultaneamente critérios para um conjunto de investimentos em transportes. Nesse sentido, o uso de procedimentos multicritérios aparece como uma opção vantajosa, uma vez que se adequa às questões específicas das tomadas de decisões sobre investimentos governamentais em infraestrutura de transportes. Dentre os métodos multicriteriais, o escolhido para ser utilizado nesta dissertação foi o Processo de Hierarquização Analítica (do inglês, Analytic Hierarchy Process – AHP), já que é utilizado em estudos de transportes há mais de 40 anos e é o principal método para a solução de problemas multicriteriais que necessitam do ordenamento das prioridades. Diante do exposto, este trabalho propõe a utilização do AHP para hierarquizar critérios que são levados em consideração no processo de tomada de decisão. Os critérios são: espaço para implantação, custo e prazo de implantação, custo de operação e manutenção, intrusão visual e poluição, capacidade, rapidez e conforto. Com base nos critérios selecionados, as possíveis alternativas de priorização ao transporte público que possam ser implantadas na Avenida Norte Miguel Arraes de Alencar, uma das vias arteriais mais congestionadas da cidade do Recife, também foram ranqueadas. Para chegar ao resultado final, foram aplicados 25 questionários com técnicos e planejadores da área de transportes. Assim, a alternativa mais indicada é o metrô subterrâneo com 45,53%. O segundo lugar foi ocupado pelo ônibus comum em faixa exclusiva, que apresentou um peso de 19,91%. Na sequência vem o BRT e o VLT com 15,27% e 11,11%, respectivamente. E, por fim, o monotrilha (8,27%).

Palavras-chave: Transporte público. Planejamento dos transportes. Análise multicritério.

## ABSTRACT

The intense urbanization that has occurred in the last decades in many cities of the world would not have been possible without the progressive development of urban transport systems, mainly with regard to collective public transport. However, the cities' population growth allied with dispersion of activities has contributed to a greater need and complexity of population displacement. Thus, insofar the transport reinforces its articulator role of the productive process increasingly spatialized planning and managing this activity becomes more complex. The traditional models of transport planning, based on large road works and that do not take into account a policy of integration with land use, have not been efficient. The investments dictated by the transport planning consist of alternatives characterized by infrastructure projects belonging to different modes of transportation. The decision on which it should be prioritized varies according to evaluations that take into account more than one criterion, aiming to meet one or more objectives. It is therefore a matter of evaluating criteria for a set of transport investments at the same time. In this sense, the use of multi-criteria procedures appears as an advantageous option, since it adjusts to the specific issues of decision making on government investments in transportation infrastructure. Among the multi-criteria methods, the Analytic Hierarchy Process (AHP) was chosen to be used in this dissertation since it has been used in transportation studies for more than 40 years and is the main method for multi-criteria solution requires ordering the priorities. Thus, this study proposes the use of AHP to hierarchize criteria that are taken into account in the decision making process. These criteria are: installation space, installation cost and deadline, operation and maintenance cost, visual intrusion and pollution, capacity, rapidity and comfort. Based on the criteria selected, the possible alternatives for prioritizing public transport that could be implemented in the Norte Miguel Arraes de Alencar Avenue, one of the most congested arterial roads in the city of Recife, were also ranked. To reach the final result, 25 questionnaires were applied with transportation technicians and planners. It was concluded that the most suitable alternative is subway with 45.53%. The second place is occupied by common bus in exclusive lane, which presented a weight of 19.91%. Sequentially come BRT and VLT with 15.27% and 11.11%, respectively. Finally, the monorail (8.27%).

Keywords: Public transportation. Transport planning. Multicriteria analysis.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema tradicional de operação de um BRT.....	37
Figura 2 - Dimensões de uma estação padrão no canteiro central.....	38
Figura 3 - Dimensões de uma estação com portas escalonada no canteiro central .....	39
Figura 4 - Dimensões de uma estação escalonada.....	39
Figura 5 - Comparação entre a eficiência energética do BRT e VLT .....	62
Figura 6 - A: tipo <i>Stadle Beam</i> (viga em concreto pré-moldado); B: Suspenso Invertido; C: Levitação Magnética.....	65
Figura 7 - Plataforma central ou ilhada .....	66
Figura 8 - Plataforma lateral .....	66
Figura 9 - Integração física e tarifário do monotrilho com o metrô .....	70
Figura 10 - Configurações das plataformas .....	77
Figura 11 - Faixa exclusiva dedicada ao ônibus e faixa de ultrapassagem .....	92
Figura 12 - Itens necessários de um ponto de parada .....	93
Figura 13 - Hierarquia do método AHP .....	106
Figura 14 - Etapas do método AHP.....	108
Figura 15 - Avenida Norte (ligação entre o Porto do Recife e a BR-101) .....	109
Figura 16 - Configuração da Av. Norte .....	110
Figura 17 - Situação atual da Avenida Norte .....	110
Figura 18 - Congestionamento na Avenida Norte .....	112
Figura 19 - Região Metropolitana do Recife .....	113
Figura 20 - Mapa do Sistema Estrutural Integrado (SEI).....	115
Figura 21 - Etapas da metodologia de pesquisa .....	117
Figura 22 - Estrutura hierárquica proposta para aplicação do AHP .....	119

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Resultados da importância dos critérios para o Usuário .....	30
Gráfico 2 - Resultados da importância dos critérios para o Operador.....	30
Gráfico 3 - Demanda na hora-pico (passageiros por hora por direção).....	41
Gráfico 4 - Corredores de BRT com custo de infraestrutura até R\$ 45,8 milhões quilômetro (valor máximo estimado pelo Manual do BRT).....	44
Gráfico 5 - Corredores de BRT com custo de infraestrutura acima de R\$ 45,8 milhões por quilômetro (valor máximo estimado pelo Manual do BRT) .....	44
Gráfico 6 - Custo total ao longo da vida útil: VLT x BRT.....	57
Gráfico 7 - Custo teórico do VLT em milhões de reais por quilômetro.....	60
Gráfico 8 - Custo do VLT em cidades brasileiras em milhões de reais por quilômetro .....	60
Gráfico 9 - Comparação entre os custos reais e teóricos do monotrilho .....	72
Gráfico 10 - Demanda de passageiros por hora dos sistemas de metrô do Brasil.....	80
Gráfico 11 - Comparação entre os custos reais de implantação do metrô com os custos teóricos mínimo e máximo.....	84

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores caracterizadores da qualidade do transporte público .....	25
Tabela 2 - Atributos de qualidade do serviço de transporte público .....	26
Tabela 3 - Aspectos e critérios importantes para avaliação de novas tecnologias em transporte público .....	28
Tabela 4 - Definição dos critérios analisados por especialistas.....	29
Tabela 5 - Medidas atribuídas a cada critério.....	30
Tabela 6 - Critérios e sua interpretação .....	31
Tabela 7 - Critérios e subcritérios utilizados na pesquisa .....	31
Tabela 8 - Níveis de satisfação por grupos de indicadores.....	33
Tabela 9 - Parâmetros relacionados ao transporte público .....	35
Tabela 10 - Comprimento e capacidade de um veículo BRT .....	40
Tabela 11 - Prazo de execução de um corredor BRT .....	47
Tabela 12 - Características básicas relacionadas ao VLT urbano e ao VLT regional.....	53
Tabela 13 - Características do monotrilho segundo o fornecedor .....	67
Tabela 14 - Linhas de monotrilho com caráter de transporte urbano .....	68
Tabela 15 - Linhas de monotrilho com finalidades variadas.....	69
Tabela 16 - Custos de linhas de monotrilho .....	71
Tabela 17 - Tempo de construção de alguns monotrilhos .....	72
Tabela 18 - Sistemas de metrô do mundo.....	79
Tabela 19 - Custo real do metrô em milhões de reais por quilômetro .....	83
Tabela 20 - Prazo de execução (corredor com 10 km para 150.000 passageiros/dia).....	85
Tabela 21 - Demanda de passageiros por hora (pico da manhã) de faixas exclusivas de ônibus em Porto Alegre.....	94
Tabela 22 - Serviços de ônibus rápido no Rio de Janeiro .....	94
Tabela 23 - Custo de implantação de faixas e pistas exclusivas de ônibus em R\$ milhões por quilômetro.....	96
Tabela 24 - Valores médios de investimento para implantação de medidas de prioridade para o ônibus nas cidades de São Paulo, Porto Alegre e Juiz de Fora .....	97
Tabela 25 - Resumo dos parâmetros das alternativas de transporte público .....	101
Tabela 26 - Matriz de decisão.....	102
Tabela 27 - Evolução da frota veicular (janeiro de 2007 a janeiro de 2017) .....	113
Tabela 28 - Dados sócio demográficos da RMR.....	114

Tabela 29 - Critérios selecionados e definições .....	118
Tabela 30 - Escala de Saaty .....	120
Tabela 31 - Comparação dos critérios .....	121
Tabela 32 - Comparação das alternativas em relação ao critério Cn.....	122
Tabela 33 - Índice Randômico (IR).....	123
Tabela 34 - Critérios de rejeição de Chauvenet.....	124
Tabela 35 - Comparação do Critério 3 em relação ao Critério 5.....	126
Tabela 36 - Média geométrica das respostas do grupo para os critérios (25 entrevistados) ..	127
Tabela 37 - Média geométrica das respostas do grupo para as alternativas em relação ao Critério Espaço para implantação .....	129
Tabela 38 - Média geométrica das respostas do grupo para as alternativas em relação ao Critério Custo de operação e manutenção.....	130
Tabela 39 - Média geométrica das respostas do grupo para as alternativas em relação ao Critério Intrusão visual e poluição .....	131
Tabela 40 - Média geométrica das respostas do grupo para as alternativas em relação ao Critério Capacidade.....	132
Tabela 41 - Comparação entre os dados da literatura e a opinião dos entrevistados .....	132
Tabela 42 - Média geométrica das respostas do grupo para as alternativas em relação ao Critério Rapidez .....	133
Tabela 43 - Comparação das alternativas modais em função do tempo total de viagem .....	134
Tabela 44 - Média geométrica das respostas do grupo para as alternativas em relação ao Critério Conforto.....	135
Tabela 45 - Média geométrica do resultado final das alternativas modais com base nos critérios .....	136
Tabela 46 - Classificações das alternativas em função dos critérios.....	137

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADA	<i>Americans with Disabilities Act</i>
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos
APTA	<i>American Public Transportation Association</i>
ATO	<i>Automatic Train Operation</i>
AVL	<i>Automated Vehicle Location</i>
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BRS	<i>Bus Rapid Service</i>
BRT	<i>Bus Rapid Transit</i>
CBTU	Companhia Brasileira de Trens Urbanos
CCO	Central de Controle Operacional
CGU	Controladoria Geral da União
CNG	Gás Natural Comprimido
CTTU	Companhia de Trânsito e Transporte Urbano do Recife
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
ELECTRE	<i>Elimination Et Choix Traduisant la Réalité</i>
EUA	Estados Unidos da América
FTA	<i>Federal Transit Administration</i>
GDV	Gestão de Demanda de Viagens
GNV	Gás Natural Veicular
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IDTP	Instituto de Políticas de Transporte & Desenvolvimento
IPI	Imposto sobre os Produtos Industrializados
ITS	<i>Intelligent Transportation Systems</i>
JICA	<i>Japan International Cooperation Agency</i>
LRT	<i>Light Rail Transit</i>
MACBETH	<i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique</i>
MAUT	<i>Multi Attribute Utility Theory</i>
MEDDE	<i>Ministère de L'Écologie, du Développement Durable et de L'Énergie</i>
NCIC	<i>Non-Traditional Capital Investment Criteria</i>
NTU	Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos

OCR	Reconhecimento Ótico de Caracteres
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PDTU	Plano Diretor de Transportes Urbanos
PLAMUS	Plano de Mobilidade Urbana Sustentável da Grande Florianópolis
PPP	Parceria Público-Privada
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations</i>
RMR	Região Metropolitana do Recife
SEDU/PR	Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República
SEI	Sistema Estrutural Integrado
SPTRANS	São Paulo Transportes
STPP/RMR	Sistema de Transporte Público de Passageiros da Região Metropolitana do Recife
SIU	Sistema de Informação ao Usuário
TCU	Tribunal de Contas da União
TDM	<i>Transportation Demand Management</i>
TOD	<i>Transit Oriented Development</i>
TODIM	Tomada de Decisão Interativa Multicritério
TOPSIS	<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
TRRL	<i>Transport Road Research Laboratory</i>
UITP	<i>International Association of Public Transport</i>
VAL	Veículo Automático Leve
VLP	Veículo Leve sobre Pneus
VLT	Veículo Leve sobre Trilhos
VTPI	<i>Victoria Transport Policy Institute</i>

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	<b>Importância e Justificativa do tema.....</b>	19
1.2	<b>Objetivos.....</b>	21
1.3	<b>Limitações .....</b>	22
1.4	<b>Estrutura da dissertação .....</b>	22
2	FATORES CARACTERIZADORES DA QUALIDADE DO TRANSPORTE PÚBLICO .....	24
3	ALTERNATIVAS DE PRIORIZAÇÃO AO TRANSPORTE PÚBLICO.....	36
3.1	<b><i>Bus Rapid Transit (BRT)</i> .....</b>	36
3.1.1	Definição e caracterização.....	36
3.1.2	Custo e financiamento .....	42
3.1.3	Impactos ambientais e visuais .....	48
3.2	<b>Veículo Leve sobre Trilho (VLT).....</b>	49
3.2.1	Definição e caracterização.....	50
3.2.2	Custo e financiamento .....	56
3.2.3	Impactos ambientais e visuais .....	60
3.3	<b>Monotrilho.....</b>	63
3.3.1	Definição e caracterização.....	63
3.3.2	Custo e financiamento .....	70
3.3.3	Impactos ambientais e visuais .....	73
3.4	<b>Metrô.....</b>	75
3.4.1	Definição e caracterização.....	75
3.4.2	Custo e financiamento .....	82
3.4.3	Impactos ambientais e visuais .....	86
3.5	<b>Faixa Exclusiva para Ônibus.....</b>	89
3.5.1	Definição e caracterização.....	89
3.5.2	Custo e financiamento .....	95

3.5.3 Impactos ambientais e visuais .....	98
4 MÉTODO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO .....	102
5 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL ESTUDADO .....	109
6 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	116
7 RESULTADOS E ANÁLISES .....	126
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	138
REFERÊNCIAS.....	141
APÊNDICE A – LINHAS DE ÔNIBUS QUE OPERAM NA AV. NORTE .....	155
APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO APLICADO NA PESQUISA .....	157
APÊNDICE C – CÁLCULO DE UM QUESTIONÁRIO.....	163
APÊNDICE D – APLICAÇÃO DO AHP COM OS 25 QUESTIONÁRIOS .....	179

## 1 INTRODUÇÃO

O século XX sofreu um processo de urbanização acelerada, principalmente nas cidades dos chamados países em desenvolvimento, caso do Brasil. Este processo foi resultado do deslocamento de um elevado número de pessoas do campo para as cidades, que até então não possuíam condições adequadas de infraestrutura e de gestão dos serviços públicos, como o transporte público. Aliado a esse processo, o crescimento econômico e os efeitos da globalização do final do século demandaram um novo modelo para os deslocamentos da população (GONÇALVES *et al.*, 2012).

Essa intensa urbanização não teria sido possível sem o desenvolvimento progressivo dos sistemas de transportes urbanos, principalmente no que diz respeito aos transportes públicos coletivos (ARIAS, 2001). Assim, “conforme a cidade adquiria maior complexidade em sua estruturação e nas relações socioeconômicas, a mobilidade assumia papel mais importante no desenvolvimento urbano [...] tornando-a um meio de acesso e democratização do território” (ANTP, 2015a). Nessa temática, se inserem os conceitos de mobilidade urbana sustentável e acessibilidade.

A mobilidade urbana sustentável pode ser definida como o resultado de um conjunto de políticas de transporte e circulação que visam proporcionar o acesso amplo e democrático ao espaço urbano, através da priorização dos modos não-motorizados e coletivos de transportes, de forma efetiva, socialmente inclusiva e ecologicamente sustentável, baseado nas pessoas e não nos veículos (BOARETO, 2003, p. 49).

A acessibilidade pode ser denominada como a mobilidade para satisfazer as necessidades, ou seja, as condições para alcançar o destino desejado e não simplesmente a facilidade de cruzar espaços (MEIRA, 2013, p. 74).

Para o desenvolvimento e implementação do conceito de mobilidade urbana sustentável é necessário levar em consideração as intervenções no espaço já construído e a adoção dos princípios desse conceito nas áreas de expansão urbana (BOARETO, 2003). Contudo, o crescimento da população nas cidades aliado à dispersão das atividades contribuiu para que ocorresse uma maior necessidade e complexidade dos deslocamentos da população. O padrão disperso do uso do solo, gera reflexos negativos sobre a mobilidade urbana, uma vez que leva a um acréscimo de demanda por viagens motorizadas em modos privados.

Banister e Lichfield (1995) corroboram com a ideia ao afirmarem que a separação entre as áreas residenciais e locais de trabalho é um fator incentivador para o uso de veículos particulares. Assim, à medida que as cidades se espalharam, o transporte público local, a bicicleta e a caminhada tornaram-se menos atraentes, o que, por sua vez, resultou no maior uso do carro. A dependência de carros e o aumento da descentralização das cidades são processos difíceis de reverter (BANISTER, 2008).

O aumento dos tempos de viagem, provocado em grande parte pelos congestionamentos, faz com que o transporte público fique cada vez mais lento e ineficiente. Em consequência, os indivíduos procuram outros meios de transporte possíveis e, na maioria das vezes, a escolha é o automóvel particular ou a motocicleta, cuja aquisição, no Brasil, foi incentivada pela redução de Imposto sobre os Produtos Industrializados (IPI). Ocorre, com isso, uma degradação geral nas condições de mobilidade.

A insustentabilidade do atual modelo de mobilidade urbana pode ser constatada e avaliada através de: 1) índices crescentes de motorização individual; 2) declínio do uso do transporte público; 3) altos custos sociais dos congestionamentos, da poluição atmosférica e dos acidentes no trânsito; e 4) baixa integração modal e territorial (BRASIL, 2005). Portanto, resolver o problema é uma questão de conforto, bem-estar e um importante incentivo ao desenvolvimento socioeconômico.

Para reverter esse cenário, os governos locais tentam superar o desafio de conceber um ambiente urbano que assegure uma melhor qualidade de vida para população através de medidas políticas. Segundo Banister (2008), tais medidas estão disponíveis para melhorar a sustentabilidade urbana em termos de transporte. Contudo, os principais desafios estão relacionados com as condições necessárias para mudar o atual modelo de mobilidade. Estas condições dependem da implantação de projetos de alta qualidade e da necessidade de obter aceitação e confiança pública para apoiar essas estratégias através de um envolvimento ativo e de ações.

Assim, no atual cenário em que as cidades brasileiras se desenvolvem, o emprego de infraestrutura direcionada para a melhoria do transporte público, o incentivo aos pedestres e ao uso da bicicleta como meio de transporte desempenham papel importante para o desenvolvimento sustentável e para humanização do trânsito. Várias cidades europeias, por

exemplo, estimulam o uso dos transportes públicos, da bicicleta, a partilha de veículos e medidas restritivas ao uso do automóvel individual nos seus centros. Dentre elas, destacam-se Amsterdã, Barcelona, Bremen, Copenhagen, Edimburgo, Graz e Estrasburgo. Tais cidades não prejudicaram o seu crescimento econômico ou a acessibilidade do seu centro comercial e compreenderam que o uso exagerado do automóvel nos deslocamentos individuais não garante a mobilidade da maioria dos cidadãos (COMISSÃO EUROPEIA, 2000).

Nesse contexto, Abreu *et al.* (2015) destacam que o transporte coletivo exerce papel fundamental na execução dos deslocamentos urbanos, uma vez que promove a ligação entre as diversas regiões das cidades. Se for bem executado, traz benefícios como a redução de congestionamentos e acidentes de trânsito, bem como melhorias ao meio ambiente.

Definir a alternativa de transporte mais adequada a ser implantada em uma área requer um estudo das características de cada tipo de transporte público, das condições urbanas e do sistema viário onde ela será inserida deve ser realizado. O grau de dificuldade de escolha está associado a questões como: 1) custo; 2) consumo energético; 3) capacidade ofertada; 4) flexibilidade; 5) produtividade; 6) velocidade; 7) regularidade; 8) segurança; 9) potencial de penetração em áreas centrais e bairros; 10) facilidade de integração com outras modalidades complementares etc. (ARIAS, 2001). Para auxiliar nessa definição pode-se fazer uso de métodos de decisão multicritério.

A decisão sobre qual alternativa de transporte público deve ser priorizada varia conforme avaliações que levam em consideração mais de um critério, visando atender um ou mais objetivos. Trata-se, portanto, de avaliar simultaneamente critérios (impacto ambiental, população diretamente atingida, ampliação da acessibilidade e mobilidade, redução dos custos de transportes etc.) para um conjunto de investimentos em transportes. Como esses critérios visam atender objetivos, que dependem de informações e formulações adequadas, o uso de procedimentos multicritérios aparece como uma opção vantajosa devido a sua “capacidade de adequação às questões específicas das tomadas de decisões sobre investimentos governamentais em infraestrutura de transportes” (QUADROS, 2014). Os métodos desse grupo consideram, além das dimensões tradicionais relacionadas à viabilidade econômica desses tipos de empreendimentos, outras envolvidas com o setor de transportes, que podem resultar em uma otimização dos recursos públicos. Tal otimização diz respeito ao contexto econômico, social e as questões ambientais e a redução das desigualdades regionais.

## 1.1 Importância e Justificativa do tema

O interesse de estudo do tema parte da importância em ter instrumentos de análise e seleção de alternativas de transporte público, que busquem melhor serviço para os passageiros, atrair usuários dos automóveis e que permitam destinar melhor os investimentos em transporte de massa.

Segundo dados apresentados no relatório “Sistema de Informações da Mobilidade Urbana”, da Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP), embora seja responsável por apenas 30% das viagens realizadas nas maiores cidades do país, o transporte individual privado (carros e motos) recebe três vezes mais recursos públicos do que o transporte coletivo (ANTP, 2012). Esses dados apontam que o transporte público via de regra não é prioridade no Brasil. Para exemplificar, de acordo com o Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN, 2017), o Brasil alcançou uma frota veicular de aproximadamente 96,3 milhões em 2017.

Já o Recife - local de estudo de caso deste trabalho - possui uma frota de mais de 660 mil veículos registrados no município (DENATRAN, 2017). Além disso, a situação ainda é agravada pela entrada de 4 mil veículos novos por mês. Os principais corredores, vias arteriais e coletoras de tráfego têm uma demanda média de 60 mil veículos/dia, nos horários de pico (CTTU, 2011). Esses números revelam o motivo da constante saturação das vias e a pressão no sistema viário.

Uma pesquisa realizada no ano de 2014 aponta que a cidade do Recife possui os piores níveis de congestionamento do país com lentidão em 60% de suas vias nos horários de pico (ESTADO DE SÃO PAULO, 2014). Já uma pesquisa do site Numbeo aponta as dez cidades do mundo onde as pessoas perdem em média mais tempo no trânsito: 1) Mumbai, Índia – 70,20 minutos; 2) Nairóbi, Quênia – 65,20 minutos; 3) Teerã, Irã – 61 minutos; 4) Pune, Índia – 60,86 minutos; 5) Cairo, Egito – 60,31 minutos; 6) Miami, Estados Unidos – 59,11 minutos; 7) Kolkata, Índia – 58 minutos; 8) Dhaka, Bangladesh – 57,67 minutos; 9) Istambul, Turquia – 55,66 minutos; e 10) Recife, Brasil – 55,60 minutos. Por dia, os moradores da capital pernambucana gastam em média quase duas horas (uma para ir e outra para voltar) presos em congestionamentos (VEJA, 2014).

Em termos ambientais, o setor de transporte gera alguns efeitos secundários indesejáveis, as chamadas externalidades negativas, em especial nas zonas urbanas e no meio ambiente (MOTTA, 2009). No geral, esses aspectos estão relacionados com impactos visuais, poluição atmosférica local e regional, poluição sonora, desmatamento de áreas verdes, transferência de grandes quantidades de terra, alteração na forma de escoamento das águas etc. Segundo Silva (2014), o setor de transporte é responsável por aproximadamente 23% das emissões globais de CO<sub>2</sub>; já no Brasil, esse valor reduz para 9%, uma vez que o desmatamento e a mudança no uso do solo equivalem a cerca de 70% das emissões totais desse gás.

Se apenas o transporte rodoviário brasileiro for levado em consideração, os sistemas de ônibus são responsáveis por 7% das emissões totais de CO<sub>2</sub>. Contudo, é importante salientar que esses sistemas respondem por mais de 60% dos deslocamentos urbanos e mais de 95% dos deslocamentos intermunicipais. Os automóveis, por sua vez, contribuem com cerca de 3,5% dessas emissões, porém apresentam menos de 30% na participação total de viagens realizadas. O cálculo das emissões de gases poluentes deve ser efetivado a partir das emissões relativas, ou seja, da quantidade de poluentes emitida por passageiro (ou tonelada de carga) transportado por quilômetro. Assim, quando se considera o número médio de passageiros no veículo, as emissões dos automóveis superam as do coletivo (CARVALHO, 2011). Esses dados mostram que as políticas ambientais devem estar voltadas para medidas que fomentem a redução do transporte individual privado pelo coletivo.

Dada a dificuldade em definir qual o tipo de transporte público é o ideal para ser estabelecido em certa área e em destinar recursos para a sua implantação, este estudo busca um procedimento de melhorias de tomada de decisão em investimentos no transporte público. Também visa mostrar a importância de um sistema de transporte eficiente e sustentável a fim de reduzir os custos e tempos de viagem, bem como melhorar a qualidade de vida da maior parte população, priorizando o transporte público e não o privado. Para isso, o corredor da Avenida Norte Miguel Arraes de Alencar, popularmente conhecida como Avenida Norte, foi selecionado como objeto de estudo.

A escolha da Avenida Norte Miguel Arraes de Alencar se deu devido ao fato de ser uma das principais artérias da Região Metropolitana do Recife (RMR), de apresentar um fluxo elevado de passageiros e veículos e de não oferecer priorização ao transporte público. Além disso, é uma via com limiar capacidade de operação e não uniforme na entrada e saída, em uma

extremidade tem a BR-101 e na outra o Porto do Recife. Ainda em termos de problema, é um corredor denso com uso do solo diversificado, o que configura uma certa dificuldade de desapropriação. E por fim, a diferença de renda dos moradores é elevada.

É considerada um importante eixo de circulação da cidade, tanto de pessoas como de mercadorias com 58 linhas de ônibus circulando pela avenida por dia útil, o que gera cerca de 5.605 viagens. Em 2013, aproximadamente 53.000 veículos circulavam no corredor diariamente (GRANDE RECIFE, 2017a).

O fluxo elevado de passageiros e veículos associado a falta de incentivo ao pedestre e ao ciclista e a baixa qualidade do transporte público tem levado a insustentabilidade do atual modelo de mobilidade urbana da Avenida Norte: índices elevados de motorização individual, declínio do uso do transporte público bem como, altos custos sociais dos congestionamentos, da poluição atmosférica e dos acidentes no trânsito.

É importante destacar que situação semelhante ocorre em outras vias arteriais da RMR e outras cidades brasileiras. Esse padrão de mobilidade implica na necessidade da evolução do transporte coletivo para atender não só a demanda atual, mas também a uma demanda futura da avenida de forma efetiva. Deste modo, o trabalho pesquisa uma nova configuração para a mobilidade da Avenida Norte Miguel Arraes de Alencar, através do estudo do modo de transporte público de passageiros mais adequado para operar na via.

## **1.2 Objetivos**

O objetivo geral desta dissertação é auxiliar na tomada de decisão em investimentos de infraestrutura para o transporte público.

Para alcançar o objetivo geral, estão propostas as seguintes ações como objetivos específicos:

- Analisar alternativas propostas na literatura nacional e internacional sobre formas de reduzir o uso do transporte motorizado individual, bem como estimular a cultura do uso do transporte coletivo e não motorizado;

- Apontar critérios que geralmente são utilizados para definir a opção mais adequada de transporte público para uma cidade, bairro e/ou corredor;
- Contribuir com o debate ao alertar que os transportes públicos devem ser tratados como forma prioritária de atendimento das necessidades de deslocamento da população; e
- Propor, com base nos conceitos de acessibilidade e mobilidade urbana sustentável, outras intervenções que podem ser realizadas para melhorar a fluidez das pessoas (e não dos automóveis) na via estudada.

### **1.3 Limitações**

O estudo se restringe apenas à Avenida Norte Miguel Arraes de Alencar, na cidade do Recife – PE. Além disso, os critérios e alternativas escolhidos são limitados devido a uma indicação do método adotado, que recomenda um máximo de nove variáveis para evitar inconsistência superior a 10%.

Outra limitação diz respeito aos entrevistados, que necessariamente tinham que ter conhecimento sobre a Avenida Norte e sobre as características das alternativas de transporte público propostas nesse estudo, o que implica em um número reduzido da amostra.

### **1.4 Estrutura da dissertação**

Essa dissertação está estruturada em oito capítulos. Após esta introdução, o capítulo 2 apresentará uma discussão voltada para o planejamento dos transportes, uma vez que é através desse processo que se avalia as alternativas de investimento no sistema de transporte público e na malha viária, de forma a atender satisfatoriamente as demandas atuais e futuras. Esse capítulo ainda engloba os critérios que são avaliados para implantação de uma opção de transporte público em uma cidade, bairro e/ou corredor.

O capítulo 3, por sua vez, focará nas alternativas de priorização ao transporte público. Para este estudo as alternativas selecionadas foram: BRT, VLT, monotrilho, metrô e faixa exclusiva para ônibus. Será realizada uma análise quanto as características de cada tecnologia (infraestrutura viária, estações, veículos, capacidade e sistema de informações), os custos e prazos de implantação, bem como os impactos gerados.

Em seguida, no Capítulo 4, serão apontados os métodos de análise multicritérios existentes. O capítulo tem por objetivo informar o método será utilizado nesta dissertação e a justificativa da escolha.

A caracterização da Avenida Norte Miguel Arraes de Alencar – extensão, bairros, fluxo diários de veículos, quantidade de passageiros e aspectos relacionados com a estrutura física da via será apresentada no Capítulo 5. Além disso, será possível entender como se deu a ocupação nos entornos do corredor para será útil para entender o atual o uso do solo daquela área.

O Capítulo 6 mostrará a metodologia de pesquisa proposta para esta dissertação, que será realizada através de pesquisas na literatura nacional e internacional e aplicação de questionários com técnicos da área de transportes. Na sequência, o Capítulo 7 traz os resultados obtidos com os questionários e a análise desses dados.

Por fim, o Capítulo 8 apresentará as considerações finais e recomendações para trabalhos futuros, com a seleção da alternativa de transporte público mais adequada para a Avenida Norte, bem como propor, com base nos conceitos de acessibilidade e mobilidade urbana sustentável, outras intervenções que podem ser realizadas para melhorar a fluidez das pessoas (e não dos automóveis) na via estudada.

## 2 FATORES CARACTERIZADORES DA QUALIDADE DO TRANSPORTE PÚBLICO

Os transportes públicos têm um papel importante no desenvolvimento das cidades e nas diretrizes de crescimento urbano, e apresentam, portanto, relevância social e econômica. Ferraz e Torres (2004) entendem que o transporte público: 1) democratiza a mobilidade, uma vez que representa o único modo motorizado seguro e cômodo acessível às pessoas de baixa renda, para quem não pode dirigir ou prefere não dirigir; 2) melhora a qualidade de vida da população devido à redução da poluição ambiental, dos congestionamentos, dos acidentes de trânsito e do consumo desordenado de energia; e 3) reduz a necessidade de investimentos em obras viárias caras, o que promove a alocação de recursos em setores de maior relevância social, bem como uma utilização mais racional e humana do solo urbano.

A qualidade dos serviços de transporte público está relacionada com a percepção dos usuários em relação ao serviço ofertado. Cada usuário prioriza um parâmetro de qualidade, que pode variar para um mesmo usuário de acordo com o seu estado emocional ou o objetivo da viagem. Os empresários percebem que um serviço é bom se apresentar boa rentabilidade. Já os órgãos gestores são responsáveis por garantir a satisfação dos usuários, a rentabilidade dos empresários e o equilíbrio dos contratos (SILVA, 2015).

Em relação a expectativa dos usuários, Santos (2004) coloca que caso uma pessoa precise se deslocar para o trabalho ou estudo, algo com horário definido, a frequência, a pontualidade e o tempo de espera são os principais parâmetros de qualidade. Nos finais de semana e horários de menor demanda, a tolerância com a lotação é relativamente menor. Outro exemplo é em cidades de menor porte, cuja cobertura espacial e temporal é um quesito bem reclamado pelos usuários, enquanto o índice de conforto (lotação do veículo) não é fator de prioridade. Já Ferraz e Torres (2004) destacam 12 fatores que influenciam a qualidade de um serviço de transporte público urbano (Tabela 1).

**Tabela 1** - Fatores caracterizadores da qualidade do transporte público

<b>Fatores caracterizadores da qualidade do transporte público</b>	
Acessibilidade	Associada à facilidade de chegar ao local de embarque no transporte coletivo, de sair do local de desembarque e alcançar o destino final.
	No caso do deslocamento a pé, importam a distância percorrida, as condições das calçadas, declividade do percurso, facilidade para cruzar ruas existentes no trajeto, existência de iluminação pública, segurança pessoal do trajeto etc.
Frequência de atendimento	Está relacionada ao intervalo de tempo da passagem dos veículos de transporte público, o que afeta diretamente os tempos de espera nos locais de parada.
Tempo de viagem	Corresponde ao tempo gasto no interior dos veículos e depende da velocidade média de transporte e da distância percorrida entre os locais de embarque e desembarque.
	A velocidade de transporte depende do grau de separação da via de transporte público do tráfego geral, da distância entre os locais de parada, das condições da superfície de rolamento, das condições do trânsito e do tipo de tecnologia dos veículos.
Lotação	Diz respeito à quantidade de passageiros no interior dos veículos.
Confiabilidade	Engloba a pontualidade (grau de cumprimento de horários) e a efetividade na realização da programação operacional (porcentagem de viagens programadas realizadas).
Segurança	Compreende os acidentes envolvendo os veículos de transporte público e os atos de violência no interior dos veículos e nos locais de parada.
Características dos veículos	Estão relacionadas com a comodidade dos usuários e incluem a tecnologia e o estado de conservação dos veículos de transporte.
Características dos locais de parada	Incluem sinalização adequada, estações dimensionadas adequadamente, existência de cobertura e bancos para sentar.
Sistema de informações	Envolve os seguintes aspectos: disponibilidade dos números e nomes das linhas que passam nos locais de parada e seus respectivos horários ou intervalos e itinerários. Além disso, é importante a presença de quiosque nas estações para fornecimento de informações, bem como recebimento de reclamações e sugestões.
Conectividade	Baseado na porcentagem de viagem com necessidade de realizar transbordo, na existência de integração física e tarifária.
Comportamento dos operadores	Compreende as atitudes dos condutores (dirige com habilidade e cuidado, bem como são prestativos e educados) e cobradores (são prestativos e educados).
Estado das vias	Corresponde a qualidade da superfície de rolamento.

Fonte: Ferraz e Torres (2004).

Redman *et al.* (2013) destacam alguns estudos realizados por diferentes autores sobre os parâmetros relacionados com a qualidade de um serviço de transporte público. Dentre eles, destacam-se Eboli e Mazzula (2008), que citam o preço e a frequência como pontos importantes e Hensher *et al.* (2003), que apontam os níveis de preço das tarifas e a velocidade atributos essenciais para os usuários. Contudo Hensher *et al.* (2003) acrescentam que a solução não é reduzir tarifa, uma vez que o grande embate está relacionado a baixa qualidade do serviço prestado e tarifas elevadas. Um problema relacionado com as conclusões da pesquisa de Eboli

e Mazzula (2008) é que a amostra era composta principalmente de estudantes de baixa renda, ou seja, não foi uma amostra representativa da população. Assim como Ferraz e Torres (2004), Redman *et al.* (2013) também definiram os atributos de qualidade do serviço de transporte público (Tabela 2).

**Tabela 2** - Atributos de qualidade do serviço de transporte público

<b>Atributo</b>	<b>Definição</b>
Confiabilidade	Cumprimento da rota conforme o itinerário e horário estabelecido anteriormente
Frequência	Frequência com que o serviço opera durante um determinado período
Velocidade	Tempo de viagem entre pontos específicos
Acessibilidade	Disponibilidade do transporte público para o maior número de pessoas
Preço	Custo monetário de viagem
Provisão de informação	Quantidade de informações fornecidas sobre rotas e conexões
Facilidade de transferência/conexão	Simplicidade durante a conexão, incluindo o tempo de espera
Estado do veículo	Condições físicas e mecânicas dos veículos
Conforto	Nível de conforto da viagem, incluindo os assentos, níveis de ruído, habilidade do condutor, temperatura
Segurança	Acidentes envolvendo os veículos e segurança pessoal
Conveniência	Facilidade para usar o transporte público e quão bem ele contribui para a mobilidade
Estética	Veículos, estações e áreas de espera

Fonte: Redman *et al.* (2013).

Mesmo conhecendo esses parâmetros, analisar a qualidade de um serviço de transporte é algo complexo devido às seguintes características: 1) intangibilidade: é necessário compreender a percepção do consumidor, uma vez que os serviços de transportes não podem ser provados, sentidos, ouvidos ou cheirados antes de serem comprados; 2) perecibilidade: os serviços não podem ser estocados, isto é, aquilo que foi ofertado e não utilizado será perdido; 3) inseparabilidade: os serviços são produzidos e consumidos ao mesmo tempo; e 4) variabilidade: a padronização é algo difícil, pois os serviços dependem de quem executa e de onde são prestados (KOTLER, 2000 *apud* PEREIRA, 2009).

Por isso, antes de decidir qual o modo de transporte que mais se adequa às particularidades do município, o ideal é que determinados critérios sejam levados em consideração nos projetos. De acordo com Hotta (2007), a avaliação de projetos em transportes

envolve vários atores, que discutem aspectos financeiros, ambientais, institucionais, econômicos e tecnológicos.

Nesse contexto, Souza (2015) coloca que para avaliar as sugestões de projetos enviadas, a equipe técnica responsável pelo PDTU/2011 (Plano Diretor de Transportes Urbanos) do Rio de Janeiro estruturou o procedimento de coleta de opinião dos especialistas através de cinco critérios – custo financeiro, evitar sobreposição excessiva de oferta, potencial de demanda, consolidação da rede radial-transversal e impactos sociais, econômicos e ambientais.

O custo financeiro engloba o de implementação, financiado diretamente pelo poder público, e o de operação, em grande parte, arcado pelos usuários por meio do pagamento da tarifa. Assim, os gastos devem ser ponderados de acordo com a vida útil esperada para a infraestrutura. O segundo critério está relacionado com o desequilíbrio financeiro para os operadores quando existem sistemas estruturais que atendem a mesma área de influência populacional. O potencial de demanda compreende a capacidade de passageiros do corredor. Já o quarto critério diz respeito a necessidade de redes radiais e transversais para proporcionar um melhor equilíbrio da rede, bem como favorecer a consolidação de subcentros regionais e conseqüentemente, a descentralização dos empregos. Por fim, os impactos incluem redução do tempo de viagem e dos congestionamentos, incentivo à criação de novos empreendimentos e aquecimento da economia urbana, poluição atmosférica, sonora etc. (ibid).

Hotta (2007) realizou uma pesquisa que tinha como objetivo identificar aspectos importantes para avaliação de novas tecnologias em transporte público. Para isso, agrupou alguns critérios em três aspectos: econômico, ambiental e social. No aspecto econômico, foram selecionados critérios relacionados aos custos para os usuários e gestor do sistema; no ambiental, os critérios refletem o impacto do sistema no ambiente; e no social, os critérios indicam a capacidade da tecnologia em servir ao usuário com qualidade. Os critérios levantados pelo autor estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3** - Aspectos e critérios importantes para avaliação de novas tecnologias em transporte público

Aspectos	Crítérios	Definição
Econômico	Tarifa	Preço cobrado ao usuário
	Subsídio	Valor custeado pelo governo que torna possível a operação do sistema a custos razoáveis para os usuários
	Implantação	Volume de recursos financeiros necessários à implantação do projeto (aquisição da frota, tratamento viário, terminais, pontos de paradas ou estações)
	Operação/Manutenção	Volume de recursos financeiros utilizados anualmente para manter o sistema funcionando dentro dos padrões estabelecidos e possíveis ajustes às novas demandas. Também estão incluídos os custos necessários para manutenção, administração e gerenciamento da empresa operadora
Ambiental	Intrusão visual	Impacto visual causado pela presença do sistema na paisagem urbana
	Estrutura urbana	Adequação de cada alternativa à configuração da cidade e às condições da via
	Consumo de energia	Consumo de energia pelo sistema e sua fonte de origem, bem como se é poluente ou não
	Poluição atmosférica	Qualidade do ar ao longo do corredor e do seu entorno
	Poluição sonora	Variação dos níveis de ruídos nos locais
Social	Acessibilidade	Distância percorrida para iniciar e finalizar a viagem por transporte público e a comodidade experimentada nesses percursos
	Frequência	Intervalo de tempo da passagem dos veículos
	Tempo de viagem	Tempo gasto no interior do veículo
	Lotação	Quantidade de passageiros no interior do veículo
	Confiabilidade	Grau de certeza dos usuários de que o transporte público vai passar na origem e chegar ao destino no horário previsto
	Segurança	Acidentes com os veículos e atos de violência no interior do veículo e locais de parada
	Veículo	Tecnologia e estado de conservação dos veículos
	Parada	Existência de sinalização adequada, coberturas e bancos
	Informação	Informações sobre linhas, horários e itinerários nos locais de parada; informações sobre a rede de linhas no interior do veículo e informações verbais
	Transbordo	Facilidade de deslocamento dos usuários entre dois locais da cidade
	Operador	Comportamento dos motoristas e cobradores
Via	Qualidade da superfície de rolamento	

Fonte: Hotta (2007).

Quadros e Nassi (2014) realizaram um estudo sobre decisões de investimentos em infraestrutura de transporte no Brasil, com base na aplicação do Processo de Hierarquização Analítica (do inglês *Analytic Hierarchy Process* – AHP). Para alcançar o objetivo, foram definidos sete critérios estruturados em quatro grupos, que estão apresentados na Tabela 4.

Especialistas, representantes de setores que contribuem para as decisões sobre transportes no Brasil, fizeram uma comparação par a par dos critérios e atribuíram pesos. De acordo com os especialistas, o critério com maior prioridade trata-se da Redução dos Custos de Transportes (0,211). Em seguida, Ampliação da Viabilidade do Projeto (0,171), Ampliação da Integração Modal (0,160) e Ampliação da Oferta de Transporte Regional (0,134). Nas últimas posições ficaram a Redução das Desigualdades Regionais (0,128), Redução das Emissões de Poluentes Atmosféricos (0,104) e a Redução das Interfaces Ambientais (0,092).

**Tabela 4** - Definição dos critérios analisados por especialistas

<b>Grupos</b>	<b>Crítérios</b>	<b>Descrição</b>
Econômico/Financeiro	Redução dos custos de transportes	Custos incidentes no transporte voltados para o comércio exterior
	Ampliação da viabilidade do projeto	Retorno socioeconômico do projeto de infraestrutura de transportes
Logística/Transportes	Ampliação da integração modal	Novos pontos de intermodalidade no sistema viário nacional (terminais de integração)
	Ampliação da oferta de transportes regional	Aumento da infraestrutura viária na região de inserção do projeto
Social	Redução das desigualdades regionais	Média do índice de desenvolvimento humano das microrregiões onde se insere cada projeto viário
Ambiental	Redução das interfaces ambientais	Grau de inserção territorial do projeto viário nas áreas legalmente demarcadas para proteção ambiental (permanentes ou de uso sustentável)
	Redução das emissões de poluentes atmosféricos	Quantidade emitida de CO <sub>2</sub> na atmosfera

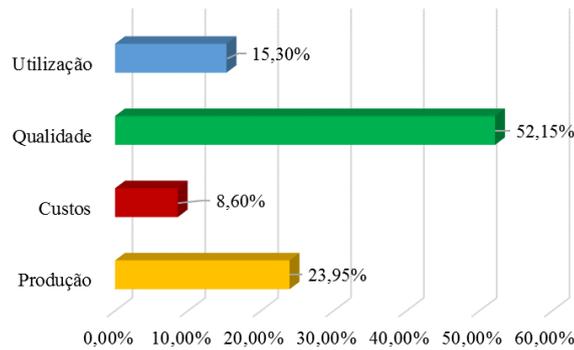
Fonte: Quadros e Nassi (2014).

Oliveira e Rosa (2013) realizaram uma pesquisa que compara o desempenho do BRT (*Bus Rapid Transit*) e VLT (Veículo Leve sobre Trilhos) na operação da linha TransOeste no Rio de Janeiro, através do método AHP. Os critérios de análise estabelecidos foram: qualidade do serviço, produtividade operacional, custo operacional e utilização (Tabela 5). Na sequência dois julgadores analisaram os critérios – usuário e operador (Gráficos 1 e 2, respectivamente). Os autores concluíram que “o sistema que apresenta um desempenho mais adequado para a linha estudada, (...) é o BRT. Apesar de, do ponto de vista do usuário, o VLT ser mais vantajoso, quando é realizado o julgamento global o BRT prevalece”.

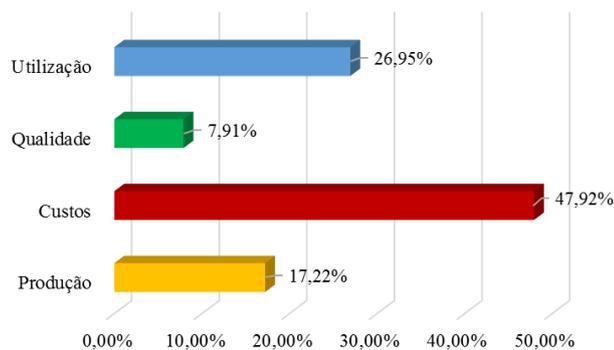
**Tabela 5** - Medidas atribuídas a cada critério

<b>Critério</b>	<b>Atributo</b>	<b>Medida</b>
Produção	Utilização dos veículos	Extensão da linha/frota total
	Eficiência energética	pass/MJ
Custos	Rendimento	pass/custo operacional
Qualidade	Conforto	n° pass/viagem/n° lugares ofertados
		Taxa de aceleração
		Nível de ruído
	Rapidez	Velocidade média
	Conveniência	Headway (min)
n° viagens/dia		
Segurança	Percepção de segurança	
Utilização	Serviço prestado	pass/viagens
		pass/dia/frota
		pass/dia/(lugar ofertado/veículo)
	Custo	Receita operacional/custo operacional
		Custo operacional/pass
Receita operacional/pass		

Fonte: Oliveira e Rosa (2013).

**Gráfico 1** - Resultados da importância dos critérios para o Usuário

Fonte: Oliveira e Rosa (2013)

**Gráfico 2** - Resultados da importância dos critérios para o Operador

Fonte: Oliveira e Rosa (2013)

Silva e Cavalcanti Netto (2010) propuseram um procedimento para a formulação e escolha de projetos estratégicos voltados para infraestrutura de transporte do Brasil. Três métodos de análise multicritério (Delphi, TOPSIS e AHP) foram aplicados na definição e

escolha de projetos “que contribuam para a implantação da infraestrutura de transporte necessária à criação e expansão de condições para o atendimento às demandas sociais e aos requisitos de conservação ou de mitigação dos fatores agressivos ao meio ambiente” (SILVA e CAVALCANTI NETTO, 2010 p.1). Os critérios utilizados na análise estão apresentados Tabela 6. Posteriormente, 25 projetos de infraestrutura, envolvendo rodovias, ferrovias e hidrovias foram escolhidos e ranqueados com base nos critérios levantados.

**Tabela 6 - Critérios e sua interpretação**

<b>Critérios</b>	<b>Interpretação</b>
Conexão intermodal	Grau de contribuição para o desenvolvimento da multimodalidade
Geração de empregos	Medida da influência para criação de empregos diretos e indiretos nas regiões afetadas
Bem-estar social	Alcance de benefícios sociais, por exemplo, em educação, saúde, segurança e mobilidade
Impacto ambiental	Interferências no meio ambiente, tanto as negativas como as positivas
Recuperação de passivos ambientais	Ganhos de qualidade ambiental, em outros locais, decorrente da execução do projeto
Custos e benefícios	Nível de dispêndio de recursos para execução <i>versus</i> possíveis benefícios associados
Prazo de execução	Tempo decorrido entre a necessidade e o pleno uso dos benefícios obtidos

Fonte: Silva e Cavalcanti Netto (2010).

Abreu *et al.* (2015) realizaram um levantamento de uma série de atributos que são utilizados como instrumentos de avaliação da qualidade do transporte coletivo urbano realizado por ônibus. A pesquisa teve por objetivo avaliar a qualidade do transporte realizado por ônibus e vans, segundo a percepção dos usuários. Os atributos analisados estão destacados na Tabela 7. Segundo os passageiros entrevistados, o critério segurança foi o que recebeu maior peso (0,28) e o atendimento o de menor prioridade (0,16). Os critérios tempo e veículo receberam 0,19 e o preço 0,17.

**Tabela 7 - Critérios e subcritérios utilizados na pesquisa**

<b>Critério</b>	<b>Subcritérios</b>
Segurança	Acidentes envolvendo veículos; modo de dirigir do motorista; motorista respeita as leis de trânsito; ato de violência dentro dos veículos
Tempo	Tempo de espera; rotas; regularidade do serviço (cumprimento do horário); horário disponibilizado
Atendimento	Motorista espera completar o embarque e o desembarque; respeito do motorista e cobrador; cortesia do motorista e do cobrador
Veículo	Lotação (taxa de ocupação no interior do veículo); conforto dos assentos; temperatura; estado de conservação e limpeza
Preço	Compatibilidade do nível oferecido do veículo com o valor cobrado; compatibilidade do nível oferecido da distância com o valor cobrado

Fonte: Abreu *et al.* (2015).

Duarte e Souza (2005) analisaram o nível de qualidade alcançado por algumas empresas de transporte público por ônibus que operam em Campos dos Goytacazes – RJ, baseados na opinião dos usuários. Para tal, levaram em consideração critérios como: 1) rotas do ônibus; 2)

tempo de espera; 3) número de ônibus por rota; 4) limpeza; 5) condições dos ônibus; 6) conforto; 7) segurança; 8) poluição sonora e do ar; 9) tarifa; 10) horário; 11) boas maneiras dos funcionários; e 12) tempo médio de viagem.

Arias (2001) propôs uma metodologia de apoio a tomada de decisão para a seleção de alternativas tecnológicas para o transporte coletivo urbano com base na teoria de múltiplos critérios. Um estudo de caso foi realizado no corredor de tráfego Rampa - La Palma, na cidade de Havana (Cuba). Para o estudo de caso, a pesquisa foi aplicada a dez técnicos de diversas áreas de atuação tais como, universidades, órgãos gestores, consultorias de transportes e centros de pesquisa de Cuba. Foi dada a seguinte ordem de importância aos nove critérios levados em consideração: 1) minimização dos custos de implantação – 15,8%; 2) minimização dos custos de operação e manutenção – 13,3%; 3) minimização do tempo de viagem – 13,0%; 4) melhor adequação a estrutura urbana, ou seja, adequação a configuração da cidade e as condições da via – 11,5%; 5) minimização da tarifa – 11,5%; 6) maximização da segurança dos usuários – 11,2%; 7) maximização da confiabilidade – 9,7%; 8) minimização da emissão de poluentes atmosféricos – 8,3%; e 9) minimização dos efeitos visuais (intrusão visual) – 5,8%.

Segundo a autora, o objetivo era selecionar a melhor alternativa tecnológica de transporte a ser implantada em um determinado corredor de transporte, analisando os principais aspectos (critérios) que envolvem a decisão. Ônibus articulado, trólebus e VLT foram as três alternativas escolhidas. Como resultado final, a melhor opção de transporte público para o corredor estudado foi o ônibus articulado (38,0%), uma vez que o critério menor custo de implantação apresentou maior peso (importância). O trólebus obteve a segunda posição (33,0%) e o VLT foi a tecnologia que demonstrou menor desempenho (29,0%).

Borges Júnior e Fonseca (2002) realizaram uma pesquisa que visava mensurar o nível de satisfação dos usuários do transporte coletivo de Porto Alegre. A etapa qualitativa da pesquisa buscou identificar os atributos importantes a serem avaliados na ótica dos usuários. As entrevistas envolveram passageiros de todas as empresas prestadoras do transporte coletivo de Porto Alegre. O primeiro passo da etapa quantitativa foi a elaboração de um instrumento de coleta a partir dos indicadores (Tabela 8) identificados nas entrevistas com base na escala de Likert – Totalmente Insatisfeito (1) e Totalmente Satisfeito (5). Os grupos com maiores níveis de satisfação foram qualidade do pessoal (72,8%) e identificação/acesso às paradas (70,0%).

Os piores resultados incluem condições das paradas (45,2%) e adequação para deficientes (36,2%).

**Tabela 8** - Níveis de satisfação por grupos de indicadores

<b>Grupos</b>	<b>Indicadores</b>
Trajetos e horários (66,4%)	Cobertura/abrangência das linhas/trajetos de ônibus na cidade
	Adequação das linhas/trajetos de ônibus
	Rapidez
	Número de paradas por linha/trajeto
	Cumprimento/respeito aos horários e itinerários
	Espaçamento entre os horários
	Número de linhas
	Número de ônibus por linha
Qualidade do pessoal (72,8%)	Educação/tratamento dos motoristas e cobradores
	Competência dos motoristas e cobradores
	Respeito às leis de trânsito
Informações (60,4%)	Disponibilidade de informações quanto aos horários e linhas
	Facilidade de acesso às informações
Conforto (49,8%)	Conforto dos assentos
	Climatização/temperatura interna
	Nível de ruído interno
	Cheiros/odores
	Limpeza interna
Identificação/acesso às paradas (70,0%)	Facilidade de identificação do ônibus na parada
	Facilidade no reconhecimento das paradas
	Facilidade para solicitar parada
Condições das paradas (45,2%)	Iluminação, cobertura e segurança nas paradas
Condições internas (54,8%)	Segurança interna
	Estado de conservação do veículo
	Capacidade de lotação
	Espaçamento entre os bancos
	Facilidade de apoio para os passageiros em pé
Adequação para deficientes (36,2%)	Facilidade de acesso para deficientes
	Adequação interna para deficientes
Fiscalização (68,4%)	Competência e educação do fiscal
	Fiscalização quanto aos horários
Pagamento (62,6%)	Preço
	Tipo/forma de pagamento

Fonte: Borges Júnior e Fonseca (2002).

A pesquisa de Rodrigues (2008) analisou o transporte coletivo urbano por ônibus com base em indicadores de qualidade do serviço ofertado pelas empresas operadoras na cidade de

Uberlândia. Baseado na opinião dos usuários, o nível de serviço ofertado foi determinado. Os indicadores foram avaliados com base em três níveis de satisfação – satisfação plena, satisfação média e insatisfação. Cada indicador foi apresentado conforme os seguintes padrões:

- Acessibilidade: distância, em metros, percorrida fora do ônibus;
- Frequência de atendimento: tempo de espera entre ônibus da mesma linha (em minutos);
- Tempo de viagem: tempo de duração da viagem de ônibus;
- Lotação: os veículos estão lotados;
- Confiabilidade: os veículos cumprem os horários;
- Segurança: acidentes e assaltos envolvendo os veículos;
- Características dos veículos: estado de conservação conforto e limpeza;
- Características dos locais de parada: sinalização, cobertura e assentos nos pontos de ônibus;
- Sistema de informação: informações sobre linhas e horários nos pontos de ônibus;
- Conectividade: facilidade de transbordo;
- Comportamento dos operadores: os motoristas e cobradores são prestativos e educados; e,
- Estados das vias: as vias por onde trafegam os veículos estão em boas condições

Posteriormente, foi realizado o seguinte questionamento aos usuários: “Dentre os indicadores anteriores, qual o(a) senhor(a) considera mais importante para que o serviço de transporte coletivo por ônibus seja bom?” Observou-se que os indicadores lotação, confiabilidade, estado das vias, segurança, frequência de atendimento, características dos veículos e dos locais de parada são os mais importantes para os usuários.

A tabela a seguir expõe de forma resumida, as pesquisas aqui apresentadas. Tais pesquisas necessitaram de um levantamento sobre os critérios e possíveis alternativas a serem adotadas. Com base na Tabela 9, os critérios foram selecionados e agrupados, a saber: espaço para implantação, custo e prazo de implantação, custo de operação e manutenção, intrusão visual e poluição, capacidade, rapidez e conforto. Seguindo essa linha, para compor o questionário deste estudo é necessário analisar os atributos referentes as alternativas de priorização do transporte público. Assim, a seção seguinte descreve as alternativas com base nas suas características (infraestrutura viária, estações, veículos, capacidade), custo, financiamento e prazo, impactos ambientais e visuais, bem como necessidade de desapropriação.

Tabela 9 - Parâmetros relacionados ao transporte público

Estudo (autores)	Objetivo	Parâmetros
Ferraz e Torres (2004)	Destacar fatores que influenciam a qualidade de um serviço de transporte público.	Acessibilidade, Frequência de atendimento, Tempo de viagem, Lotação, Confiabilidade, Segurança, Características dos veículos, Características dos locais de parada, Sistema de informações, Conectividade, Comportamento dos operadores, Estado das vias.
Redman <i>et al.</i> (2013)	Definir os atributos de qualidade do serviço de transporte público.	Confiabilidade, Frequência, Velocidade, Acessibilidade, Preço, Provisão de informação, Facilidade de transferência/conexão, Estado do veículo, Conforto, Segurança, Conveniência, Estética.
Souza (2015)	Compreender como os anseios de uma coletividade impactam na decisão final dos <i>stakeholders</i> , baseado numa adaptação do AHP.	Impactos sociais, ambientais e econômicos, potencial de demanda, consolidação de um sistema de rede, evitar sobreposição excessiva de oferta, custo financeiro.
Hotta (2007)	Identificar aspectos importantes para a avaliação de novas tecnologias em transporte público.	Econômico (Tarifa, Subsídio, Implantação, Operação/Manutenção), Ambiental (Intrusão visual, Estrutura urbana, Consumo de energia, Poluição atmosférica, Poluição sonora), Social (Acessibilidade, Frequência, Tempo de viagem, Lotação, Confiabilidade, Segurança, Veículo, Parada, Informação, Transbordo, Operador, Via.
Quadros e Nassi (2014)	Hierarquizar investimentos governamentais em infraestrutura de transportes.	Redução dos Custos de Transportes, Ampliação da Viabilidade do Projeto, Ampliação da Integração Modal, Ampliação da Oferta de Transporte Regional, Redução das Desigualdades Regionais, Redução das Emissões de Poluentes Atmosféricos, Redução das Interfaces Ambientais.
Oliveira e Rosa (2013)	Comparar o desempenho do BRT e VLT na operação da linha TransOeste no Rio de Janeiro.	Produção (Utilização dos veículos, Eficiência energética), Custo (Rendimento), Qualidade (Conforto, Rapidez, Conveniência, Segurança), Utilização (Serviço prestado, Custo).
Silva e Cavalcanti Netto (2010)	Formular escolha de projetos estratégicos voltados para infraestrutura de transporte do Brasil.	Conexão intermodal, Geração de empregos, Bem-estar social, Impacto ambiental, Recuperação de passivos ambientais, Custos e benefícios, Prazo de execução.
Abreu <i>et al.</i> (2015)	Avaliar a qualidade do transporte realizado por ônibus e vans, segundo a percepção dos usuários.	Segurança, Tempo, Atendimento, Veículo, Preço.
Duarte e Souza (2005)	Analisar o nível de qualidade alcançado por algumas empresas de transporte público por ônibus que operam em Campos dos Goytacazes – Rio de Janeiro.	Rotas do ônibus, Tempo de espera, Número de ônibus por rota, Limpeza, Condições dos ônibus, Conforto, Segurança, Poluição sonora e do ar, Tarifa, Horário, Boas maneiras dos funcionários, Tempo médio de viagem.
Arias (2001)	Seleção de alternativas tecnológicas para o transporte coletivo urbano com base na teoria de múltiplos critérios.	Minimização dos custos de implantação, Minimização dos custos de operação e manutenção, Minimização do tempo de viagem, Melhor adequação a estrutura urbana, ou seja, adequação a configuração da cidade e as condições da via, Minimização da tarifa, Maximização da segurança dos usuários, Maximização da confiabilidade, Minimização da emissão de poluentes atmosféricos, Minimização dos efeitos visuais (intrusão visual).
Borges Jr. e Fonseca (2002)	Mensurar o nível de satisfação dos usuários do transporte coletivo de Porto Alegre.	Trajetos e horários Qualidade do pessoal, Informações, Conforto, Identificação/acesso às paradas, Condições das paradas, Condições internas, Adequação para deficientes, Fiscalização, Pagamento.
Rodrigues (2008)	Analisar o transporte coletivo urbano por ônibus com base em indicadores de qualidade do serviço ofertado pelas empresas operadoras na cidade de Uberlândia.	Acessibilidade, Frequência de atendimento, Tempo de viagem, Lotação, Confiabilidade, Segurança, Características dos veículos, Características dos locais de parada, Sistema de informações, Conectividade, Comportamento dos operadores, Estado das vias.

### 3 ALTERNATIVAS DE PRIORIZAÇÃO AO TRANSPORTE PÚBLICO

Esta seção descreve os atributos das alternativas de priorização ao transporte público - *Bus Rapid Transit* (BRT), Veículo Leve sobre Trilho (VLT), Monotrilho, Metrô e Ônibus comum em faixa exclusiva.

#### 3.1 *Bus Rapid Transit* (BRT)

Esta seção expõe a definição, as características (infraestrutura viária, estações, veículos, capacidade, sistemas de informação), o custo, financiamento e prazo, bem como os impactos ambientais e visuais.

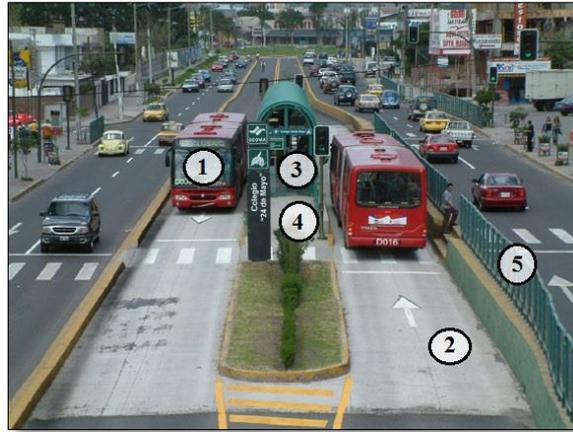
##### 3.1.1 Definição e caracterização

Segundo o Manual de BRT, o *Bus Rapid Transit* (BRT) é um sistema de transporte de ônibus que proporciona “mobilidade urbana rápida, confortável e com custo eficiente através da provisão de infraestrutura segregada com prioridade de passagem, operação rápida e frequente e excelência em *marketing* e serviço ao usuário” (BRASIL, 2008, p. 1). É um transporte rápido de massa que visa aliar a flexibilidade de um serviço de ônibus municipal normal à qualidade do transporte ferroviário (FTA, 2004; LEVISON *et al.*, 2003; WRIGHT; HOOK, 2007; IDTP, 2014; ANTP, 2015; Levison *et al.*, 2003).

Para atender o componente “rápido”, conforme o nome *Bus Rapid Transit*, esse transporte público precisa apresentar aos usuários menor tempo de espera, bem como maior rapidez nos deslocamentos. Isto pode ser obtido através de um serviço frequente e regular, com velocidades operacionais satisfatórias e veículos de alta capacidade. Assim, o sistema BRT deve possuir características que proporcionem um nível de qualidade mais elevado, se comparado aos ônibus convencionais.

A Figura 1 representa esquematicamente o sistema de operação de um BRT em Quito, no Equador. Os números equivalem, respectivamente: 1) ônibus articulado; 2) faixas exclusivas de ônibus; 3) sistema de bilhetagem pré-pago; 4) plataforma de embarque ao nível do ônibus; e 5) segregação entre a faixa exclusiva para o BRT e o tráfego misto.

**Figura 1** - Esquema tradicional de operação de um BRT



Fonte: Adaptado de Cunha (2011).

O espaço viário dedicado ao BRT é um dos principais atributos desse sistema e deve permitir o rápido deslocamento dos veículos, com a menor interferência possível do restante do fluxo da superfície viária. Para isso, deve possuir faixas exclusivas simples ou duplas, bem como pode haver uma faixa adicional para ultrapassagem nas estações (NTU, 2010). As faixas exclusivas de BRT podem ser distinguidas do tráfego misto através de demarcação ou pavimentos pintados, bem como por meio de separação física como muros, grades metálicas ou outros elementos estruturais, que inibem a entrada de veículos indesejados. O ideal é que as barreiras físicas sejam instaladas de forma que permita os veículos deixarem o corredor quando for necessário.

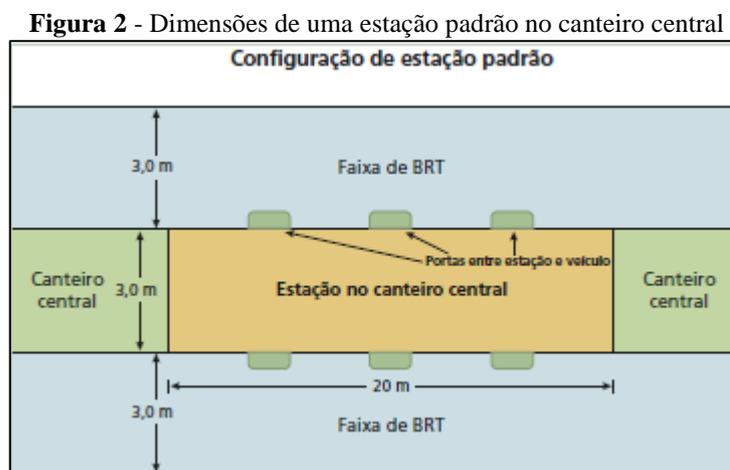
As condições do pavimento também influenciam na velocidade dos veículos, bem como no conforto do usuário e na imagem do sistema. Os pavimentos precisam ser dimensionados de forma que suportem o efeito dinâmico dos veículos ao decorrer do tempo e tais condições devem ser mantidas para elevar a atratividade do sistema (NTU, 2010). O Manual do BRT (Brasil, 2008) destaca que uma faixa padrão de BRT requer, aproximadamente, 3,5 metros de largura, havendo áreas, como no centro histórico de Quito, onde a faixa de BRT apresenta apenas 3,0 metros.

Para que um projeto de sistema BRT esteja em harmonia é necessário que as estações apresentem atributos que tornem o sistema eficiente e satisfaça as necessidades dos usuários. Assim, as estações devem proporcionar aos passageiros conforto e comodidades como proteção contra intempéries, circulação segura de pedestres nas travessias de vias urbanas, no acesso e no deslocamento entre estações e terminais (FTA, 2004; NTU, 2010). Além disso, devem ser

de fácil acesso a todos os usuários, de forma que as pessoas, independente das suas características físicas e sensoriais, ingressem no sistema de maneira autônoma e segura (WRIGHT; HOOK, 2007). A plataforma em nível reduz os tempos de parada devido ao ingresso mais rápido nos veículos.

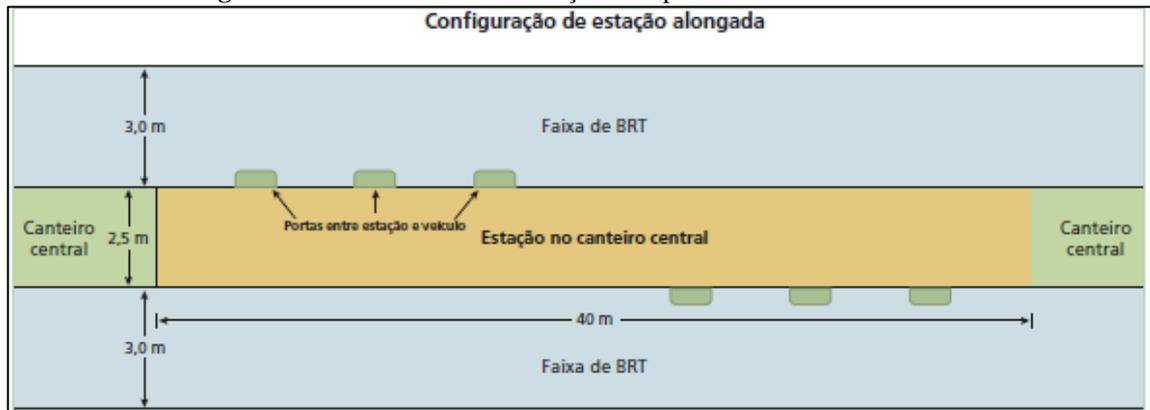
Quanto mais afastadas entre si estiverem as estações, maior será a velocidade e capacidade atingidas, assim como menor será o tempo total de viagem, uma vez que a quantidade de aceleração e frenagem dos veículos reduzirão. Entretanto, se estiverem muito afastadas, o tempo nas estações será superior devido ao maior volume de entrada/saída de passageiros. Além disso, a distância que os usuários terão que percorrer até à estação aumenta e torna-se desagradável. Para evitar tais problemas, no geral, o espaçamento entre as estações é cerca de 500 metros (BRANCO, 2013; NTU, 2010). E ainda devem estar próximas a terminais integrados e áreas comerciais e de serviços, assim como apresentar integração com outros sistemas alimentadores de transportes, motorizados ou não.

Segundo o Manual de BRT (Brasil, 2008), a área das estações, muitas vezes, torna-se um ponto crítico em termos de largura, pois acomoda o espaço para as faixas e para as estações em si. Quando há uma estação no canteiro central, ela atende aos dois sentidos do tráfego (Figuras 2 e 3). Neste caso, a estação pode ser padrão com as portas da estação para cada sentido situadas uma em frente da outra e uma largura mínima de 3,0 metros (Figura 2). Ou pode ser alongada, com uma largura mínima de 2,5 metros e portas escalonadas para deslocar o posicionamento das portas para cada sentido (Figura 3). As estações também podem ser escalonadas, isto é, cada subestação atende um sentido de viagem (Figura 4).



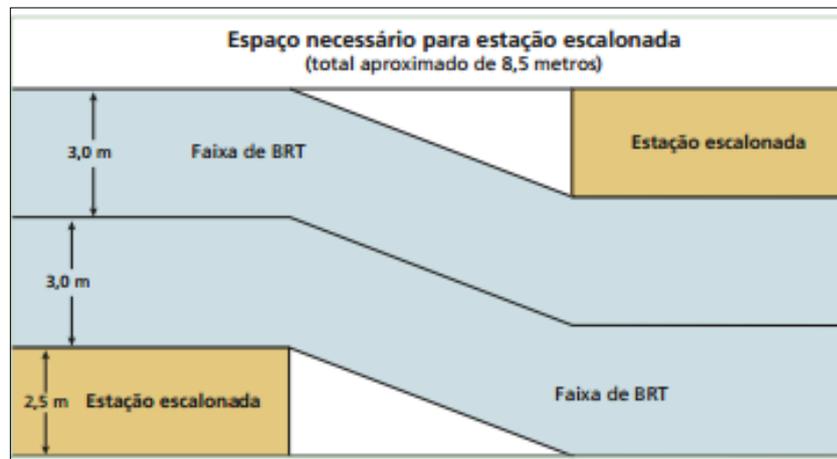
Fonte: Brasil (2008).

**Figura 3** - Dimensões de uma estação com portas escalonada no canteiro central



Fonte: Brasil (2008).

**Figura 4** - Dimensões de uma estação escalonada



Fonte: Brasil (2008).

O tipo de estação dependerá, dentre outros fatores, da demanda de usuários, do orçamento disponível e da disponibilidade de espaço. As estações de canteiro central são mais convenientes para os usuários, uma vez que podem mudar o sentido cruzando a plataforma.

Quanto à localização, as estações podem ser laterais e centrais. Estações e faixas no canteiro central permitem uma rápida movimentação dos veículos de transporte público, se comparadas com as faixas adjacentes ao meio-fio. Nestas últimas, conforme o Manual do BRT (Brasil, 2008), podem ocorrer conflito de conversões e paradas breves de táxi e veículos de entrega, que tendem a degradar a utilidade da via exclusiva.

O *design* das estações também pode reforçar a identidade visual do sistema, através de soluções criativas e/ou padronização de formas, materiais e cores. Além disso, deve contar com sistema de informações ao usuário (placas de nome e direção), mapas da linha dos corredores

e informações sobre a programação das linhas para tentar reduzir a ansiedade de espera (BRANCO, 2013; NTU, 2010). Sendo as últimas, preferencialmente, *online*.

Assim como o espaço viário e estações, os veículos são responsáveis por uma parcela da identidade do sistema BRT e influenciam aspectos como: 1) capacidade; 2) tempo de viagem; 3) confiabilidade do serviço; 4) custos de operação e manutenção; e 5) atratividade devido ao *design* para os usuários (NTU, 2010).

As configurações dos veículos (tamanho e capacidade) devem ser definidos, no início do projeto, com base no volume de passageiros para um corredor específico. A Tabela 10 apresenta as opções dos veículos BRT, comprimento e capacidade. Esta última varia de acordo com alguns elementos como comprimento do veículo, número de lugares sentados e em pé, bem como segundo normas relativas ao espaço necessário por passageiro – 2, 5 a 6 pessoas/m<sup>2</sup>, geralmente (BRANCO, 2013; RECK, 20--). O tamanho do veículo reforça a identidade do sistema BRT devido ao diferente *design*.

**Tabela 10** - Comprimento e capacidade de um veículo BRT

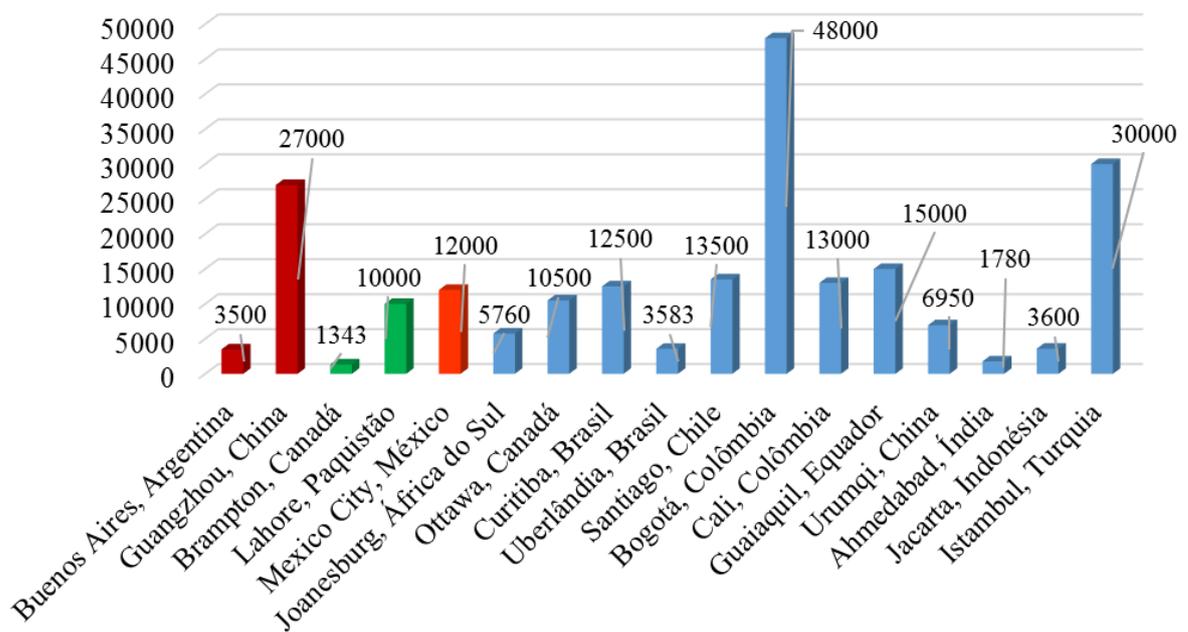
<b>Tipo de veículo</b>	<b>Comprimento (metros)</b>	<b>Capacidade (passageiros)</b>
Mini Bus	6	25 – 35
Standard	12	60 – 80
Dois andares	15	80 – 130
Articulado	18,5	120 – 170
Biarticulado	24	240 – 270

Fonte: Brasil (2008 *apud* Branco, 2013).

Uma faixa de avenida em condições típicas de circulação urbana dedicada ao BRT pode transportar até 10 vezes mais pessoas por hora que uma faixa dedicada ao automóvel. “E em situações onde foram duas as faixas dedicadas ao BRT, a capacidade atinge mais de 40 mil pessoas por hora e sentido, patamares equivalentes aos de sistemas metroviários de grande rendimento” (NTU, 2010, p. 9). Isso equivale dizer que a cada hora e sentido, cerca de 148 veículos do tipo biarticulado com capacidade máxima (270 passageiros) circulam na suposta via. De acordo com o Manual de BRT (Brasil, 2008), um sistema BRT padrão, sem faixas de ultrapassagem para serviços expressos, proverá cerca de 13.000 passageiros por hora por sentido, no máximo. O texto afirma também que a maioria dos sistemas BRT de alta qualidade atinge velocidades comerciais médias de aproximadamente 23 a 39 km por hora.

O Gráfico a seguir expõe a demanda na hora-pico (passageiros por hora por direção) de alguns sistemas BRT no mundo. Os valores apresentados equivalem ao número máximo de passageiros dentro dos ônibus por hora e por sentido ao longo do segmento mais carregado do sistema. Os dados do Gráfico 3 foram obtidos nos anos de 2016 (vermelho), 2015 (verde), 2014 (laranja) e 2013 (azul).

**Gráfico 3** - Demanda na hora-pico (passageiros por hora por direção)



Fonte: Global BRT Data (2016<sup>a</sup>).

O Gráfico 3 apresenta o BRT de Bogotá com a maior demanda na hora-pico com 48.000 passageiros por hora por direção. Isso deve a alguns fatores discutidos anteriormente, como a posição central das faixas, que permite uma rápida movimentação dos veículos; o pré-pagamento das tarifas, responsável por reduzir o tempo de parada; e a existência de faixas de ultrapassagem nas estações e das plataformas de nível alto. Os veículos têm uma velocidade operacional de 26,2 km/h e cerca 81% deles são articulados, ou seja, com capacidade máxima de 170 passageiros. O sistema também possui uma frota total de 1.697 veículos e cerca de 320 ônibus por hora, servindo o segmento mais carregado do sistema durante a hora-pico no sentido mais carregado (GLOBAL BRT DATA, 2016b).

O elevado número de usuário também está relacionado com a divisão modal dos transportes. Em Bogotá, por exemplo, 59% das viagens de um dia típico são realizadas em

transporte público. Além disso, o sistema colombiano apresenta 11 corredores distribuídos em 113 quilômetros (GLOBAL BRT DATA, 2016b, 2016c).

Outra característica de destaque do sistema BRT é a cobrança e verificação das tarifas antes do embarque dos usuários nos veículos. Esse procedimento permite reduzir os tempos de embarque, e conseqüentemente, o tempo total de viagem, o que resulta em uma maior capacidade e velocidade operacional. Além disso, tende a diminuir possíveis roubos dentro do veículo, uma vez que não há trocas de dinheiro e evasões ao pagamento da tarifa. Nesse caso, é necessário maior investimento e espaço nas estações para instalação de dispositivos de cobrança e validação, bem como para separação física entre para os usuários que já fizeram o pagamento e os que ainda não o realizaram. Segundo Branco (2013) também existe a possibilidade de realizar a cobrança antes do embarque em máquinas de venda automática, quiosques ou bilheterias e seguir para o veículo, sem validar o bilhete. Assim, a validação só seria realizada durante uma fiscalização aleatória dentro dos veículos. Essa opção permite uma redução de custos, contudo, pode gerar perda de receita devido as evasões de tarifa.

Finalmente, um bom plano de *marketing* deve ser fundamental para reduzir o estigma negativo do ônibus e atrair novos usuários. Sendo assim, é importante apresentar uma identidade forte que ressalte os benefícios do BRT e uma boa tática de comunicação para divulgar e promover o sistema, através de anúncios em todas as mídias possíveis. Para Branco (2013), os principais objetivos de uma estratégia de *marketing* para o sistema do BRT são “atrair novos utilizadores, manter os atuais que previam adquirir um veículo particular, e assegurar apoio político e financeiro de representantes do governo”.

### 3.1.2 Custo e financiamento

Segundo Brasil (2008) e Silva (2015), os custos de infraestruturas de BRTs são relativamente acessíveis, se comparados com outras opções de transporte público e custa entre 4 a 20 vezes menos que um sistema de bondes ou VLT e entre 10 e 100 menos que um sistema de metrô. O investimento final depende de uma série de fatores, mas em geral, um sistema de

BRT custará entre 1 milhão e 8 milhões de dólares por quilômetro, que correspondem, nos valores atuais, a R\$ 5,7 milhões e R\$ 45,8 milhões por quilômetro<sup>1</sup>, respectivamente.

Dentre esses fatores, destacam-se: 1) necessidade de viadutos e passagens subterrâneas; 2) número de faixas de ônibus; 3) necessidade de desapropriação de terrenos; 4) estações, terminais e garagens; 5) infraestrutura para pedestres; 6) benfeitorias que possibilitem a integração com outros modos de transporte, sejam eles, motorizados ou não; 7) central de controle; e 8) tipo de pavimento. A escolha de tecnologia dos veículos também influencia no custo do sistema e varia segundo o tamanho do veículo e o sistema de propulsão. No entanto, durante a escolha deve-se optar por tecnologias e combustíveis inovadores a fim de reduzir as emissões dos veículos BRT.

Branco (2013) coloca que os sistemas BRT custam, geralmente, entre 0,5 a 15 milhões de dólares por quilômetro (hoje em dia equivale a cerca de R\$ 2,2 a 65,1 milhões por quilômetro)<sup>2</sup>, sendo que a maioria custa menos de 5 milhões de dólares por quilômetro (R\$ 21,7 milhões por quilômetro, em valores atuais). Já NTU (2009) apresenta valor de 11,1 milhões de reais por quilômetro (hoje corresponde a cerca de R\$18,2 milhões por quilômetro)<sup>3</sup> para um corredor com 10,0 km e capacidade de 150.000 passageiros/dia. Geralmente os custos aumentam porque o município decide resolver também outros problemas de infraestrutura não relacionados diretamente com o projeto de BRT e devido as desapropriações (BRASIL, 2008).

Os Gráficos 4 e 5 representam os custos de infraestrutura por quilômetro de alguns corredores de BRT no mundo, que ficaram até o valor máximo estimado pelo Manual do BRT

---

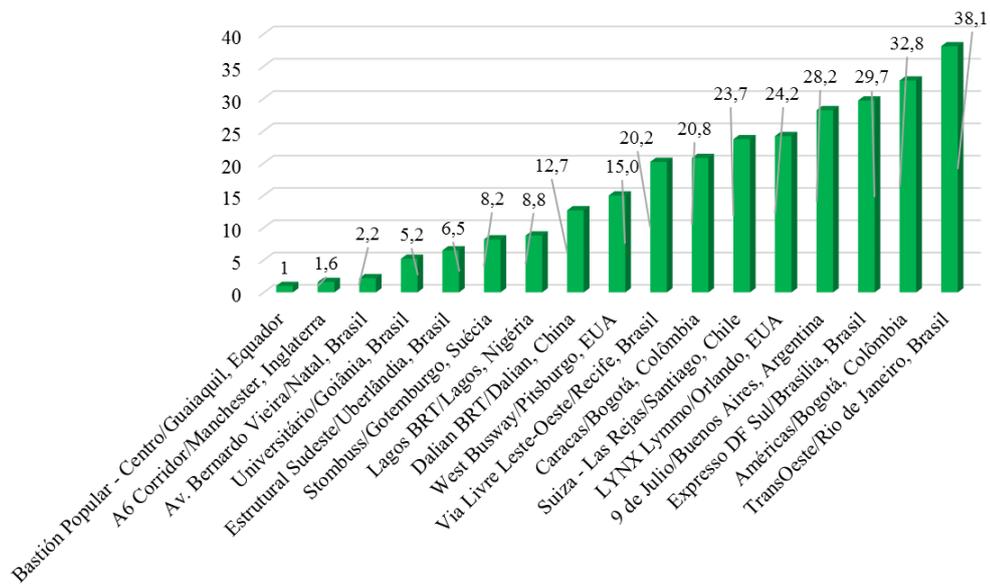
<sup>1</sup> O valor foi convertido em real com a cotação do dólar comercial do dia 15/09/2016 = R\$3,30 aproximadamente, através do <http://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/dolar-comercial-estados-unidos/?historico>. Posteriormente, o valor foi corrigido com base no índice de inflação oficial do Brasil - IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo). A correção foi de 73,54% no período de jan/2008 a set/2016. A inflação foi obtida através de uma calculadora online (<http://economia.uol.com.br/financas-pessoais/calculadoras/2013/01/01/indices-de-inflacao.htm>).

<sup>2</sup> O valor foi convertido em real com a cotação do dólar comercial do dia 15/09/2016 = R\$3,30 aproximadamente, através do <http://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/dolar-comercial-estados-unidos/?historico>. Posteriormente, o valor foi corrigido com base no índice de inflação oficial do Brasil - IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo). A correção foi de 31,59% no período de jan/2013 a set/2016. A inflação foi obtida através de uma calculadora online (<http://economia.uol.com.br/financas-pessoais/calculadoras/2013/01/01/indices-de-inflacao.htm>).

<sup>3</sup> O valor foi corrigido com base no índice de inflação oficial do Brasil - IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo). A correção foi de 63,87% no período de jan/2009 a set/2016. A inflação foi obtida através de uma calculadora online (<http://economia.uol.com.br/financas-pessoais/calculadoras/2013/01/01/indices-de-inflacao.htm>).

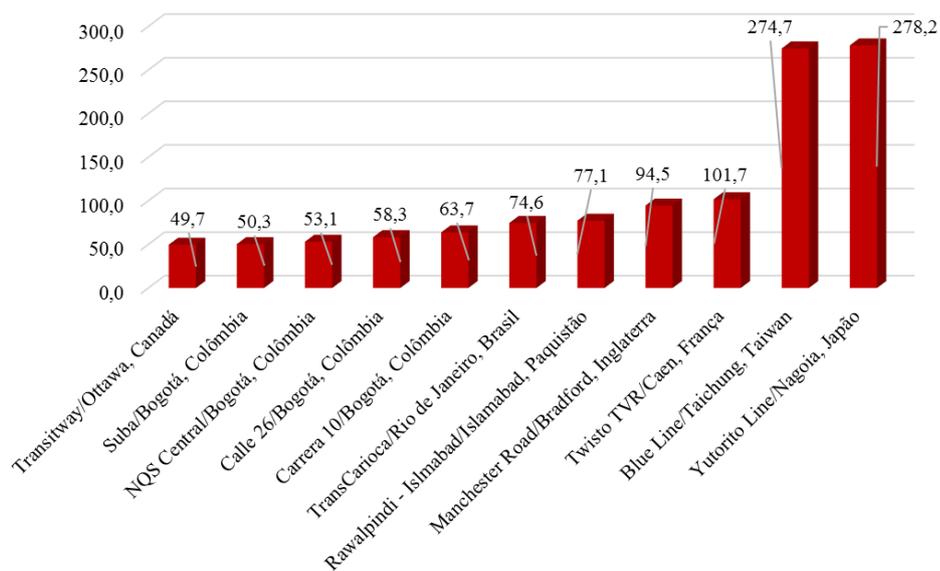
(R\$ 45,8 milhões por quilômetro) e os que apresentaram custo acima desse valor, respectivamente. Os valores incluem o custo da infraestrutura do BRT, terminais e depósitos, custos de construção e desapropriações. No entanto, não abrange o custo com faixas laterais para o tráfego misto. Os custos foram convertidos em real e então, corrigidos com base em um índice de inflação oficial do Brasil – IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo) de acordo com o ano de obtenção dos dados.

**Gráfico 4** - Corredores de BRT com custo de infraestrutura até R\$ 45,8 milhões quilômetro (valor máximo estimado pelo Manual do BRT)



Fonte: Adaptado de Global BRT Data (2016d).

**Gráfico 5** - Corredores de BRT com custo de infraestrutura acima de R\$ 45,8 milhões por quilômetro (valor máximo estimado pelo Manual do BRT)



Fonte: Adaptado de Global BRT Data (2016d).

Dos 28 corredores pesquisados, cerca de 61% apresentaram o custo com infraestrutura inferior ao valor máximo estimado pelo Manual do BRT, com destaque para o da cidade de Natal, que teve um custo abaixo do estimado de R\$ 2,22 milhões por quilômetro. Esse valor pode ser justificado devido à ausência de faixa de ultrapassagem, ao pavimento asfáltico, que apresenta valor mais baixo se comparado com o de concreto, bem como ao fato do embarque não ser realizado em nível (menor custo de construção). O corredor de BRT de Natal recebeu uma avaliação regular dos usuários quanto à qualidade do sistema, em uma escala de excelente até muito ruim (GLOBAL BRT Data, 2016d).

O corredor TransCarioca no Rio de Janeiro, inaugurado em 2014, possui faixa central, pavimento de concreto, faixas de ultrapassagem nas estações, nível de embarque alto, entre outras características. Tais itens elevam o preço da infraestrutura do sistema e possam, talvez, justificar o custo de R\$ 74,6 milhões por quilômetro. De qualquer forma, o sistema BRT TransCarioca foi avaliado como bom pelos usuários.

Além dos gastos com a infraestrutura, os custos operacionais também devem ser contabilizados, que incluem tradicionalmente os custos fixos, como salários de motoristas, custos administrativos e seguros, bem como os custos variáveis – combustível, peças e manutenção. Além desses, também se destacam a depreciação dos veículos e custos de empréstimos (BRASIL, 2008). As despesas com mão de obra, geralmente, são menores em países emergentes e segundo Branco (2013), representam cerca de 20% dos custos operacionais. Em contrapartida, esse valor representa aproximadamente 35% em países desenvolvidos, podendo alcançar 75% do valor total.

De acordo com a NTU (2010), os custos de construção dos corredores, estações, terminais de integração e do Centro de Controle Operacional (CCO), são normalmente de responsabilidade do poder público. Os operadores, por sua vez, são responsáveis pela compra e manutenção da frota, assim como pelos custos operacionais. No entanto, também podem ficar encarregados pela operação e manutenção das estações e terminais, bilhetagem eletrônica, operação do CCO, Sistema de Informação ao Usuário (SIU) e *marketing*. O custo de operação do corredor de BRT de Curitiba, por exemplo, é R\$ 1,13 por passageiro<sup>4</sup> (NTU, 2009).

---

<sup>4</sup> O valor foi corrigido com base no índice de inflação oficial do Brasil - IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo). A correção foi de 63,87% no período de jan/2009 a set/2016. A inflação foi obtida através

Os sistemas BRT nos países em desenvolvimento podem operar sem a necessidade de subsídios públicos, uma vez que o lucro é obtido com a venda das passagens (BRASIL, 2008). Branco (2013) destaca que isso é possível devido aos baixos custos de mão de obra aliados aos altos níveis de procura pelo transporte público. Independente disso, o sistema de distribuição do faturamento deve ser transparente e bem contabilizado para que assegure a confiança e participação de todas as partes (operadores troncais e alimentadores, companhia de cobrança e, possivelmente, a empresa pública).

Os veículos utilizados em sistemas BRT constituem um elemento determinante dos custos do sistema. Os articulados, por exemplo, são mais caros e têm maior custo operacional que o ônibus convencional, devido ao maior consumo de combustível e à manutenção mais complexa. Contudo, essa diferença é compensada pela redução do consumo de combustível e menor frota quando comparado ao sistema tradicional. Este devido à maior capacidade dos veículos e aquele por causa das condições de operação do corredor, que permitem menor tempo parado no trânsito, e conseqüentemente, maior velocidade média (NTU, 2010). Segundo o Ministério das Cidades (BRASIL, 2008 *apud* BRANCO, 2013), um veículo articulado de alta qualidade, na América Latina, tem um custo que varia entre 200 e 250 mil dólares (entre cerca de R\$ 1,14 milhões e R\$ 1,43 milhões atualmente)<sup>5</sup>.

Como destacado anteriormente, normalmente, a responsabilidade do custo de implantação da infraestrutura de um corredor BRT é do poder público. No entanto, este pode buscar a formação de Parcerias Público-Privadas (PPP) para o financiamento da implantação e manutenção de uma parte ou toda a estrutura do corredor. Em troca, as empresas particulares ganham direitos exclusivos de operação por um período de tempo. Os bancos internacionais de desenvolvimento também estão interessados em financiar propostas que busquem mobilidade urbana sustentável das cidades, caso do BRT.

---

de uma calculadora online (<http://economia.uol.com.br/financas-pessoais/calculadoras/2013/01/01/indices-de-inflacao.htm>).

<sup>5</sup> O valor foi convertido em real com a cotação do dólar comercial do dia 15/09/2016 = R\$3,30 aproximadamente, através do <http://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/dolar-comercial-estados-unidos/?historico>. Posteriormente, o valor foi corrigido com base no índice de inflação oficial do Brasil - IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo). A correção foi de 73,54% no período de jan/2008 a set/2016. A inflação foi obtida através de uma calculadora online (<http://economia.uol.com.br/financas-pessoais/calculadoras/2013/01/01/indices-de-inflacao.htm>).

Outras ideias são os recursos gerados pelos pedágios urbanos, cobrança de estacionamento, impostos na gasolina e IPVA. Além disso, as cidades também podem gerar faturamento com o desenvolvimento de propriedades no entorno das estações e corredores. Isso acontece devido ao melhoramento do espaço público, caso da cidade de Bogotá que teve os terrenos próximos do TransMilenio valorizados. Os recursos internos nacionais e municipais normalmente são suficientes para financiar os custos de construção, uma vez que os investimentos e custos operacionais são relativamente baixos e estão ao alcance de cidades que apresentem uma renda mais baixa (BRASIL, 2008).

Um sistema BRT pode ser implementado em um período de 12 a 36 meses, depois da concepção, o que representa grande vantagem em comparação aos outros modos de transporte urbano (BRASIL, 2008). Normalmente, o tempo de planejamento situa-se entre 12 e 18 meses e a construção dos primeiros corredores é concluída em um período de 12 a 24 meses (BRANCO, 2013). Para NTU (2009), o prazo estimado para implantação de 10 quilômetros de corredor de BRT com capacidade para 150.000 passageiros/dia está por volta de 30 meses. Nesse período, estão contabilizadas as etapas de projeto básico (6 meses), financiamento (6 meses), projeto executivo (6 meses) e implantação (12 meses). O texto ainda coloca que o contexto brasileiro do prazo de execução varia frente ao internacional, conforme a tabela a seguir:

**Tabela 11** - Prazo de execução de um corredor BRT

<b>Prazo de execução</b>	<b>Pista exclusiva (7m) com ultrapassagem</b>	<b>Pista exclusiva (7m) sem ultrapassagem</b>
Contexto brasileiro	Médios, tipicamente em torno de 4 anos: 2 anos para obter financiamento e licenças ambientais	Médios, tipicamente em torno de 4 anos: 2 anos para obter financiamento e licenças ambientais

Fonte: NTU (2009).

De acordo com a Tabela 11, o prazo de execução dobra no contexto brasileiro devido, em grande parte, ao período de espera para obter financiamento e as licenças ambientais – cerca de dois anos. No Brasil é comum o financiamento público das obras com recursos internacionais, BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social), Caixa Econômica Federal, entre outros. Além disso, “o processo de preparar os Relatórios de Impacto Ambiental e cumprir com a legislação referente às audiências públicas requer esses prazos” (NTU, 2009).

De qualquer forma, o período de execução de um sistema BRT é menor se comparado ao do metrô e VLT e maior em relação a uma faixa exclusiva para ônibus. No entanto, deve-se levar em consideração que no Brasil, muitas vezes, o prazo é extrapolado devido a uma série de fatores, incluindo, processo burocrático, falta de orçamento no decorrer da obra e ausência de planejamento adequado.

### 3.1.3 Impactos ambientais e visuais

Para tentar reduzir a poluição atmosférica tem-se apostado em sistemas de propulsão que utilizem combustíveis mais limpos. Segundo Brasil (2008), tecnologias veiculares como diesel limpo, gás natural comprimido, gás liquefeito de petróleo, biocombustível, veículo elétrico híbrido e trólebus são elementos que buscam reduzir as emissões dos veículos BRT. No entanto, deve-se realizar uma análise quanto ao impacto que a tecnologia adotada produzirá na qualidade do serviço, no nível de emissões e na lucratividade do sistema, uma vez que esta última é influenciada pelo custo de manutenção e operação, bem como pelas infraestruturas de apoio necessárias (BRANCO, 2013).

Veículos híbridos, por exemplo, que operem com motores elétricos e a combustão interna podem resultar em uma economia de combustível. Além disso, podem ser dotados de freios regenerativos, minimizando perdas de energia (MOTTA, 2009). Cada alternativa será adotada conforme a realidade do local e a disponibilidade de determinado combustível limpo. Branco (2013) destaca as seguintes alternativas, que reduzem a dependência do petróleo: biocombustível (etanol e biodiesel), gás natural, hidrogênio e energia elétrica.

Com base nos dados disponíveis no site da Global BRT Data foi possível identificar o combustível usado pela maioria das frotas de ônibus de algumas cidades. Das 139 cidades pesquisadas, 65% possuem apenas o diesel como combustível predominante, seguidos pelos 17% de CNG (Gás Natural Comprimido) e 9% híbrido. Apenas uma cidade utiliza eletricidade.

A escolha das tecnologias não influencia apenas na questão ambiental, também está diretamente relacionada com o nível de ruídos. No geral, os níveis de ruídos são determinados consoante as seguintes variáveis: 1) tecnologia de propulsão e combustível utilizado; 2) tamanho do veículo em relação ao tamanho do motor; 3) tecnologia de escape e exaustão; 4)

qualidade do pavimento de asfalto ou de concreto das pistas; e 5) práticas de manutenção (MOTTA, 2009).

Sistemas elevados de BRT são possíveis, contudo, causam impacto de intrusão visual, além de elevar o custo com infraestrutura. Na maioria das vezes, são adotados quando há limitações geométricas e/ou geológicas. De maneira geral, um sistema BRT de alta capacidade também reduz o impacto visual gerado pelas filas de ônibus extensas, característica de corredores saturados.

O BRT utiliza veículos sobre pneus com maior capacidade de transporte que ônibus convencionais, resultando em frequências menores para atender uma mesma demanda de usuários. Com menos veículos circulando, menor é a densidade viária (veic/km) e a intrusão visual gerada pelas longas filas de ônibus típicas de corredores urbanos saturados, e tanto maior é a possibilidade de se atuar nos semáforos para reduzir os tempos de parada nas interseções. Também menores são os movimentos de entrada e saída de ônibus nas áreas mais centrais da cidade, diminuindo a carga ambiental derivada da operação do sistema ônibus convencional com seus múltiplos pontos terminais (NTU, 2010, p.10).

Quando são realizados estudos de demanda e logísticas adequadamente, aliado a um planejamento estratégico de qualidade e com tempo suficiente para tal, um sistema BRT tende a melhorar a imagem e a requalificação das cidades e atrair novos usuários. Para exemplificar, FTA (2004) aponta que aumentos de demanda no transporte de passageiros estão na casa dos 5 a 25%, e que existem casos, como a linha Prata de Boston com ganhos mais elevados de 85%. Deste modo, o BRT tem potencial de aumentar a demanda de usuários e desestimular o uso de automóveis particulares, já que pode se configurar como um transporte eficaz e eficiente.

### **3.2 Veículo Leve sobre Trilho (VLT)**

Esta seção expõe a definição, as características (infraestrutura viária, estações, veículos, capacidade, sistemas de informação), o custo, financiamento e prazo, bem como os impactos ambientais e visuais do VLT.

### 3.2.1 Definição e caracterização

De acordo com Bernardes (2016), o VLT é um modo de transporte público sobre trilhos que apresenta algumas características similares as do metrô e possui facilidade para sua inserção na estrutura viária existente. A autora destaca que essa tecnologia recebe diferentes denominações – nos Estados Unidos e na Inglaterra é conhecida como *light rail transit* ou *light rapid transit*; na França é denominada como *tramway*; na Espanha como *tranvia* (Barcelona) e *metrô ligeiro* (Madri); e no Brasil, a tecnologia é conhecida como VLT ou bonde moderno. Segundo APTA (2000 *apud* Carvalho, 2014, p. 22), a definição formal para esse tipo de veículo foi adotada em 1989 e adicionada ao *Urban Public Transportation Glossary*:

Um sistema de trem elétrico metropolitano caracterizado pela sua capacidade de operar carros individuais ou comboios curtos ao longo de direitos de passagem exclusivos ao nível do solo, em estruturas aéreas, em metrôs, ou, ocasionalmente, nas ruas e embarque e descarga de passageiros na faixa ou nível do assoalho do carro.

No entanto, Alouche (2012) entende que o nome VLT não é adequado, uma vez que faz referência ao veículo e não ao modo. Para o autor, o erro tem origem na tradução do inglês “*light rail transit*”, sendo o nome *tramway* o mais adequado, pois representa de forma mais apropriada um veículo que pode trafegar no meio da rua. O veículo leve sobre trilhos pode ser o bonde, o monotrilho ou um bonde mais moderno (WAISMAN, 2015; CARVALHO, 2014), que percorre em corredor segregado ou não. Quando totalmente segregado, torna-se um metrô leve.

Mesmo diante de diferentes conceitos acerca do VLT, Bernardes e Mesquita (2015) destacam algumas vantagens desse modo: 1) facilidade para sua inserção na estrutura viária existente; 2) simplicidade na sua inclusão no meio urbano, inclusive na convivência com os pedestres; 3) agrega imagem positiva à cidade; 4) alta qualidade operacional (conforto, segurança e confiabilidade); 5) maior capacidade que os ônibus; 6) vida útil de 30 anos; e 7) solução menos poluidora.

Além dessas prerrogativas, permite tecnologias distintas conforme o grau de segregação da via e o sistema operacional adotado. Pode apresentar segregação parcial e variar desde o bonde moderno (veículo com piso parcialmente rebaixado), que compartilha a via com outros

modos, até o *tramway* (veículo com piso totalmente rebaixado) na França com faixa reservada nas avenidas e ruas. Neste último caso, há o compartilhamento da via com os pedestres nos centros históricos.

Conforme Brinco (2012), quando a via é inserida ao nível do solo, as estações podem ser constituídas de plataformas baixas de embarque e desembarque, dispostas a uma altura um pouco superior ao meio-fio das calçadas. Isso é tecnicamente viável, pois o veículo tem piso rebaixado e pode distar apenas 35cm do solo (BOORSE *et al.*, 2000). Tal posicionamento facilita o acesso dos usuários, inclusive aqueles que apresentam dificuldade de locomoção. As estações também podem estar localizadas abaixo do nível do solo, no caso de vias subterrâneas, e o acesso é realizado a partir de escadarias, escadas rolantes e elevadores (BRINCO, 2012).

As estações do VLT são a primeira interface dos usuários com o sistema, logo não devem ser analisadas apenas como um elemento de acesso à composição. Assim, precisam ser bem projetadas, localizadas e de fácil acesso, bem como devem promover comodidade e segurança aos usuários. A localização específica deve estar baseada em estudos prévios de demanda ao longo do corredor. Para NTU (2009), as estações devem estar situadas a cada 500 metros. Mas, de acordo com *VTA Transit Policy* (2007), em geral, as estações devem ser localizadas a cada 1,2km a 1,6km. O ideal é que estejam situadas a uma curta distância de importantes geradores de viagens, como distritos comerciais do centro da cidade, bairros de uso misto, áreas residenciais de alta densidade etc. Além disso, devem ficar posicionadas em locais com potencial de desenvolvimento e densificação para promover o uso do transporte. O autor ainda destaca a presença de abrigos de passageiros, bancos, armazenamento de bicicletas, iluminação adequada, sinalização informativa e recipientes de lixo.

Serviços como sistemas de informação em tempo real para os passageiros, mapas com as rotas, informações de conexão e a presença de máquinas para compra dos bilhetes contribuem para a funcionalidade e utilidade da estação. O desenho físico das estações, incluindo o comprimento e a largura da plataforma, baseia-se, entre outros aspectos: 1) na demanda durante o pico; 2) no comprimento máximo operável dos comboios que servem a estação; 3) no papel da estação na rede (se é uma origem/destino ou estação de transferência); 4) o nível de conectividade com outros modos de transporte; e 5) no potencial de expansão e crescimento da estação (*ibid*).

De acordo com PA Transport (2013), as estações podem ser distinguidas em quatro tipologias conforme a operação de embarque e desembarque e a quantidade de plataformas: estações de plataforma única, estações de plataforma lateral, estações de plataformas duplas e estações de plataformas triplas. As estações de plataforma única (central) são localizadas entre as vias do VLT. Nesse caso, as operações de embarque e desembarque de passageiros nos trens são realizadas pelo lado esquerdo do sentido da circulação utilizando ambos os lados da plataforma. Já as estações de plataforma lateral são operadas em uma direção, onde o embarque e desembarque são operados pelo lado direito do sentido de circulação dos trens. As estações com plataformas duplas são inseridas em terminais de integração, para o embarque e desembarque dos usuários que se transferem para os ônibus. As estações de plataforma tripla, por sua vez, apresentam a plataforma central entre as vias do VLT, que é utilizada somente para o desembarque de passageiros. Enquanto a plataforma lateral exterior é dedicada ao embarque, que ocorre pelo lado direito das composições.

Para Brasil (2016b, p. 16), a largura da via permanente deve ser, no mínimo, 3,15 metros para via simples e, no mínimo, 6,50 metros para via dupla. O texto acrescenta que “a largura da via precisa ser compatível com a largura do veículo, seu gabarito dinâmico, as sinalizações viária e ferroviária e com o poste da catenária (se ela for a forma de alimentação elétrica do sistema)”.

A plataforma central apresenta vantagens, especialmente em estações subterrâneas. Exceto para as estações em área mais centrais das cidades, o fluxo do horário de pico é direcional e, portanto, a área requerida para uma plataforma central pode ser aproximadamente duas vezes menor do que a área de plataformas laterais (CLARK, 2009). Além disso, os passageiros também são beneficiados, uma vez que não é necessário subir e descer escadas para realizar transferência de linha e/ou direção. De qualquer forma, a dimensão da plataforma varia conforme a demanda de usuários do corredor, que deve ser determinada em estudo prévio.

Hoje, os carros VLT vêm em uma variedade de formas e tamanhos. Por exemplo, daqueles que operam nos Estados Unidos, a largura varia de 2,6 a 2,9 metros e os comprimentos dos carros de uma peça está entre 15 metros e 20,4 metros. Um trem de três carros pode transportar, com segurança, mais de 400 passageiros (BOORSE *et al.*, 2000). Para Bernardes e Ferreira (2016), a velocidade máxima do VLT é de 70 km/h. Alouche (2008) afirma que se o sistema for implantado em corredores exclusivos, os veículos podem chegar a uma velocidade

de 80 km/h e quando divide a via com automóveis e pedestres, a velocidade gira em torno de 20 km/h.

Por outro lado, conforme *VTA Transit Sustainability Policy* (2007), um veículo tem cerca de 27 metros, com quatro portas em cada lado e apresenta uma capacidade de 230 pessoas, sendo 65 delas sentadas. Segundo PA Transport Consulting (2013), o veículo possui um comprimento total de aproximadamente 30 metros e uma largura de 2,65 metros. O VLT de Cariri (Fortaleza – CE), por exemplo, comporta 358 passageiros em uma composição de dois carros com cerca de 44 metros de comprimento e uma velocidade máxima de 60 km/h (BERNARDES; MESQUITA, 2015). A cidade de Tel Aviv, em Israel, possui um dos VLTs mais longos do mundo, com 72 metros de comprimento, 8 carros e uma capacidade para transportar até 765 passageiros – taxa de ocupação de 6 passageiros/m<sup>2</sup> (MISSAWA, 2011 *apud* RIBEIRO, 2015).

De acordo com a especificação técnica do VLT padrão nacional, o VLT deve ser composto por um mínimo de dois e um máximo de quatro carros. No entanto, é possível a formação de composições operacionais com até três VLTs acoplados. Os carros localizados nas extremidades devem possuir cabines de condução (CBTU, 2010). Além disso, a CBTU apresenta outras informações relevantes, que estão resumidas na Tabela 12. Pode-se observar que a capacidade de passageiros no caso do VLT regional é menor, isso se deve ao fato das viagens serem mais longas, e, portanto, há um maior número de assentos. Se levarmos em consideração a capacidade média de 170 passageiros por carro e a composição máxima de 12 carros, pode-se concluir que a capacidade média de transporte pode chegar a 2.040 pessoas por viagem. Supondo um *headway* (intervalo de tempo entre a passagem de dois veículos em operação segura) de cinco minutos, o VLT pode atingir uma capacidade média máxima de 24.480 passageiros por hora por sentido.

**Tabela 12** - Características básicas relacionadas ao VLT urbano e ao VLT regional

Características do VLT	
Movimentação	Bidirecional
Comprimento de cada carro	16 metros
Largura externa máxima	3 metros
Altura máxima do veículo	4 metros
Capacidade média de passageiros/carro	170 (urbano); 60 (regional)
Velocidade máxima operacional	80 km/h (urbano); 110 km/h (regional)

Fonte: Adaptado de CBTU (2010).

Segundo Motta (2013), a capacidade de transporte de passageiros do sistema não é unanimidade entre os pesquisadores e, algumas vezes, a metodologia adotada para o cálculo não é revelada. No geral, o VLT atende à oferta existente entre o ônibus e o metrô pesado (ALOUCHE, 2008; BRINCO, 2012). NTU (2009) afirma que o sistema transporta 20.000 passageiros por hora (trem com quatro carros, via subterrânea ou elevada e sem interferência viária). Contudo, Alouche (2012) aponta que a capacidade de transporte do VLT varia entre 15.000 passageiros por hora a 30.000 passageiros na hora de pico. Bernardes (2016) destaca que a capacidade de passageiros pode variar entre 15.000 e 35.000 passageiros/hora/sentido.

De acordo com RS (2004 *apud* BRINCO, 2012), a exploração comercial rentável do sistema situa-se entre 7.000 e 8.000 a 20.000 passageiros/hora/sentido em vias de baixa segregação; de 15.000 a 25.000 passageiros/hora/sentido em vias de alta segregação; e de 25.000 a 40.000 passageiros/hora/sentido em vias totalmente confinadas. Benvenuto *et al.* (1996 *apud* Brasil, 2007, p. 91) corroboram com o fato do número de passageiros variar consoante o nível de segregação da via:

Quando implantado com baixa segregação, os veículos operam em superfície, compartilhando o sistema viário com o tráfego local, pelo menos em alguns trechos, o que exige operação manual e sistemas de sinalização semafóricos, impedindo que atinja velocidades mais altas (entre 12 e 22 km/h) e reduzindo a sua capacidade de transporte, normalmente em torno de 18 mil passageiros/hora/sentido. Estes sistemas conseguem manter velocidades entre 15 e 30 km/h e atingem capacidade para transportar mais de 25 mil passageiros/hora/sentido, quando implantados com alto grau de segregação, isto é, com poucos cruzamentos em nível, onde têm prioridade absoluta de passagem, pontos de parada fechados para permitir a cobrança fora do veículo e veículos articulados, que podem formar composições com duas ou três unidades. Quando implantado em vias totalmente confinadas, em elevado ou subterrâneo, conseguem operar de forma totalmente automatizada, com composições de até 5 unidades, e atingem velocidades entre 20 e 37 km/h e conseguem transportar 36 mil passageiros/hora/sentido, ou até mais.

Conforme Meira (2016), a capacidade de transporte do VLT, dentro de sua faixa de eficiência, varia de 10.000 a 30.000 passageiros/hora/sentido e para ser viável é necessária uma demanda de 5.000 a 12.000 passageiros/hora/sentido. Dessa forma, observa-se que a quantidade de usuários é bastante diversificada e é resultado da conexão de uma série de características do

sistema, desde o tamanho e a composição dos veículos até o nível de segregação da via, incluindo tecnologia adotada, frequência e facilidades do sistema.

A cidade francesa de Nantes, por exemplo, tem uma das redes de VLT mais desenvolvida do país e transporta, aproximadamente, 275 mil usuários todo dia. Já Estrasburgo, também na França, transportou 300.000 usuários por dia, em 2010 (MOTTA, 2013). O VLT Carioca, no Rio de Janeiro, realizou cerca de 25.365 viagens e transportou pouco mais de 4 milhões de passageiros em seis meses de operação, no trecho Rodoviária-Santos Dumont (VLT CARIOCA, 2016). Se for levado em consideração o horário de funcionamento do VLT Carioca (06:00h à 00:00h), pode-se estimar uma média de 1.235 passageiros/hora. No entanto, o autor destaca que a demanda média estimada é de 250 mil passageiros por dia útil e que quando todas as linhas estiverem em operação, a capacidade do sistema chegará a 300 mil passageiros por dia. Outra informação disponibilizada é que cada carro tem capacidade para transportar até 420 pessoas e que o veículo pode alcançar uma velocidade de 50 km/h, a depender do trecho de circulação.

Outra característica do sistema VLT está relacionada ao pagamento da tarifa. Segundo VTA Transit Sustainability Policy (2007), os bilhetes são comprados nas estações antes do embarque ao veículo. Geralmente, existe a presença de fiscais, que multam aqueles que estão viajando sem bilhetes ou os que não validaram o passe. Nesse caso, são necessárias máquinas de emissão de bilhetes em todas as estações. A validação dos bilhetes pode ser realizada nas estações ou na área interna do veículo. As vantagens deste sistema são a redução do tempo de permanência e o atraso nas estações, bem como o aumento da velocidade de operação. O autor enfatiza que, nesse caso, os sistemas fechados de tarifas, onde catracas controlam o acesso às plataformas de embarque não são indicados. PA Transport Consulting (2013) também afirma que os pontos de paradas utilizados em um sistema de VLT preveem a venda de bilhetes na entrada e como consequência, a capacidade do sistema aumenta e o tempo de embarque reduz. No entanto, o ideal é que as estações e paradas sejam fechadas para que haja um controle de arrecadação.

Já o sistema de informação aos usuários deve incluir mapas, tabelas de horários, de frequência e de itinerários das linhas. Pode-se contar com a presença de painéis eletrônicos nas estações para informar ao usuário o horário de chegada dos próximos veículos em tempo real, bem como o tempo de espera na plataforma. Informações em tempo real permitem que os

passageiros planejem seus deslocamentos da melhor forma possível, através de aplicativos nos celulares, em sites e painéis eletrônicos (ANPTRILHOS, 2016). Tudo isso leva a uma maior confiabilidade do sistema por parte do usuário.

Além de informações dinâmicas, as auditivas também devem estar presentes nas estações e a bordo do veículo, como próxima paragem, alterações ou incidentes, porta de desembarque e possíveis conexões. Uma boa iluminação, a existência de equipamentos de segurança e a presença de pessoal de segurança contribuem para estimular viagens.

### 3.2.2 Custo e financiamento

Segundo Bernardes e Ferreira (2016), o custo de implantação e operação do VLT varia entre 20 a 30 milhões de dólares por quilômetro. Para os autores, o custo é considerado moderadamente elevado, mas já inclui todos os elementos do sistema – comboios, operacionalização e manutenção. E acrescentam que, em contrapartida, os custos divulgados de um sistema BRT não leva em conta os ônibus, sua operacionalização e manutenção.

O Centro de Estudo Sobre as Redes de Transporte da França informa que o VLT tem custo estimado entre 13 e 22 milhões de euros por quilômetro (entre R\$ 67 milhões e R\$ 113,4 milhões por quilômetro). Cada vagão custa entre 1,8 e 3 milhões de euros (entre R\$ 9,3 milhões e R\$ 15,5 milhões) e o custo de operação está entre 6 e 10 milhões de euros por quilômetro (R\$ 30,9 milhões e R\$ 51,5 milhões por quilômetro em valores atuais) (MEDDE, 2012 *apud* MOTTA, 2013)<sup>6</sup>. Já a NTU (2009) fixa a implantação do VLT em cerca de R\$ 40 milhões por quilômetro (R\$ 65,5 milhões por quilômetro em valores atuais)<sup>7</sup> e um prazo total de seis anos desde o projeto básico até a implantação, considerando um corredor de 10 quilômetros para 150 mil passageiros/dia. Para ANPTrilhos (2016), uma nova linha de VLT pode ser implementada entre 36 e 45 meses (três anos e três anos e nove meses).

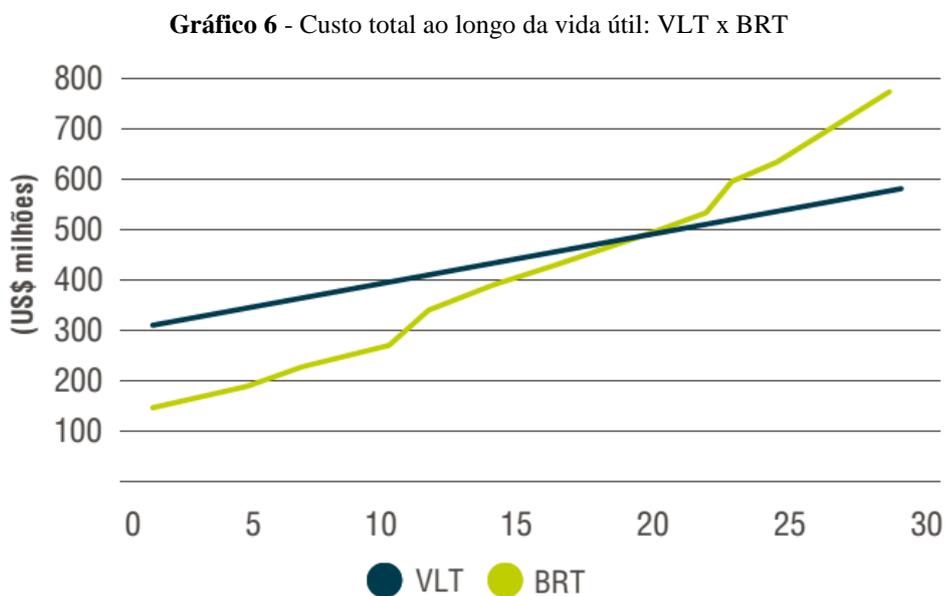
---

<sup>6</sup> O valor foi convertido em real com a cotação do euro comercial do dia 15/09/2016 = R\$3,70 aproximadamente, através do site <http://www.guiadacotacao.com.br/comprar/euro/2016/setembro/15>. Posteriormente, o valor foi corrigido com base no índice de inflação oficial do Brasil - IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo). A correção foi de 39,27% no período de jan/2012 a set/2016. A inflação foi obtida através de uma calculadora online (<http://economia.uol.com.br/financas-pessoais/calculadoras/2013/01/01/indices-de-inflacao.htm>).

<sup>7</sup> O valor foi corrigido com base no índice de inflação oficial do Brasil - IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo). A correção foi de 63,87% no período de jan/2009 a set/2016. A inflação foi obtida através de uma calculadora online (<http://economia.uol.com.br/financas-pessoais/calculadoras/2013/01/01/indices-de-inflacao.htm>).

Barbieux e Kühn (1990 *apud* BRINCO, 2012) afirmam que o custo por quilômetro construído (infraestrutura e material rodante) de uma linha segregada de VLT pode ser de duas a três vezes inferior ao exigido para o metrô tradicional, por exemplo. No entanto, caso se queira fazer o VLT numa via subterrânea, as vantagens financeiras desse modo são reduzidas, uma vez que o custo das obras aumenta bastante. Ainda segundo os autores, “a inserção de uma linha de VLT ao nível do solo e com apenas 20% do trajeto em subterrâneo leva a um aumento das despesas da ordem de 2,3 vezes com relação a uma opção inteiramente na superfície”.

De acordo com a ANPTrilhos (2016), um estudo comparativo de mercado mostra que o VLT necessita de um maior investimento inicial, no entanto, tem um custo total ao longo da vida útil menor que o BRT (Gráfico 6). O gráfico aponta que o custo do BRT supera o do VLT em torno de 20 anos de utilização. A análise foi baseada em uma linha de 12km de extensão com 22 estações; capacidade de 7.000 passageiros por hora por sentido e os custos de desapropriação não foram incluídos. Ou seja, o custo inicial do BRT é de aproximadamente R\$ 41,3 milhões por quilômetro e o do VLT é de R\$ 82,5 milhões por quilômetro<sup>8</sup>.



Fonte: ANPTrilhos (2016).

O custo é reduzido, em termos de infraestrutura e implantação, quando antigas linhas férreas são aproveitadas para instalação de corredores. Esse é o caso do VLT do Cariri, no Ceará, que utilizou linhas já existentes. Os custos de implantação do VLT do Cariri foram

<sup>8</sup> O valor foi convertido em real com a cotação do dólar comercial do dia 15/09/2016 = R\$3,30 aproximadamente, através do <http://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/dolar-comercial-estados-unidos/?historico>.

provenientes dos recursos do Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES) e do Governo do Estado do Ceará, através da Secretaria de Infraestrutura e das Prefeituras de Juazeiro do Norte e Crato. O custo total de implantação (13,6 km) foi de R\$ 25 milhões (BERNARDES; MESQUITA, 2015). Esse valor equivale atualmente a cerca de R\$ 29,2 milhões, ou seja, R\$ 2,1 milhões por quilômetro<sup>9</sup>.

O VLT Carioca, com 28 km de extensão, por sua vez, teve um alto custo de implantação, se comparado ao VLT de Cariri. Isso se deve a alguns fatores, como suas diretrizes de execução, que abrange um caráter de valorização urbana, bem como a utilização de uma tecnologia veicular mais cara. O custo é avaliado em R\$ 1,157 bilhão (R\$ 1,4 bilhão hoje em dia, que corresponde a R\$ 48,3 milhões por quilômetro)<sup>10</sup>, sendo R\$ 532 milhões com recursos federais do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) da Mobilidade e R\$ 625 milhões oriundos de uma PPP – Parceria Público-Privada (BERNARDES; MESQUITA, *ibid*). Segundo os autores, a experiência da PPP na modalidade de concessões administrativas para as fases de obras e operação gerou significativos avanços nas políticas de financiamento de transporte público no Brasil e contribuiu significativamente para superação do enigma de gestão de transporte público. Em relação ao custo operacional, Oliveira e Rosa (2013) apontam que o VLT da cidade do Rio de Janeiro tem um custo de R\$ 1,34 por passageiro<sup>11</sup>.

O custo total do projeto VLT de Fortaleza é de cerca de R\$ 265,5 milhões (R\$ 32,1 milhões por quilômetro, levando em consideração a inflação)<sup>12</sup>, sendo R\$ 3,3 milhões do projeto básico, R\$ 92,2 milhões em desapropriações e R\$ 170 milhões relativos as obras (PORTAL DA TRANSPARÊNCIA, 2010). O projeto prevê a remodelação de 13 km da linha férrea, sendo 12,5 km da linha em superfície e o restante em elevado. Esse transporte, que utiliza

---

<sup>9</sup> O valor foi corrigido com base no índice de inflação oficial do Brasil - IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo). A correção foi de 16,77% no período de jan/2015 a set/2016. A inflação foi obtida através de uma calculadora online (<http://economia.uol.com.br/financas-pessoais/calculadoras/2013/01/01/indices-de-inflacao.htm>).

<sup>10</sup> O valor foi corrigido com base no índice de inflação oficial do Brasil - IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo). A correção foi de 16,77% no período de jan/2015 a set/2016. A inflação foi obtida através de uma calculadora online (<http://economia.uol.com.br/financas-pessoais/calculadoras/2013/01/01/indices-de-inflacao.htm>).

<sup>11</sup> O valor foi corrigido com base no índice de inflação oficial do Brasil - IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo). A correção foi de 31,59% no período de jan/2013 a set/2016. A inflação foi obtida através de uma calculadora online (<http://economia.uol.com.br/financas-pessoais/calculadoras/2013/01/01/indices-de-inflacao.htm>).

<sup>12</sup> O valor foi corrigido com base no índice de inflação oficial do Brasil - IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo). A correção foi de 57,10% no período de jan/2010 a set/2016. A inflação foi obtida através de uma calculadora online (<http://economia.uol.com.br/financas-pessoais/calculadoras/2013/01/01/indices-de-inflacao.htm>).

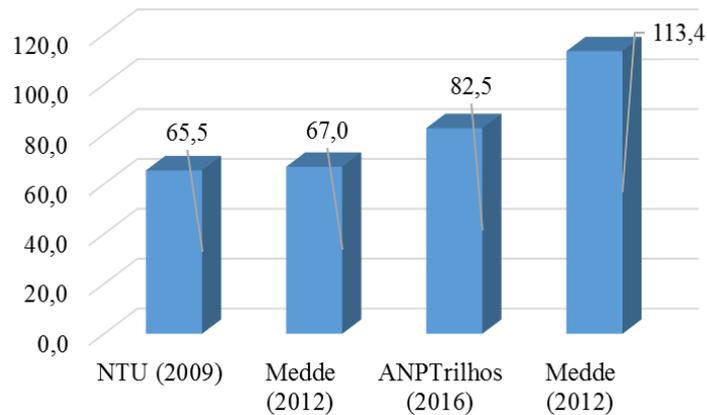
a linha férrea já existente, pretende interligar o aeroporto, a rodoviária, o terminal marítimo de passageiros e o Terminal da Parangaba. Além disso, em termos metropolitanos, haverá a integração ao transporte metropolitano, via linha sul do Metrofor (GÓIS, 2013). De acordo com o autor, o custo do VLT é alto se comparado às indenizações de R\$ 92,2 milhões para aproximadamente quatro mil famílias. No entanto, conforme o site da Tribuna do Ceará (2016), as obras do VLT, que teve o orçamento alterado de R\$ 179 milhões para R\$ 277 milhões, não estão finalizadas devido à falta de planejamento da gestão, apesar do acompanhamento dos gastos realizados pelo Tribunal de Contas do Estado e Ministério Público Estadual.

O VLT do eixo Anhanguera no município de Goiânia, em Goiás, tem um custo previsto de aproximadamente R\$ 1,3 bilhões (hoje é cerca de R\$ 1,7 bilhão ou R\$ 125,8 milhões por quilômetro)<sup>13</sup>, que inclui a via permanente, material rodante, sistemas (alimentação, telecomunicações, sinalização e controle), terminais de integração, estações, reurbanização e paisagismo, dentre outros. Sem contar com os custos anuais de operação e da administração de cerca de R\$ 18 milhões e R\$ 8 milhões, respectivamente (PA TRANSPORT CONSULTING, 2013). Contudo, segundo o Secretário do Meio Ambiente, Cidades, Infraestrutura e Assuntos Metropolitanos, Vilmar Rocha, o trecho de 13,6 km não tem previsão para sair do papel devido à falta de recursos e a existência de outras obras prioritárias (SALOMÃO, 2016).

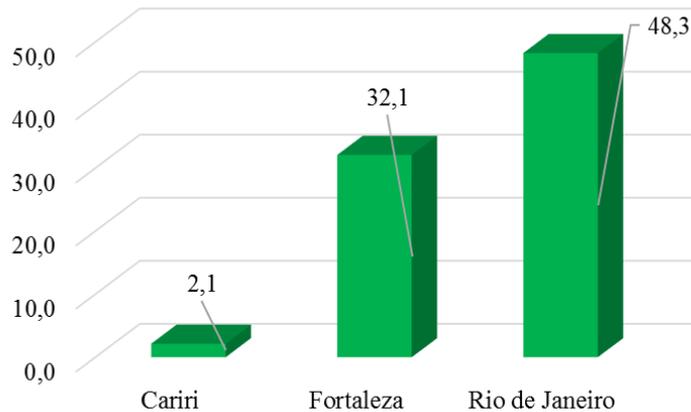
Pode-se resumir os dados levantados em dois grupos: o primeiro que apresenta os custos teóricos do VLT, e varia entre R\$ 65,5 a R\$ 113,4 milhões por quilômetro (Gráfico 7). O segundo (Gráfico 8), por sua vez, expõe os custos reais de obras de VLT no Brasil, que engloba o do Cariri (R\$ 2,1 milhões por quilômetro), o de Fortaleza (R\$ 32,1 milhões por quilômetro) e o do Rio de Janeiro – VLT Carioca/Porto Maravilha (R\$48,3 milhões por quilômetro). Optou-se por não incluir o custo do VLT do eixo Anhanguera em Goiânia, uma vez que até a data da pesquisa, a obra não tinha iniciado.

---

<sup>13</sup> O valor foi corrigido com base no índice de inflação oficial do Brasil - IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo). A correção foi de 31,59% no período de jan/2013 a set/2016. A inflação foi obtida através de uma calculadora online (<http://economia.uol.com.br/financas-pessoais/calculadoras/2013/01/01/indices-de-inflacao.htm>).

**Gráfico 7** - Custo teórico do VLT em milhões de reais por quilômetro

Fonte: adaptado de NTU (2009), Medde (2012) e ANPTrilhos (2016).

**Gráfico 8** - Custo do VLT em cidades brasileiras em milhões de reais por quilômetro

Fonte: adaptado de Bernardes e Mesquita (2015) e Portal da Transparência (2010).

### 3.2.3 Impactos ambientais e visuais

Um dos principais aspectos favoráveis citado por alguns autores quanto ao VLT está justamente relacionado aos impactos gerados por esse modo. Bernardes e Mesquita (2015), por exemplo, definem o VLT como uma solução limpa e ecológica, que contribui para a mobilidade urbana sustentável e inclusiva, bem como agrega uma imagem positiva à cidade, uma vez que sua implantação induz à uma renovação urbana. Os autores ainda apresentam vantagens quanto ao ruído produzido por esse modo: “com o surgimento da tecnologia de encapsulamento dos trilhos, os sistemas de VLT operam com baixos índices de ruídos e vibração e pouco interfere com as edificações lindeiras, e a tecnologia é avançada e disponível no Brasil”. Leeuwen (2003 *apud* MAROJA *et al.*, 2013) aponta que a emissão sonora de um VLT é compatível a de 11 carros.

Uma pesquisa realizada por Maroja *et al.* (2013) teve como objetivo avaliar o impacto ambiental sonoro com a implantação do VLT no canteiro central da avenida W3 Sul em Brasília. A partir de mapas de ruído, a situação atual foi comparada com cenários futuros considerando fontes do ruído o VLT e o tráfego de veículos. Assim, foram simulados cenários com a manutenção e redução do tráfego de veículos. Os autores concluíram que a implantação do VLT na avenida W3 Sul não ampliará os níveis de poluição sonora. “Desde que ocorra uma redução do fluxo de veículos da ordem de 30%, os níveis de ruído serão reduzidos”.

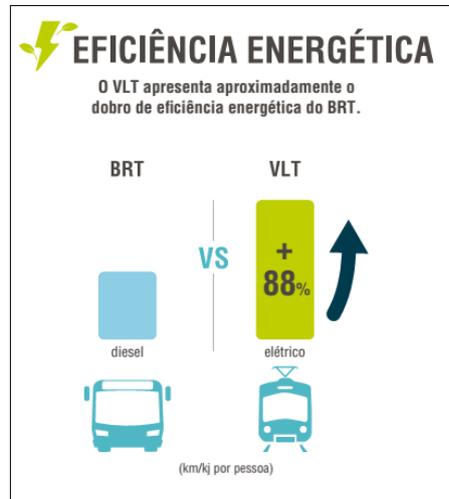
Para Silva e Nascimento (2015), o VLT é um sistema de transporte que apresenta baixa poluição atmosférica e sonora e facilidade em se adaptar ao meio urbano e paisagístico, além de promover o desenvolvimento urbano. Nesse contexto, Motta (2013) coloca que o VLT não divide a cidade, uma vez que existe um prevailecimento do pedestre sobre o veículo e, diferentemente dos trens, não há muros dividindo a cidade. Dessa forma, o objetivo é tornar a cidade mais humana e mais conectada. Alouche (2008) acrescenta que o VLT é uma alternativa de transporte capaz de circular nos centros administrativos e históricos, sem comprometê-los.

Segundo a ANPTrilhos (2016), o VLT tem induzido o desenvolvimento, a partir da revitalização de áreas degradadas e potencialização de outras. Em cidades que adotaram o VLT, por exemplo, a paisagem foi redesenhada com a melhoria das fachadas das lojas, a valorização das propriedades e o fortalecimento da economia. Foi o que aconteceu em Freiburg, na Alemanha, em que os preços dos imóveis localizados nas proximidades do percurso do VLT apresentaram aumento de 15% a 20% e em Ontário, no Canadá, a valorização chegou a 25%. O autor ainda destaca que o VLT tem tração elétrica, ou seja, as emissões de gases do efeito estufa são relativas apenas à geração de energia elétrica. Além disso, faz uma comparação entre as emissões totais de CO<sub>2</sub> entre o BRT e VLT (Figura 5): “as emissões totais de CO<sub>2</sub> de um BRT a diesel ao longo de 5 anos são mais de duas vezes superiores às emissões de um sistema de VLT ao longo de 25 anos”. Assim, o VLT possui maior eficiência energética<sup>14</sup> em relação ao BRT.

---

<sup>14</sup> A utilização racional de energia chamada também simplesmente de eficiência energética, consiste em usar de modo eficiente a energia para se obter um determinado resultado. Por definição, a eficiência energética consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização. Informação retirada do site <http://www.abesco.com.br/pt/o-que-e-eficiencia-energetica-ee/>.

**Figura 5** - Comparação entre a eficiência energética do BRT e VLT



Fonte: ANPTrilhos (2016).

PA Transpor Consulting (2013) também entende que o VLT permite a reurbanização, modernização e consequente valorização da região por onde passa. O autor também cita benefícios quanto a: 1) redução poluição atmosférica – é um sistema de transporte baseado em energia elétrica e leva maior vantagem sobre as alternativas com veículos movidos a diesel. Os veículos sobre pneus geram um particulado (tão nocivo quanto os compostos de carbono) originado do pó proveniente dos próprios pneumáticos e do asfalto; 2) redução da poluição sonora – sistemas tracionados por energia do tipo VLT produz menos ruído em comparação aos sistemas movidos a motores de explosão. O motor de explosão, ou motor de combustão interna, é amplamente usado para movimentar automóveis, ônibus, caminhões etc.; 3) diminuição da poluição visual – os sistemas de VLT possuem vantagens por utilizarem veículos com design leve [...] sendo que nos casos de VLT com piso baixo a intrusão visual é reduzida ao mínimo, sendo possível visualizar o outro lado da rua, mesmo na passagem dos trens”; e 4) desapropriações – como é um sistema que demanda uma faixa de domínio menor, em geral, há menores desapropriações.

No caso do Brasil, segundo a CBTU (2010), os VLTs podem ser alimentados por combustível diesel, biodiesel, álcool ou GNV (Gás Natural Veicular), desde que se caracterize pela baixa emissão de poluentes atmosféricos e ruídos e que atenda aos requisitos da norma EURO 3. CCR (2013 *apud* RIBEIRO, 2015) informa que os modos de alimentação para propulsão dos veículos podem ser energia elétrica, diesel, biodiesel ou sistema híbrido. A mais

utilizada é a energia elétrica captada via catenária<sup>15</sup>, por ser o processo mais seguro, de maior facilidade de manutenção e menor custo de implantação. No entanto, esse tipo de alimentação gera um efeito visual desagradável, já que os cabos elevados e os postes poluem as paisagens. Para solucionar esse tipo de inconveniente, algumas alternativas são utilizadas como o sistema alimentado pelo solo.

O VLT do Cariri é movido a diesel (consumo de combustível de cerca de 1 litro diesel/1,5 km), que é considerado uma energia poluente para os indicadores ambientais. Já o VLT do Rio de Janeiro (Porto Maravilha) utiliza como tecnologia veicular a energia embarcada (baterias e/ou supercapacitores) com alimentação em pontos específicos (paradas e cruzamentos principais). Tal tecnologia apresenta custo elevado, porém é menos poluente e está de acordo com os indicadores ambientais. Quanto ao aspecto de inserção urbana, o VLT do Cariri revitalizou o trecho ferroviário existente entre as cidades do Crato e Juazeiro do Norte, bem como promoveu uma integração regional. Pode-se apontar ainda como consequência o atendimento à demanda turística e a contribuição para o desenvolvimento urbano. O VLT Porto Maravilha tem como objetivo promover requalificação urbana, através de uma revitalização urbanística da região portuária do Rio de Janeiro (BERNARDES; MESQUITA, 2015).

### **3.3 Monotrilho**

Esta seção expõe a definição, as características (infraestrutura viária, estações, veículos, capacidade, sistemas de informação), o custo, financiamento e prazo, bem como os impactos ambientais e visuais do Monotrilho.

#### **3.3.1 Definição e caracterização**

Pasqualetto e Souza (2014) definem o monotrilho como um VLT ou VLP (Veículo Leve sobre Pneu), cuja característica básica, em relação ao deslocamento, é a movimentação sobre um único trilho. Quando este modo se apresenta de forma suspensa do solo, facilita o processo de intervenção na malha urbana, uma vez que a ocupação do espaço viário é reduzida. Esse sistema transpassa barreiras físicas com uma maior simplicidade devido a facilidade de

---

<sup>15</sup> Catenária: via área eletrificada através da qual as composições são alimentadas. A energia elétrica é conduzida da catenária à composição, através de um captor de corrente elétrica, posicionado no teto da composição (RIBEIRO, 2015).

elevação e estrutura delgada. Outro ponto positivo, segundo os autores, é que as composições não cruzam com outros modais de transportes, o que evita acidentes. Mesmo assim, ainda é possível integrar essa tecnologia com outros modos de forma objetiva.

Segundo a *Monorail Society*, o monotrilho é um tipo de VLT, no entanto, não circula em um par de trilhos como as ferrovias tradicionais, mas sim em um único trilho, que pode ser metálico ou em concreto armado. Além disso, são movidos a energia elétrica e podem usar rodas metálicas, rodas com pneus de borracha ou levitação magnética para se locomover (OLIVEIRA, 2009). Já Garcia (2014, p. 27-28) chama atenção para a variedade de significados que o termo “monotrilho” possui – é utilizado como sinônimo de modo de transporte, tecnologia e tipo de veículo, erroneamente. O autor justifica sua ideia da seguinte forma:

Um modo de transporte é definido pelo conjunto particular de seus atributos, agrupados em três classes: direito de via (também nível de compartilhamento ou segregação de via); tecnologia; e tipo de serviço (VUCHIC, 2007). Apesar de todos os sistemas de monotrilho operarem em via exclusiva (mesmo direito de via), há uma significativa variação entre eles, quanto ao tipo de serviço, e também quanto à tecnologia – assim, a denominação “monotrilho” abarca uma diversidade de modos de transporte. [...]

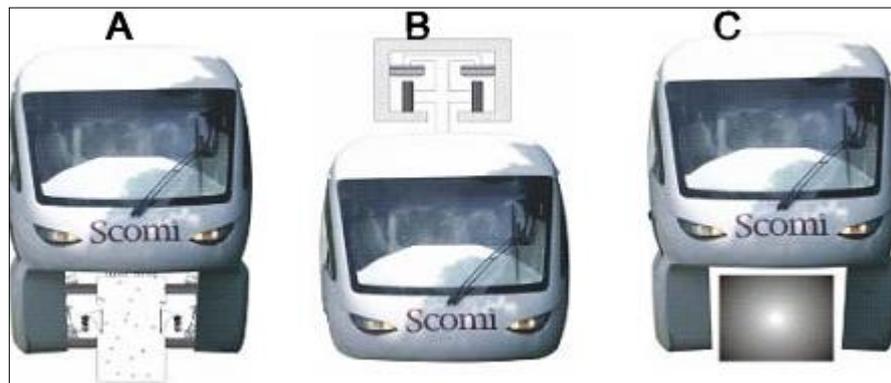
Ainda de acordo com Vuchic, entende-se por tecnologia a combinação de quatro atributos mecânicos do conjunto veículo-via: tipo de suporte, tipo de guia, propulsão e controle. As duas tipologias mais comuns de monotrilho são definidas (e diferenciadas) pelo tipo de suporte: os monotrilhos suspensos [...] e os chamados *straddle beam*, ou encavalados. A própria diferenciação em termos de suporte já é suficiente para se afirmar que monotrilho não é sequer uma tecnologia. O mesmo autor afirma que “o termo monotrilho engloba uma diversidade de sistemas que possuem como característica comum o fato de que os veículos correm por (ou sob) uma via constituída de um único eixo [...]”.

Assim, para o Garcia (2014), a definição mais adequada é a seguinte: o monotrilho pode ser entendido como “um grupo de tecnologias de transporte, tendo por característica comum dispor de um eixo viário singelo que constitui, ao mesmo tempo, o guia e o suporte do veículo que nele transita”. Herdy *et al.* (2012 *apud* GARRIDES *et al.*, 2016) caracteriza o monotrilho como um meio de transporte em que a estrutura de sustentação é o próprio trilho-guia. Além disso, por utilizar material rodante mais leve, a estrutura física do sistema é mais delgada, o que reduz os custos de construção.

Quanto a infraestrutura viária, Pasqualetto e Souza (2014) destacam que apesar das aplicações terrestres ou subterrâneas, o monotrilho é mais conhecido pelos exemplos suspensos, devido a sua característica de ocupar menos espaço viário. O espaço ocupado pelos elevados se restringe aos pilares de sustentação e a largura da via é determinada pelo tamanho do veículo. Em muitos casos, os monotrilhos são alocados nos canteiros centrais da avenida, o que reduz a interferência no sistema viário e a necessidade de desapropriações.

Os trilhos guias dos monotrilhos podem ser de vários tipos (Figura 6), no entanto, há uma predominância dos monotrilhos em vigas de concreto devido aos menores custos de implantação, manutenção e operação (OLIVEIRA *et al.*, 2010). No sistema tipo *Straddle*, a base do veículo se encaixa em uma “viga trilho” construída no espaço acima da via e a composição corre com o uso de pneus de borracha. Já o tipo Suspense, como sugere o nome, o veículo fica suspenso por uma viga construída acima da via, ou seja, roda e trilhos se encontram acima do veículo – normalmente é a opção que possui altura mais alta (SPTRANS, 2012; GARCIA, 2014). No último caso, a interação de ímãs entre o veículo e a via eleva ligeiramente a composição e também a impulsiona (KENNEDY, 2004).

**Figura 6** - A: tipo *Stadle Beam* (viga em concreto pré-moldado); B: Suspense Invertido; C: Levitação Magnética



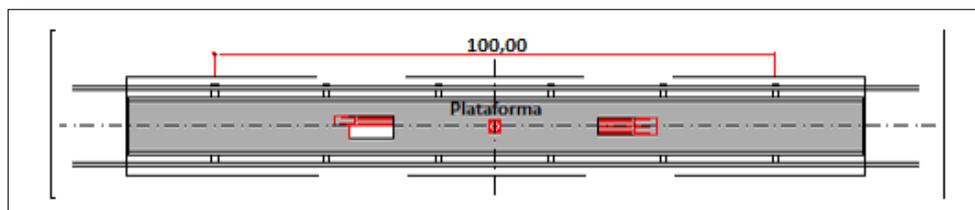
Fonte: Scomi Rail Corporation (2010 *apud* OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Segundo a SPTRANS (2012), a largura total das vias (binário) do monotrilho está entre 6,5 e 7,0 metros. Além disso, deve existir um espaço livre em relação ao nível do solo, na ordem de 10 a 15 metros, para permitir a circulação de veículos. Em relação ao tamanho das estações, o texto destaca que esse valor varia consoante o comprimento das composições e pelo volume de passageiros, que é obtido em uma projeção de demanda por transporte. O comprimento da plataforma inclui o comprimento do veículo e 10 metros de margem, isto é, caso a composição

apresente 90 metros de extensão, o comprimento mínimo da plataforma deve ser de 100 metros. O texto ainda aborda sobre a necessidade de existir uma faixa livre de 6 metros ao redor da estação para permitir as atividades dos bombeiros na sua proximidade. E uma folga de 10 metros, no mínimo, entre a parede externa da estação e o edifício mais próximo de forma a “evitar o sentimento de opressão devido à existência da estação sobre a via”.

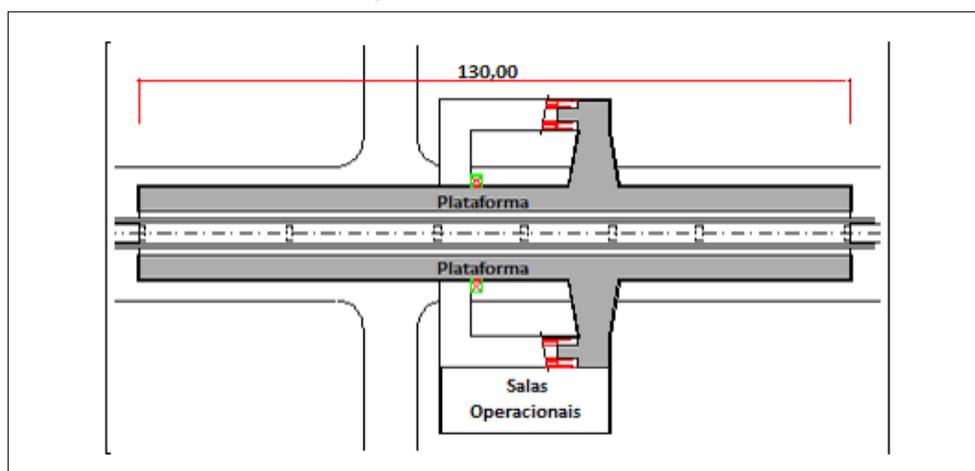
Kennedy (2004), destaca que as estações se encontram normalmente em forma elevada, mas também podem ser subterrâneas ou a alguns metros acima do nível do solo. Além disso, o autor informa que quando houver veículos sob a via, a altura mínima recomendada da coluna é de aproximadamente 5 metros. Contudo, há uma tendência em utilizar colunas mais altas, por volta de 10 a 12 metros para reduzir o impacto visual da guia e melhorar a visão dos passageiros. Quanto à disposição, as plataformas podem ser centrais ou laterais (Figuras 7 e 8, respectivamente).

**Figura 7** - Plataforma central ou ilhada



Fonte: SPTRANS (2012).

**Figura 8** - Plataforma lateral



Fonte: SPTRANS (2012).

A distância entre as estações é aproximadamente entre 1,1 km e 1,2 km (SPTRANS, 2012). Para Parekh *et al.* (2013), a distância mínima pode atingir um valor de 0,5 quilômetro e

um máximo de 3,5 quilômetros. No entanto, Garcia (2014) afirma que a distância entre as estações está relacionada com o desempenho de aceleração e frenagem. Os monotrilhos necessitam de deslocamentos maiores para vencer a inércia, o que impede a implantação de estações muito próximas. Assim, a maioria das linhas existentes apresentam uma distância mínima de 1 km entre as paradas devido a esse desempenho de marcha do monotrilho.

Os veículos do monotrilho movidos a pneus de borracha podem superar gradientes de 15%. No entanto, gradientes muito íngremes requerem motores mais potentes e são desconfortáveis para os passageiros. Isso significa que inclinações desse porte não são usuais. Os veículos, que possuem largura variável, geralmente, entre 2,64 e 3,0 metros, podem operar a uma velocidade máxima entre 60 e 90 km/h. Outra vantagem está relacionada a vida média dos carros e via circulante, que se encontra em torno de 30 anos, quando há manutenção adequada. Ademais existe um menor risco de descarrilamento, uma vez os veículos “abraçam” as vias circulantes (KENNEDY, 2004). No entanto, essa tecnologia também apresenta inconvenientes em relação a necessidade de evacuação dos veículos, que possui maiores dificuldades frente a outros modos.

Para SPTRANS (2012), com relação à densidade dos passageiros, em condição de lotação total, aplica-se 6 passageiros em pé por m<sup>2</sup>. Nesta condição, a capacidade de transporte das composições com 6 e com 8 veículos é de 1.000 e 1.300 passageiros por veículo, respectivamente. Ou seja, cada veículo apresenta capacidade para cerca de 164 passageiros. De acordo com Oliveira (2009), a capacidade de cada veículo, bem como a velocidade das composições e suas respectivas configurações variam segundo o fabricante (Tabela 13).

**Tabela 13** - Características do monotrilho segundo o fornecedor

Características	Fornecedores		
	Bombardier	Hitachi	Scomi
Capacidade por veículo	224 a 350	98 a 440	139
Velocidade máxima (km/h)	80	80	90
Configurações	Composição com até 6 veículos	Composição com até 9 veículos	Composição com até 4 veículos
Projeto	Las Vegas, EUA – 5000 passageiros/hora (composição com 4 carros); 16000 passageiros/hora (composição com 6 carros)	Chongqing, China – 36000 passageiros/hora (composição com 9 carros)	Kuala Lumpur, Malásia – 3000 passageiros/hora (composição com 2 carros)

Fonte: adaptado de Bombardier Transportation, Hitachi Rail e Scomi Rail ([20--?] *apud* OLIVEIRA, 2009).

Segundo Garcia (2008), a capacidade do monotrilho varia entre 2.000 e 50.000 passageiros por hora por direção. Kennedy (2004) apresenta valores entre 5.000 e 20.000

passageiros por hora por sentido (4 passageiros/m<sup>2</sup>). Se considerarmos uma densidade maior de passageiros, como 6 passageiros/m<sup>2</sup> (valor mais utilizado), a capacidade aumentaria para 7.500 e 30.000 passageiros por hora por direção. Já Oliveira (2009) destaca que a capacidade típica do sistema varia entre 3.000 e 50.000 passageiros por hora. Os autores apresentam valores com uma grande variação na capacidade de transporte do monotrilho.

Até 2010, dos cerca de 300 monotrilhos implantados no mundo, pouco menos de 150 permaneciam em operação. Desse grupo, pelo menos, 30 linhas servem exclusivamente de acesso a locais específicos como aeroportos e centro de eventos, por exemplo. Assim, dentro de um universo de 300 monotrilhos, apenas 20 casos podem ser classificados como equipamento de transporte urbano regular. Ainda assim, boa parte apresenta pequeno porte – menos de 5 quilômetros de extensão e capacidade de transporte inferior a 10.000 passageiros/dia (GARCIA, 2014). De acordo com o autor, se excluirmos as linhas com as duas características anteriores (menor que 5 km e capacidade inferior a 10.000 usuários/dia), chega-se a uma lista de 12 linhas em operação até 2013 (Tabela 14).

**Tabela 14** - Linhas de monotrilho com caráter de transporte urbano

Linha	Ano de inauguração	Extensão (km)	Nº de estações	Distância entre as estações (km)	Headway (minutos)	Capacidade (passageiros/dia)
Wuppertal (Alemanha)	1901	13,3	20	0,7	2,5	82.000
Las Vegas (EUA)	2004	6,3	7	1,1	4,0	30.000
Tóquio (Japão)	1964	17,8	11	1,8	3,3	120.000
Shônan (Japão)	1970	6,6	8	0,9	7,5	30.000
Kitakyushu (Japão)	1985	8,8	13	0,7	6,0	31.700
Chiba (Japão)	1988	15,5	18	0,9	10,0	40.000
Osaka (Japão)	1990	28,0	18	1,6	6,5	100.000
Tama (Japão)	1998	16,0	19	0,9	10,0	92.700
Naha/Okinawa (Japão)	2003	12,8	15	0,9	6,0	35.000
Kuala Lumpur (Malásia)	2003	8,6	11	0,9	5,0	65.000
Chongqing – Linha 2 (China)	2005	18,0	18	1,1	3,5	500.000
Chongqing – Linha 3 (China)	2011	39,1	30	1,3	2,0	500.000

Fonte: adaptado de Garcia (2014) e de Monorail Society [20--?].

No Brasil, as três linhas de monotrilho de São Paulo estão em andamento. A Linha 15 ou Prata começou a operar em 2014, no entanto, não está concluída. A linha 17 ou Ouro não está em operação, mas as obras foram iniciadas e a linha 18 ou Bronze não tem previsão para começar (GIANCOLA *et al.*, 2016; QUINTELLA, 2016; VIA TROLEBUS, 2016b).

Além das linhas apresentadas nas tabelas, a *Monorail Society* também destaca outras linhas em termos de capacidade de transporte: Walt Disney World, Flórida (EUA), Da Nang (Vietnã), Newark International Airport (EUA), Dusseldorf International Airport (Alemanha), Alton Towers (Inglaterra) e Qom (Irã). Dessas seis linhas, apenas as duas últimas apresentam caráter de transporte urbano (Tabela 15). As demais estão voltadas para o lazer e como acesso a locais específicos. É importante destacar que foi realizado um levantamento de 54 linhas, no entanto, as 36 que não foram aqui citadas ou apresentam baixa capacidade ou tais valores não foram encontrados.

**Tabela 15** - Linhas de monotrilho com finalidades variadas<sup>16</sup>

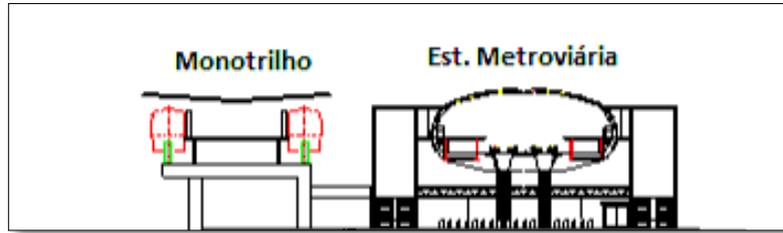
<b>Linha</b>	<b>Ano de inauguração</b>	<b>Extensão (km)</b>	<b>Nº de estações</b>	<b>Distância entre as estações (km)</b>	<b>Capacidade</b>	<b>Finalidade</b>
Walt Disney World, Florida, USA	1971	23,6	6	4,7	150000 passageiros/dia	Turismo/Lazer
Newark International Airport, New Jersey, USA	1996	4,8	8	0,7	33000 passageiros/dia	Aeroporto
Dusseldorf International Airport, Germany	2002	2,5	4	0,8	11000 passageiros/dia	Aeroporto
Alton Towers, England	1987	3,2	2	3,2	4.800/hora	Transporte urbano
Da Nang, Vietnam	2016	3,0	3	1,5	2000/hora	Turismo/Lazer
Qom, Iran	2014	6,2	8	0,9	12.000/pphpd	Transporte urbano

Fonte: adaptado de Netleland (2014) e Monorail Society [20--?].

Outra característica do monotrilho é o pré-pagamento da tarifa, ou seja, a compra do bilhete é realizada anteriormente ao embarque, o que reduz o tempo de permanência e eleva a velocidade operacional. O monotrilho também permite a integração física e tarifária com outros sistemas de transporte (Figura 9). As estações de integração com conexão e transferência para outros modos oferecem diferentes alternativas de transporte e ampliam o leque de opções para os usuários. SPTRANS (2012) recomenda o uso de serviço de informações nas estações. Tais informações são transmitidas aos passageiros através de alto-falante e monitores.

<sup>16</sup> pphpd – passageiros por hora por direção

**Figura 9** - Integração física e tarifário do monotrilho com o metrô



Fonte: SPTRANS (2012).

Diante do que foi levantado, entende-se que a característica de destaque do monotrilho está relacionada a necessidade de um espaço relativamente menor para sua implantação. E esse ponto é um dos grandes embates atuais quanto à introdução de vias exclusivas para o transporte público. No entanto, os poucos exemplos de monotrilhos como transporte urbano de massa ao redor do mundo dificultam a preferência por esse tipo de transporte. No Brasil, por exemplo, apenas uma linha de monotrilho está em operação, mas não concluída. De qualquer forma, se o monotrilho for capaz de atender a demanda atual e futura do eixo viário aqui estudado, ele deve ser incorporado a lista de opções, que buscam uma melhoria na mobilidade dos usuários da região.

### 3.3.2 Custo e financiamento

Segundo Oliveira *et al.* (2010), o custo médio de implantação do monotrilho está entre R\$ 207,4 e R\$ 362,9 milhões por quilômetro<sup>17</sup> e geralmente, o custo previsto com desapropriação é baixo devido ao menor espaço que o sistema necessita. Assim, os custos de implantação de VLT podem se tornar maiores em consequência da existência de trechos subterrâneos, vias elevadas e maior necessidade de desapropriações. Para Parekh *et al.* (2013),

<sup>17</sup> O valor foi convertido em real com a cotação do dólar comercial do dia 15/09/2016 = R\$3,30 aproximadamente, através do <http://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/dolar-comercial-estados-unidos/?historico>. Posteriormente, o valor foi corrigido com base no índice de inflação oficial do Brasil - IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo). A correção foi de 57,10% no período de jan/2010 a set/2016. A inflação foi obtida através de uma calculadora online (<http://economia.uol.com.br/financas-pessoais/calculadoras/2013/01/01/indices-de-inflacao.htm>).

o custo do monotrilho está em torno de R\$ 82,2 milhões por quilômetro<sup>18</sup>. Já Medeiros (2012), considerada o custo do monotrilho equivalente a R\$ 97,5 milhões por quilômetro<sup>19</sup>.

Em São Paulo, na linha 15 (Prata) houve um aumento de 71,8% do valor previsto. O preço por quilômetro da linha subiu de R\$ 206 milhões para R\$ 354 milhões. No entanto, apenas 3 quilômetros da extensão total está operação e a previsão do novo prazo de conclusão será em 2019. Já na linha 17 (Ouro), o valor passou de R\$ 177 milhões para R\$ 325 milhões por quilômetro, o que corresponde a um aumento de 83,6 %. A linha que foi prometida para a Copa do Mundo FIFA 2014 só ficará pronta em 2018 (GIANCOLA *et al.*, 2016; QUINTELLA, 2016). A Tabela 16 apresenta os custos de algumas linhas de monotrilho. Os valores estão em milhões de reais por quilômetro.

**Tabela 16** - Custos de linhas de monotrilho

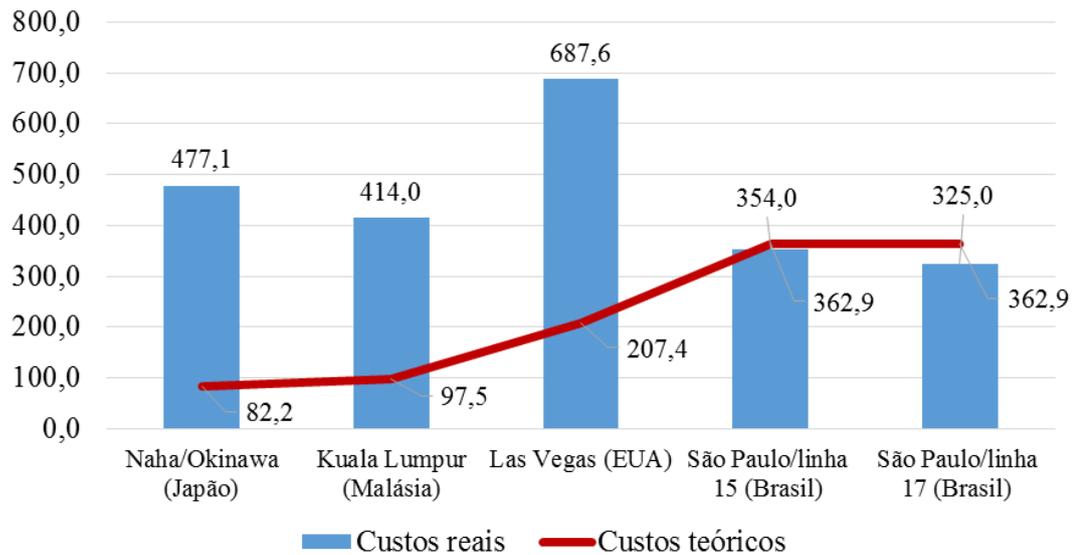
<b>Linha</b>	<b>R\$ milhões/km</b>
Naha/Okinawa (Japão)	477,1
Kuala Lumpur (Malásia)	414,0
Las Vegas (EUA)	687,6
São Paulo/linha 15 (Brasil)	354,0
São Paulo/linha 17 (Brasil)	325,0

Fonte: adaptado de Kennedy (2004) e Giancola *et al.* (2016).

Ao comparar os valores da Tabela 16 com os custos teóricos apresentados (R\$ 82,8; R\$ 97,5; R\$ 207,4 e R\$ 362,9 milhões por quilômetro), percebe-se que as duas linhas de São Paulo são as únicas que estão abaixo do valor teórico máximo. No entanto, essas linhas ainda não estão concluídas e existe a possibilidade de o custo aumentar e ultrapassar os valores aqui expostos. Essa comparação pode ser melhor entendida no gráfico a seguir.

<sup>18</sup> O valor foi corrigido com base no índice de inflação oficial do Brasil - IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo). A correção foi de 31,59% no período de jan/2013 a set/2016. A inflação foi obtida através de uma calculadora online (<http://economia.uol.com.br/financas-pessoais/calculadoras/2013/01/01/indices-de-inflacao.htm>).

<sup>19</sup> O valor foi corrigido com base no índice de inflação oficial do Brasil - IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo). A correção foi de 39,27% no período de jan/2012 a set/2016. A inflação foi obtida através de uma calculadora online (<http://economia.uol.com.br/financas-pessoais/calculadoras/2013/01/01/indices-de-inflacao.htm>).

**Gráfico 9** - Comparação entre os custos reais e teóricos do monotrilho

Fonte: adaptado de Parekh *et al.* (2013); Medeiros (2012); Oliveira *et al.* (2010); Kennedy (2004); Giancola *et al.* (2016).

De acordo com Oliveira (2009), o tempo de implantação do monotrilho pode ser de até 50% do tempo de um sistema VLT e com um menor impacto no trânsito da região. No entanto, Garcia (2014) coloca que boa parte dos monotrilhos de maior porte levaram bastante tempo para serem concluídos. Segundo o autor, baseado nas experiências de monotrilhos com maior capacidade, não é possível afirmar que a construção de monotrilhos é significativamente mais rápida que a de linhas de metrô subterrâneas. A Tabela 17 expõe o tempo de construção de alguns monotrilhos.

**Tabela 17** - Tempo de construção de alguns monotrilhos

Linha	Tempo de construção	Extensão (km)	Ritmo (km/ano)
Kitakyushu (Japão)	7 anos	8,8	1,3
Chiba (Japão)	18 anos	15,5	0,9
Osaka(Japão)	15 anos	21,8	1,5
Tama (Japão)	10 anos	16,0	1,6
Naha/Okinawa (Japão)	7 anos	12,8	1,8
Kuala Lumpur(Malásia)	5 anos	8,6	1,7
Chongqing – Linha 2 (China)	6 anos	18,0	3,0
São Paulo – Linha 15	4 anos	3,0	0,8

Fonte: adaptado de Garcia (2014).

Quanto ao financiamento das linhas de monotrilho, o poder público pode buscar a formação de Parcerias Público-Privadas (PPP). Segundo Oliveira (2009), esse é o caso do monotrilho de Las Vegas (EUA), Chongqing (China) e Kuala Lumpur (Malásia). Demery (2005 *apud* GARCIA, 2014) levanta que todas as linhas de monotrilho do Japão foram construídas através de PPP, com exceção da de Tóquio. Assim, o ente privado foi responsável pelo material rodante e a construção da via permanente e estações. O Estado, por sua vez, assumiu os custos de urbanização, obras viárias associadas e desapropriações. Garcia (2014, p. 46-47) destaca que:

A análise de custos, evidentemente, não pode se restringir apenas ao capital fixo (de implantação da linha). É necessário incluir o capital variável, consumido ao longo da operação. Muitos são os indícios de que o custo operacional dos monotrilhos é demasiadamente alto. Em boa parte das cidades que possuem monotrilhos urbanos há uma significativa diferença no valor de suas tarifas em relação aos demais modos. Embora tal afirmação não seja suficiente para sustentar a tese de que sua operação é mais cara (depende de outros fatores, entre os quais o nível de subsídios ou o perfil de viagens que atendem) – ela é um indício disso, ainda mais se associado ao fato de que muitos monotrilhos atravessaram crises financeiras por não conseguirem cobrir os custos com as receitas de bilhetagem.

No entanto, como o acesso ao custo operacional do monotrilho não foi possível, o foco dado até aqui envolveu apenas o custo de implantação das linhas. No Brasil, em geral, a parte privada fica responsável pela implantação e manutenção do eixo e tem o direito de operar por um período de tempo. De acordo com Russo e Geraque (2016), em São Paulo, a operação do monotrilho da linha 15 foi concedida à iniciativa privada. A privatização foi definida pelo Estado como forma de tentar obter recursos para conclusão das obras.

### 3.3.3 Impactos ambientais e visuais

A principal vantagem do monotrilho é o espaço necessário para sua implantação. A maioria dos autores estudados (PASQUALETTO; SOUZA, 2014; KENNEDY, 2004; OLIVEIRA *et al.*, 2010; GARRIDES *et al.*, 2016) destacam a utilização de uma área menor em comparação com as outras opções de transporte existentes. Nesse sentido, Pasqualetto e Souza (2014) destacam que os monotrilhos suspensos conseguem superar barreiras físicas sem maiores problemas devido a sua facilidade de elevação e estrutura delgada. Tais características

facilitam o processo de intervenção na malha urbana, uma vez que reduzem a ocupação do espaço viário. Os autores ainda destacam o fato das composições não cruzarem com outros transportes, públicos e/ou privados, o que evita acidentes. Entretanto, isso não impede que haja integrações físicas e tarifárias entre eles. Outro aspecto positivo, de acordo com Oliveira (2009) é a menor necessidade de desapropriação, já que em geral utilizam os canteiros centrais das vias.

Em relação aos aspectos ambientais, a maior parte dos monotrilhos implantados utilizam como recurso energético a energia elétrica, o que evita a queima de combustíveis fósseis e conseqüentemente, reduz a emissão de gás carbônico no meio ambiente. Outro atributo importante é que os monotrilhos mais modernos possuem normalmente pneus de borracha, que rolam por cima e pelos lados dos trilhos e fazem a composição se movimentar, bem como promovem mais estabilidade. Assim, os monotrilhos se constituem em um sistema de propulsão silencioso e previnem a poluição sonora (KENNEDY, 2004; ZANOTELLI; GUEDES, 2007 *apud* PASQUALETTO; SOUZA, 2014; MEDEIROS, 2012).

Nesse contexto, Oliveira *et al.* (2010) aborda que o nível de ruído do monotrilho é o mesmo do VLT e está entre 60 a 80 decibéis (dB), valor abaixo do estipulado para BRT e metrô (70 a 90 dB e 75 a 100 dB, respectivamente). Segundo os autores, esses são valores que promovem um baixo nível de ruído e conforto ao usuário. Além disso, afirmam que a relação emissão de carbono por passageiro transportado é baixa (metrô – baixa, VLT – média, BRT – alta) e a interferência no trânsito é mínima (se elevado).

Entretanto, o monotrilho gera um maior impacto na paisagem urbana em função das vias elevadas (OLIVEIRA, 2009). Garcia (2014) e Medeiros (2012) corroboram com esse ponto de vista ao colocar que os monotrilhos provocam significativa obstrução visual, ainda que menor do que os outros elevados. Garcia (2014) ainda acrescenta que os efeitos positivos desse aspecto são reduzidos quanto maior for a capacidade do sistema. De fato, isso ocorre devido ao maior carregamento, que exige composições e estações maiores e conseqüentemente, estruturas mais robustas. Para o autor, “a única vantagem dos parâmetros geométricos menos restritivos do monotrilho é a maior possibilidade de se compatibilizar seu traçado com eixos viários existentes”. Por essa razão, na maioria dos casos, os monotrilhos estão limitados ao desenho geométrico das vias que antecederam sua implantação. Contudo, Isoda (2013) discorda dessa

ideia e afirma que é um equívoco de planejamento adotar “um sistema que tem como premissa de inserção urbana se submeter à estrutura viária existente”.

### 3.4 Metrô

Esta seção expõe a definição, as características (infraestrutura viária, estações, veículos, capacidade, sistemas de informação), o custo, financiamento e prazo, bem como os impactos ambientais e visuais do Metrô.

#### 3.4.1 Definição e caracterização

Vuchic (2002) entende que o metrô é um sistema de transporte ferroviário elétrico que opera em vias totalmente segregadas. Possui plataforma em nível e pré-pagamento da tarifa, que é realizado fora da área de embarque. Esses fatores permitem o embarque/desembarque de um alto volume de passageiros em um curto intervalo de tempo (até 40 pessoas por segundo). Essas características contribuem para a alta eficiência do metrô e velocidade de deslocamento.

Segundo Oliveira *et al.* (2016), o transporte metroviário é caracterizado como um transporte de massa devido à sua alta capacidade de oferta de lugares. É composto basicamente pelas composições, vias de rolamento com toda sua infraestrutura e estações. Para Hadlich *et al.* (2012), o metrô pode ser definido de acordo com as características comuns de diversas redes de metrô distribuídas pelo mundo:

- Alta capacidade de transporte;
- Linhas segregadas;
- Rotas curtas que atendem principalmente os centros da cidade;
- Tração elétrica;
- Não emite gases poluentes;
- Bem público, geralmente é administrado pelo Estado e em alguns casos, operado por empresas privadas;
- Possui segurança operacional: automação do sistema e redução das possibilidades de erro humano;
- Rapidez, conforto, limpeza e bom atendimento.

Os autores ainda destacam que as redes de metrô atuam como uma “espinha dorsal” do transporte urbano de uma cidade devido à integração com os outros tipos de transporte de massa. Mesmo com todos os aspectos positivos aqui citados, Cervero (1998 *apud* Vaz *et al.*, 2014) afirma que os sistemas de metrô só se justificam em áreas densamente povoadas, uma vez sua implantação demanda obras pesadas de engenharia, os custos com desapropriações são elevados e possui um material rodante mais caro. Nesse sentido, Vuchic (2002) coloca que para um baixo volume de passageiros e áreas de baixa densidade, o metrô é menos eficiente do que as linhas de ônibus, que tem uma maior flexibilidade de alterar os trajetos das linhas. Para Herdy *et al.* (2012, p. 325), o metrô pode ser definido como um transporte

[...] inteiramente segregado; pode ser em superfície, em elevado ou subterrâneo; mais comumente sobre trilhos, pode ser também sobre pneus; sempre com tração e alimentação elétrica para tirar proveito da maior capacidade de aceleração/desaceleração; com espaçamento entre estações de cerca de 700/800 m, apresenta viabilidade em áreas adensadas, com demandas acima de 40 mil passageiros/h/sentido. Demanda vultosos investimentos em infraestrutura, material rodante e sistemas e longo tempo de implantação, o que deve ser compensado com o baixo custo de operação e as externalidades positivas que proporcionam grande viabilidade econômica no longo prazo.

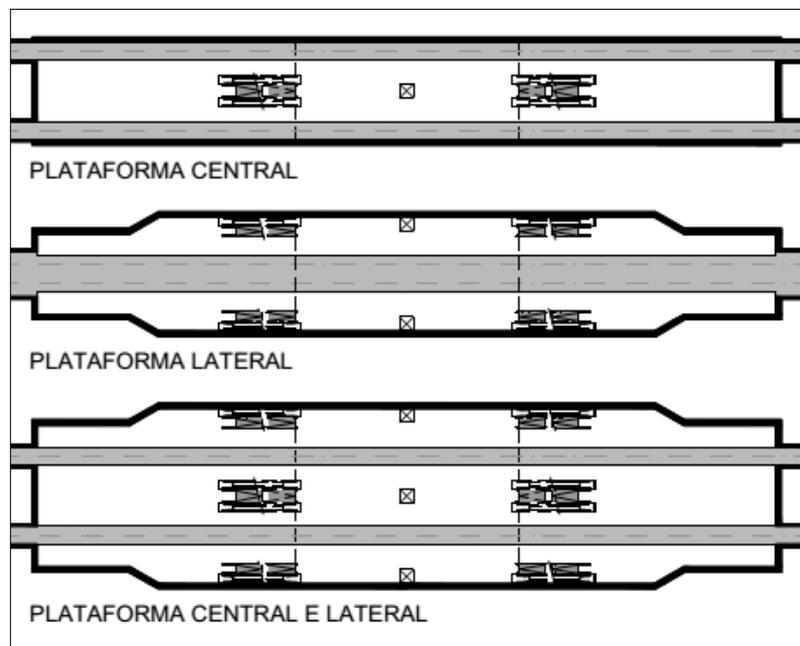
O metrô transita em faixas exclusivas e totalmente segregadas, com velocidade e capacidade de carga superior à dos demais transportes de massa (VAZ *et al.*, 2014). Pode ser de superfície, elevado ou subterrâneo. Como a implantação do metrô se justifica em áreas densas, que por sua vez, apresentam mais obstáculos, as vias são em grande parte subterrâneas. No entanto, Hadlich *et al.* (2012, p. 84) colocam que há uma necessidade de áreas na superfície para diversos fins:

Apesar de o sistema metroviário normalmente ser subterrâneo, há necessidade de áreas na superfície para os acessos às estações, poços de ventilação e saídas de emergência, além de áreas para canteiros de obras. Normalmente, a maior dificuldade é locar o pátio de estacionamento e manutenção dos trens de uma linha, visto que isso demanda grandes áreas urbanas em locais densamente povoados da cidade.

Quanto a localização, as plataformas das estações podem ser laterais, centrais e mista com duas laterais e uma central (Figura 10). A primeira é a mais utilizada e a segunda é aconselhável para picos de carregamentos unidirecionais, já que permite a otimização do espaço

de circulação e a utilização de menor número de escadas rolantes – equipamento de alto custo. O último caso é recomendado para estações terminais de integração e com alta demanda de usuários – o embarque é realizado por um lado do veículo e o desembarque pelo outro, o que facilita o fluxo dentro da estação. O comprimento das plataformas, por sua vez, varia consoante o veículo utilizado. Em São Paulo, por exemplo, esse valor varia entre 132 e 136 metros. Já a largura de uma plataforma “deve ser considerada em função das características da linha e da demanda prevista, mas sempre considerando um mínimo de quatro metros para a zona de acumulação, com aproximadamente dois passageiros por metro quadrado” (HADLICH *et al.*, 2012).

**Figura 10 - Configurações das plataformas**



Fonte: Hadlich *et al.* (2012).

Em geral, no centro das cidades as estações são subterrâneas e pouco espaçadas. À medida que se afastam do centro, a distância entre as estações aumenta e o percurso pode ser realizado pela superfície (VAZ *et al.*, 2014; ALVIM, *et al.*, 2010). Para Vaz *et al.* (2014), o espaçamento entre as estações varia entre 0,7 km e 1,5 km. Contudo, Hadlich *et al.* (2012) coloca que atualmente os espaçamentos entre as estações não são definidos por uma distância média. Existe uma ponderação entre distância e condições urbanas, como topografia e polos de demanda, ou seja, em áreas com mais demanda e polos comerciais, as estações são mais próximas – critério utilizado por vários metrô do mundo. Fatores como a área a ser desapropriada, geologia da região (o tipo de solo afeta o método construtivo), profundidade do

túnel e integração com outros sistemas de transportes influenciam diretamente na definição do local das estações. Em Paris, por exemplo, a distância média entre as estações é relativamente pequena e fora do comum, com cerca de 300 a 500 metros.

Os autores ainda destacam que o projeto de uma estação deve apresentar as seguintes características: 1) acessos múltiplos, situados em cruzamentos de ruas importantes, avenidas largas ou de muito trânsito, e sempre que possível, optar por praças face aos passeios comuns; 2) o *hall* de distribuição deve permitir ao usuário escolher por qualquer sentido das linhas; 3) as plataformas não devem estar em curva ou desnível, pois cria-se um vão perigoso entre o veículo e a plataforma; e 4) as estações devem ser acessíveis de acordo com as normas específicas de cada país. Já o dimensionamento da estação deve levar em consideração o horário de pico e estimativas de crescimento futuro, com previsões de cerca de 20 anos. Esse dimensionamento inclui o carregamento da estação e das integrações.

Além do espaço necessário para implantação da via e estações, deve-se incluir a área de construção de um pátio de manobras e oficinas em uma das extremidades da linha, que requer um ambiente de cerca de 250.000 m<sup>2</sup> (NTU, 2009). O texto destaca ainda que outro aspecto negativo é o “efeito corte” no tecido urbano, que acaba por dividir a região.

Os veículos são espaçosos, confortáveis e com vida útil de 30 a 40 anos. Além disso, possuem propulsão elétrica e uma ótima performance de aceleração/desaceleração. Suas vias segregadas permitem um trem com até 10 carros (VUCHIC, 2002). A composição do metrô tem uma limitação de 4% de rampa e curvas com raio mínimo de 300 metros (HADLICH *et al.*, 2012). Segundo Vaz *et al.* (2014), a velocidade média do veículo geralmente está entre 30 e 40 km/h, mas pode atingir 80 km/h. O metrô da linha 4 (amarela) em São Paulo, por exemplo, possui 132 metros de comprimento e chega a uma velocidade máxima de 80 km/h. Apresenta capacidade total de 1.946 passageiros, sendo 306 sentados e 1.640 em pé, considerando 8 passageiros/m<sup>2</sup> (GRECCO, 2008).

Hadlich *et al.* (2012) afirmam que a capacidade de transporte do metrô deve ser mais de 50.000 passageiros por hora e pode chegar até a 80.000 passageiros por hora em horários de pico. Para esse cálculo o *headway* utilizado foi de 90 segundos e a capacidade de seis passageiros em pé por m<sup>2</sup>. Para Vaz *et al.* (2014), a capacidade do metrô varia entre 15.000 e 80.000 passageiros por hora por direção. NTU (2009) levanta que a capacidade de um metrô,

subterrâneo ou elevado, com 8 trens (2400 passageiros) com *headway* de 90 segundos chega a 96.000 passageiros por hora. Em cidades muito grandes, como Nova Iorque, Tóquio e Moscou, o metrô é o modo básico, fornecendo serviços em uma extensa rede que atende toda a cidade. Em cidades desse porte, nenhum outro modo poderia transportar um alto volume de passageiros de forma eficiente como o metrô (VUCHIC, 2002). A Tabela 18 apresenta informações sobre os sistemas de metrô do mundo.

**Tabela 18** - Sistemas de metrô do mundo<sup>20</sup>

Região Metropolitana	País	Ano de inauguração	Extensão (km)	Estações	Passageiros por dia
Xangai	China	1995	588	364	6.240.000
Pequim	China	1969	554	334	6.740.000
Londres	Inglaterra	1863	402	270	3.210.000
Nova York	EUA	1904	370,4	469	4.530.000
Seoul	Coreia do Sul	1974	326,5	302	6.900.000
Moscou	Rússia	1935	333,6	200	6.550.000
Tóquio	Japão	1927	304,5	290	8.500.000
Madri	Espanha	1919	293	292	1.740.000
Guangzhou	China	1999	263,5	171	5.000.000
Paris	França	1900	219,9	383	4.180.000
Délhi	Índia	2002	214,9	165	1.660.000
Cidade do México	México	1969	201,1	195	4.410.000
Shenzen	China	2004	230,3	149	362.000
Hong Kong	Hong Kong	1979	178	98	3.960.000
Washington	EUA	1976	189,9	95	597.000
Mumbai	Índia	2014	171	73	1.500.000
Chongqing	China	2005	203	118	1.100.000
São Francisco	EUA	1972	166,9	44	304.000
Chicago	EUA	1892	166	153	608.000
Singapura	Singapura	1987	167,4	118	2.180.000
São Paulo	Brasil	1974	78,4	71	2.977.797
Rio de Janeiro	Brasil	1979	55,5	42	638.889
Brasília	Brasil	2001	42	24	170.000
Recife	Brasil	1985	39,7	30	370.000
Porto Alegre	Brasil	1985	33,8	17	228.000
Belo Horizonte	Brasil	1986	28,1	19	210.000
Salvador	Brasil	2014	14,2	10	50.000
Fortaleza	Brasil	2012	43,6	28	23.000
Teresina	Brasil	1989	13	9	15.000

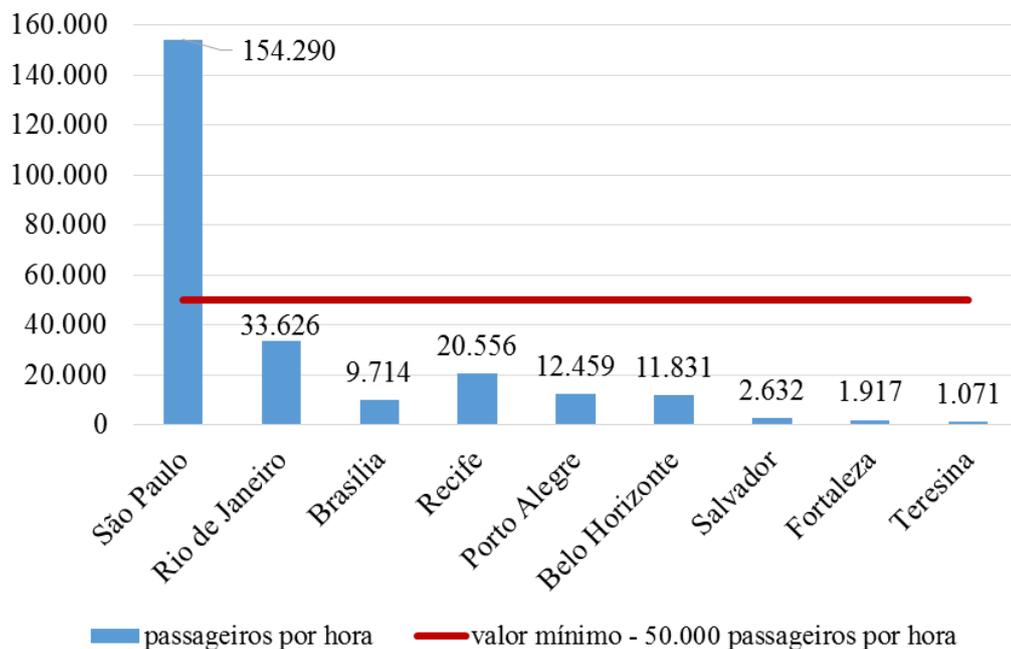
Fonte: adaptado de Vaz *et al.* (2014); São Paulo (2015); MetroRio (2015); Metrô-DF (2013); ViaQuatro (2013); Wanderley (2016); CBTU (2017); CCR Metrô Bahia (2015); Almirante (2016); MetroFor (2017).

É importante perceber que a amplitude desses valores são grandes, pois a capacidade do sistema varia consoante uma série fatores, como o tamanho dos trens, o *headway*, a velocidade

<sup>20</sup> Na cidade do Recife, os dados não incluem as linhas de VLT. No caso de São Paulo, os dados abrangem a linha 1 (azul), linha 2 (verde), linha 3 (vermelha), linha 4 (amarela), linha 5 (lilás).

do veículo etc. Levando em consideração a capacidade técnica mínima e a máxima do sistema aqui levantada (mínimo de 50.000 passageiros por hora e máximo de 96.000 passageiros por hora), percebe-se que esse intervalo de demanda não atende aos valores reais dos sistemas de metrô no Brasil, como pode-se verificar no gráfico seguinte. Com exceção de São Paulo, nenhuma outra cidade brasileira conseguiu atingir o valor mínimo pesquisado (50.000 passageiros por hora) (Gráfico 10).

**Gráfico 10** - Demanda de passageiros por hora dos sistemas de metrô do Brasil<sup>21</sup>



Fonte: adaptado de Vaz *et al.* (2014); São Paulo (2015); MetroRio (2015); Metrô-DF (2013); ViaQuatro (2013); Wanderley (2016); CBTU (2017); CCR Metrô Bahia (2015); Almirante (2016); MetroFor (2017).

Segundo Hadlich *et al.* (2012), outro aspecto fundamental é garantir segurança e conforto aos usuários através de uma iluminação adequada, incluindo a de emergência; comunicação visual apropriada; ventilação, que garanta a necessária troca de ar; piso tátil direcional e de alerta; sistema de som para orientação dos passageiros; piso antiderrapante; sistemas de combate a incêndios; portas de plataforma, entre outros. A comunicação visual tem por objetivo garantir a orientação do fluxo de passageiros, desde a entrada das estações até a plataforma desejada, e posteriormente até a saída.

O Centro de Controle Operacional (CCO) é essencial para o funcionamento do metrô, pois é o local onde toda a movimentação da rede metroviária é operada e regulada através de

<sup>21</sup> Os valores foram calculados com base no horário de funcionamento do metrô de cada cidade.

controladores e computadores. “Um programa controla o desempenho dos trens, o intervalo entre eles, monitora a energia e supervisiona todas as estações e equipamentos do sistema” (HADLICH *et al.*, 2012). Os autores ainda informam que os funcionários do CCO, auxiliados por painéis eletrônicos, acompanham o que acontece no metrô e dessa forma, podem informar qualquer eventualidade ao pessoal operativo nas estações, às cabines dos trens, bem como às torres de controle dos pátios de estacionamento.

As composições são conduzidas por um processo denominado Operação Automática dos Trens (*Automatic Train Operation – ATO*), ou seja, a movimentação dos veículos é controlada por computadores. Entretanto, a habilidade e experiência dos operadores são essenciais caso ocorra alguma anormalidade (presença de um obstáculo ou passageiro na via e objetos ou passageiros presos nas portas das composições). Existe também o modo semiautomático, em que o operador é responsável pela parada do veículo, controle das portas e aceleração e frenagem. Nesta modalidade, se o limite da velocidade permitida for ultrapassado, sua frenagem é acionada automaticamente (HADLICH *et al.*, 2012). É importante destacar que existem linhas de metrô que funcionam sem operador. É o caso do metrô de Dubai e da Linha 4 (amarela) de São Paulo.

De todas as características levantadas de um sistema de metrô duas merecem destaque – grande capacidade de transportar passageiros e deslocamento em vias totalmente exclusivas, sem sofrer interferência do tráfego comum. Tais vantagens são as principais influenciadoras da alta qualidade de serviço citada pelos autores aqui estudados. Talvez o grande inconveniente seja a baixa flexibilidade do sistema frente aos outros e a dependência de outros modos para chegar ao destino. Assim como qualquer outro sistema de transporte, a implantação do metrô necessita de estudos prévios e planejamento adequado a fim de evitar baixa demanda de usuários. Nesse sentido, coloca-se em evidência a demanda atual e futura mínima necessária (50.000 passageiros por hora) para justificar a implantação desse sistema. De acordo com as demandas das atuais redes de metrô distribuídas pelo Brasil, apenas a cidade de São Paulo atendeu esse valor. Contudo, muitas vezes, esses valores teóricos são valorizados pelos defensores dos sistemas de metrô, na prática a capacidade real é diferente.

### 3.4.2 Custo e financiamento

NTU (2009) coloca que apesar de haver grandes variações, que dependem das características locais de cada região, o custo de um metrô está entre R\$ 378,5 e R\$ 811,2 milhões de reais por quilômetro<sup>22</sup>. Segundo o texto, o custo com a implantação representa cerca 99,5% do custo total, seguido do projeto executivo (0,25%), projeto básico (0,22%) e financiamento (0,03%). Para Vaz *et al.* (2014), o custo de implementação varia entre R\$ 184,5 e R\$ 1.435,1 milhões por quilômetro. Soares (2011) informa que durante um seminário internacional sobre mobilidade e sustentabilidade realizado na cidade do Recife (PE), foi apresentado um custo entre 80 e 90 milhões de dólares para construir um quilômetro de metrô – valor que representa hoje cerca de R\$ 391,6 e R\$ 440,5<sup>23</sup>, respectivamente. Oliveira (2009) levanta um custo entre R\$ 432,6 e R\$ 648,9 milhões por quilômetro<sup>24</sup>. E Alouche (2013) aponta valores entre R\$ 304 e R\$ 1085,6 milhões por quilômetro<sup>25</sup>. Como intervalo será adotado valores entre R\$ 184,5 (mínimo) e R\$ 1.435,1 (máximo) milhões por quilômetro.

A tabela 19 apresenta os custos, em milhões de reais por quilômetro, de sistemas de metrô. Os dados foram obtidos em 2008 e 2013. Assim, foram realizados os seguintes

---

<sup>22</sup> O valor foi convertido em real com a cotação do dólar comercial do dia 15/09/2016 = R\$3,30 aproximadamente, através do <http://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/dolar-comercial-estados-unidos/?historico>. Posteriormente, o valor foi corrigido com base no índice de inflação oficial do Brasil - IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo). A correção foi de 63,87% no período de jan/2009 a set/2016. A inflação foi obtida através de uma calculadora online (<http://economia.uol.com.br/financas-pessoais/calculadoras/2013/01/01/indices-de-inflacao.htm>).

<sup>23</sup> O valor foi convertido em real com a cotação do dólar comercial do dia 15/09/2016 = R\$3,30 aproximadamente, através do <http://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/dolar-comercial-estados-unidos/?historico>. Posteriormente, o valor foi corrigido com base no índice de inflação oficial do Brasil - IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo). A correção foi de 48,33% no período de jan/2011 a set/2016. A inflação foi obtida através de uma calculadora online (<http://economia.uol.com.br/financas-pessoais/calculadoras/2013/01/01/indices-de-inflacao.htm>).

<sup>24</sup> O valor foi convertido em real com a cotação do dólar comercial do dia 15/09/2016 = R\$3,30 aproximadamente, através do <http://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/dolar-comercial-estados-unidos/?historico>. Posteriormente, o valor foi corrigido com base no índice de inflação oficial do Brasil - IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo). A correção foi de 63,87% no período de jan/2009 a set/2016. A inflação foi obtida através de uma calculadora online (<http://economia.uol.com.br/financas-pessoais/calculadoras/2013/01/01/indices-de-inflacao.htm>).

<sup>25</sup> O valor foi convertido em real com a cotação do dólar comercial do dia 15/09/2016 = R\$3,30 aproximadamente, através do <http://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/dolar-comercial-estados-unidos/?historico>. Posteriormente, o valor foi corrigido com base no índice de inflação oficial do Brasil - IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo). A correção foi de 31,59% no período de jan/2013 a set/2016. A inflação foi obtida através de uma calculadora online (<http://economia.uol.com.br/financas-pessoais/calculadoras/2013/01/01/indices-de-inflacao.htm>).

procedimentos: 1) os valores foram convertidos em real com a cotação do dólar comercial do dia 15/09/2016 = R\$ 3,30 aproximadamente, através do <http://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/dolar-comercial-estados-unidos/?historico>; 2) os valores foram corrigidos com base no índice de inflação oficial do Brasil – IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo). As correções foram de 73,54% no período de jan/2008 a set/2016 e de 31,59% no período de jan/2013 a set/2016. A inflação foi obtida através de uma calculadora online (<http://economia.uol.com.br/financas-pessoais/calculadoras/2013/01/01/indices-de-inflacao.htm>).

**Tabela 19** - Custo real do metrô em milhões de reais por quilômetro<sup>26</sup>

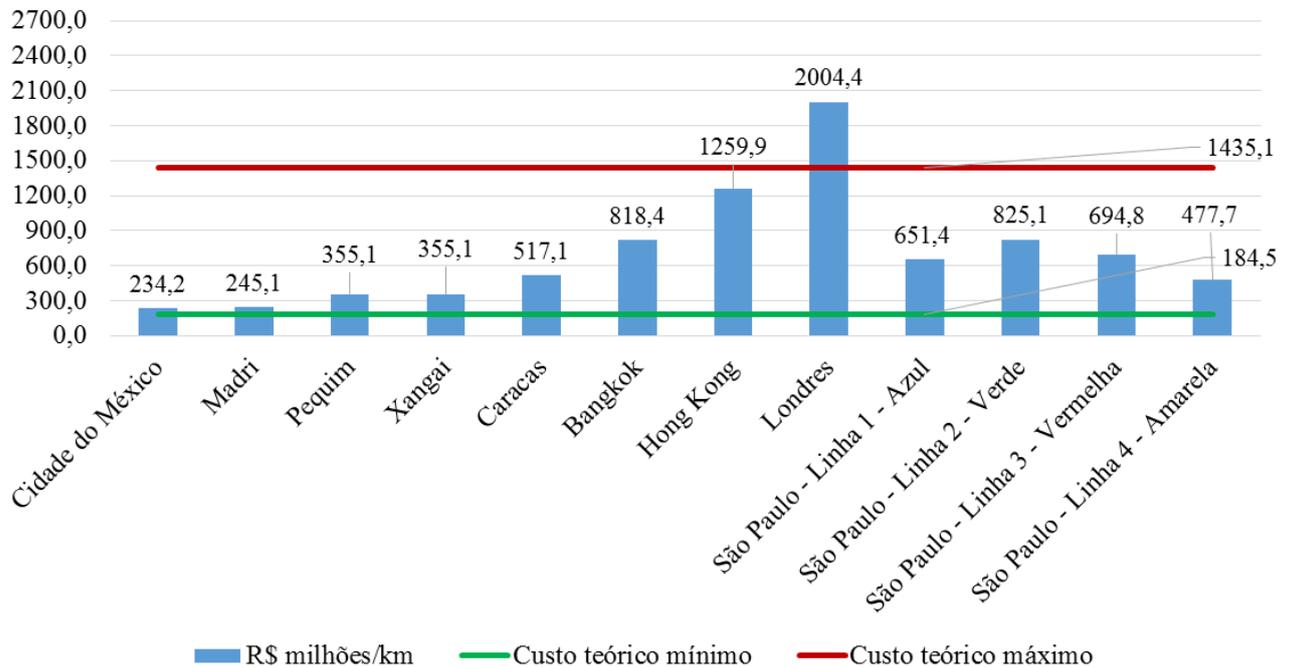
Cidade/Linha	R\$ milhões/km
Cidade do México (Ruta B)	234,2
Madri	245,1
Pequim	355,1
Xangai	355,1
Caracas (Ruta 4)	517,1
Bangkok	818,4
Hong Kong	1259,9
Londres	2004,4
São Paulo – Linha 1 – Azul	651,4
São Paulo – Linha 2 – Verde	825,1
São Paulo – Linha 3 – Vermelha	694,8
São Paulo – Linha 4 – Amarela	477,7

Fonte: Adaptado de Brasil (2008) e Alouche (2013).

De acordo com Alouche (2013), os custos na implantação do Metrô de São Paulo sempre incluíram obras complementares ao sistema, como a construção de terminais de integração, canalização de córregos, implementação de vias públicas etc. O custo apresentado da Linha 4 – Amarela é estimado, uma vez que ainda não está totalmente concluída. Além disso, não foi informado o custo da Linha 5 – Lilás. O gráfico seguinte faz uma comparação entre os custos reais e teóricos mínimo e máximo. Percebe-se que nenhuma cidade pesquisada apresentou custo inferior ao mínimo e São Paulo e Hong Kong têm custos superiores ao teórico máximo. No entanto, é importante destacar a grande diferença entre os custos abordados pelos autores e como isso dificulta a veracidade dos dados - o teórico máximo, por exemplo, é cerca de oito vezes o mínimo.

<sup>26</sup> Custo da Linha 1 – Azul sem a extensão Norte

**Gráfico 11** - Comparação entre os custos reais de implantação do metrô com os custos teóricos mínimo e máximo



Fonte: Brasil (2008); Alouche (2013); NTU (2009); Vaz *et al.* (2014); Soares (2011); Oliveira (2009).

De acordo com a NTU (2009), um relatório da ANTP de 2007 levantou que as despesas com os custos operacionais consomem cerca de R\$ 1.238,2 milhões<sup>27</sup> por ano. Ainda está destacado a média ponderada do custo operacional por passageiro do metrô de São Paulo, Porto Alegre e Belo Horizonte, que é de R\$ 5,78 em valores atuais. O material rodante, por sua vez, pode custar entre R\$ 8,2 milhões – R\$ 20,5 milhões<sup>28</sup> (VAZ *et al.*, 2014). Já Hadlich *et al.* (2012) abordam sobre o alto custo com desapropriação e destacam a necessidade de reduzir ao mínimo as áreas desapropriadas em novos projetos. Isso pode implicar na readequação do traçado várias vezes para minimizar as desapropriações.

<sup>27</sup> O valor foi corrigido com base no índice de inflação oficial do Brasil - IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo). A correção foi de 81,28% no período de jan/2007 a set/2016. A inflação foi obtida através de uma calculadora online (<http://economia.uol.com.br/financas-pessoais/calculadoras/2013/01/01/indices-de-inflacao.htm>).

<sup>28</sup> O valor foi convertido em real com a cotação do dólar comercial do dia 15/09/2016 = R\$3,30 aproximadamente, através do <http://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/dolar-comercial-estados-unidos/?historico>. Posteriormente, o valor foi corrigido com base no índice de inflação oficial do Brasil - IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo). A correção foi de 24,25% no período de jan/2014 a set/2016. A inflação foi obtida através de uma calculadora online (<http://economia.uol.com.br/financas-pessoais/calculadoras/2013/01/01/indices-de-inflacao.htm>).

Assim, percebe-se que os metrô são infraestruturas complexas que demandam níveis elevados de investimentos para serem implantados, bem como altos custos de operação e manutenção. Os diferentes valores aqui levantados mostram a dificuldade de realizar uma análise detalhada e comparativa dos custos de execução de linhas de metrô.

Nesse sentido, Alouche (2013) aborda que os custos de construção dos metrô depende de uma série de fatores, como: 1) a oferta e a qualidade de serviço a serem garantidas pelo sistema; 2) as desapropriações decorrentes do traçado da linha; 3) os métodos construtivos selecionados; 4) as barreiras naturais e a geologia do terreno; 5) a profundidade da linha; 6) o número, características e tamanho das estações; 7) o tipo de tecnologia e equipamentos escolhidos; 8) os custos reais de construção e dos equipamentos incluindo os impostos, o modelo de financiamento adotado, o câmbio na época da aquisição etc.

Quanto ao prazo de execução do metrô, NTU (2009) informa que o período está por volta de 9 anos, incluindo as etapas do projeto básico, financiamento, projeto executivo e implantação (Tabela 20). Volvo (2014 *apud* ULBRICH, 2016) destaca que o tempo, em média, é de 10 anos.

**Tabela 20** - Prazo de execução (corredor com 10 km para 150.000 passageiros/dia)

<b>Etapas</b>	<b>Prazo (anos)</b>
Projeto básico	1
Financiamento	2
Projeto executivo	1
Implantação	5
<b>Total</b>	<b>9</b>

Fonte: NTU (2009).

Em geral, os governos têm financiado a construção de novas linhas de metrô e suportam parte das despesas operacionais com a compensação das tarifas sociais. Alguns metrô, como o de Hong Kong, conseguem o equilíbrio entre receita e despesas operacionais. Neste caso, a alta densidade de viagens e o elevado preço da tarifa, que varia conforme a distância percorrida, permitem tal equilíbrio. A cidade de São Paulo também consegue a mesma situação, no entanto, recebe do governo a compensação das gratuidades. Alguns municípios adotam as chamadas PPPs, que tem parte dos custos de investimentos e os operacionais originados do capital privado. Esse mecanismo de financiamento ocorre, geralmente, através de uma concessão de serviços. É o caso da cidade do Rio de Janeiro, onde o metrô é operado e mantido por uma

instituição privada, porém “todos os investimentos, inclusive em material rodante são suportados pelo poder público” (ALOUICHE, 2013).

### 3.4.3 Impactos ambientais e visuais

Para Hadlich *et al.* (2012) várias redes do metrô possuem tração elétrica, não emitem gases poluentes e funcionam como meio estruturador do transporte urbano. Além disso, estão cada vez mais silenciosos, apresentam número reduzido de acidentes e podem utilizar pneus, como em Paris e na Cidade do México. Os autores colocam que do ponto de vista ambiental os transportes eletrificados sobre trilhos eliminam do trânsito das cidades milhares de automóveis, seja por simples escolha do usuário ou pelo estabelecimento de políticas públicas de acesso a essas regiões.

A implantação de uma linha metrô promove um impacto geral na mobilidade da região, uma vez que tende a reduzir o consumo total do tempo de viagem, a emissão de poluentes locais e energia (considerando apenas a energia de tração dos veículos). Isso se deve em grande parte a queda no uso do transporte individual privado (VASCONCELLOS, 2012). No entanto, deve-se destacar a necessidade de utilizar outros meios para acessar uma linha de metrô. Quando os meios escolhidos são considerados “ambientalmente amigáveis”, os benefícios ambientais resultantes são maiores. De forma reduzida, pode-se dizer que os impactos do transporte metroviário são os seguintes:

- Redução do tempo de percurso dos usuários: os veículos do metrô apresentam velocidades mais altas em relação aos automóveis e linhas de ônibus tradicionais, pois circulam em eixos exclusivos, sem sofrerem interferência do tráfego comum. Contudo, o acesso ao sistema pode solicitar um tempo maior devido às estações, que são mais espaçadas e ao tempo para chegar as plataformas;
- Redução da emissão de poluentes: viagens atraídas dos ônibus e automóveis;
  - Viagens atraídas dos ônibus: os sistemas de metrô apresentam uma alta capacidade de transporte e tendem a substituir sistemas de menor capacidade, como os de ônibus. Dessa forma, quando é operado com energia elétrica de fonte limpa ocorre uma redução de consumo do diesel, que são utilizados nas tradicionais linhas de ônibus. No entanto, a redução não é total, pois parte dos ônibus continua operando, seja da mesma forma, seja como serviço alimentador;

- Viagens atraídas dos automóveis: a mudança de viagens dos automóveis para o transporte público não ocorre simplesmente devido a melhoria da qualidade do transporte público. Para que isso aconteça é necessário que este promova condições que o aproxime daqueles, principalmente quanto ao tempo de deslocamento e cobertura espacial. Assim, se a acessibilidade ao espaço da cidade ficar restrita às áreas próximas da linha do metrô, os usuários dos automóveis não serão atraídos. Ou seja, a implantação de múltiplas linhas “melhora a acessibilidade potencial e, conseqüentemente a atratividade para os usuários de automóvel, mas encontrará uma limitação clara caso os custos de usar o automóvel continuem baixos”;
  - Impacto no congestionamento das vias: nas cidades onde usar o automóvel é relativamente barato a construção do metrô não promove muito impacto na redução do congestionamento viário. O espaço viário que foi aliviado pela oferta de metrô tende a ser ocupado por viagens de automóveis que estavam reprimidas pelo congestionamento e retornam assim que ocorre uma melhora;
  - Redução do custo de manutenção das vias: devido à redução do uso das vias por ônibus e temporariamente dos automóveis, o custo de manutenção das vias tende a reduzir;
  - Redução do custo de operação dos veículos: no caso dos usuários de automóveis que mudarem para o sistema de metrô não haverá gastos com combustível e estacionamento e ocorrerá uma redução de custos de manutenção dos veículos;
  - Regularidade e confiabilidade: “a regularidade e a confiabilidade oferecidas pelo sistema de trilhos de alta qualidade têm um grande valor para os usuários [...] No entanto, não há estudos que atribuam valor econômico a estas características”;
  - Valorização ou desvalorização econômica das áreas do entorno: a construção de um sistema de metrô pode valorizar os imóveis e terrenos vazios do entorno, pois os passageiros passam a ter uma maior macroacessibilidade, ou seja, há um acréscimo de possibilidades de acesso e realização de atividades. Porém, se a implantação do sistema gerar poluição visual, poluição sonora e/ou vibrações o valor dos imóveis poderá ser reduzido;
  - Aumento da macroacessibilidade para empresas e comércios: empresas localizadas na área de influência do novo sistema de metrô tende a elevar o potencial de acesso da mão de obra. Do ponto de vista do comércio, há um aumento de oportunidades de compras;
- e

- Geração de empregos e atividades: esse tipo de infraestrutura tende a alterar a estrutura da oferta de empregos, seja através da geração de novas oportunidades, seja pela realocação de empregos (VASCONCELLOS, *ibid*).

O autor ainda coloca que os impactos da implantação de um sistema de metrô são perceptíveis geralmente em longo prazo, o que pode prejudicar as medições, uma vez que outros fatores podem influenciar na mobilidade das pessoas e na economia. Além disso, os impactos ocorrem em escala local, regional ou nacional a depender do porte da intervenção realizada. Outros pontos são colocados quanto as interferências realizadas durante a construção, que geram alteração nas atividades cotidianas das pessoas que moram ou circulam na região de influência das obras, bem como tende a emitir poluentes e produzir ruídos e vibrações.

O metrô da cidade do Porto (Portugal), por exemplo, proporcionou ordenamento do território e melhoria da qualidade da mobilidade urbana, através da requalificação dos passeios, criação de áreas verdes, redução da poluição, ganhos de tempo para os usuários e não-usuários do sistema e cobertura de pontos importantes, como estabelecimentos de ensinos, saúde, serviços e comércio. No entanto, o acréscimo de acessibilidade gerado pelo sistema de transporte não provocou uma valorização no preço das habitações situadas nas proximidades do metrô (REIS, 2011). A autora suspeita que esses resultados estão relacionados a ausência de variáveis importantes na análise (idade do imóvel e seu estado de conservação), a presença de zonas degradadas (alojamentos vazios e com necessidade de reparação) em alguns pontos do percurso e ao fato de parte da linha atual ter sido construída em uma área que veículos a diesel e geradores de ruído e poluição operavam. Mesmo não ocorrendo o aumento no preço, 45% das habitações que se encontravam a menos de 500 metros de uma estação de metrô, faziam referência a proximidade nos anúncios de venda.

No caso da cidade do Recife, a acessibilidade ao transporte público metroviário não influenciou de forma significativa no aumento do valor do solo nas faixas próximas ao sistema implantado (ANDRADE, 2006). O autor apresenta duas das possíveis justificativas para o caso da região “ou o mercado não considerou relevantes as potenciais transformações físicas e sociais que poderiam se processar no espaço urbano ou que outras áreas mais promissoras atraíram os investidores e produziram retornos e lucros de forma diferenciada na cidade”.

Já cidades como Hong Kong e Tóquio, por exemplo, buscam investir em empreendimentos mistos de alta densidade nas áreas próximas as estações do metrô para manter a demanda necessária ao sistema (MELLO, 2007).

Destaca-se ainda a necessidade de desapropriação. Para evitar maiores transtornos é fundamental a escolha de espaços disponíveis na cidade e que preferencialmente possuam pouco valor urbanístico. Assim, o traçado da nova via deve ser pensado de modo a evitar grandes prédios, áreas residenciais ou outros edifícios institucionais (HADLICH *et al.*, 2012). Fora a implantação da via propriamente dita, também deve ser levada em consideração a necessidade de uma grande área a ser desapropriada para a implantação de um pátio para os veículos de uma linha. Em alguns países, por exemplo, os pátios são subterrâneos devido à densidade urbana das metrópoles, mas também podem ser localizados ao longo de vias entre as estações (*ibid.*).

### **3.5 Faixa Exclusiva para Ônibus**

Esta seção expõe a definição, as características (infraestrutura viária, estações, veículos, capacidade, sistemas de informação), o custo, financiamento e prazo, bem como os impactos ambientais e visuais da Faixa exclusiva de ônibus.

#### **3.5.1 Definição e caracterização**

Segundo NTU (2013), as faixas exclusivas estabelecem algum tipo de prioridade para o transporte público através de projetos de intervenções de baixo custo financeiro. Assim, tendem a eliminar e/ou reduzir interferências causadas por outros veículos na operação dos serviços oferecidos por ônibus. Para o texto, os projetos de faixas exclusivas devem levar em consideração outros elementos relevantes, como calçadas, disponibilização de informações nos pontos de embarque/desembarque, bem como proteção contra intempéries, ciclovias e câmeras de monitoramento. CET (2001, p. 1) coloca que o objetivo é:

Dar prioridade ou preferência de circulação ao transporte coletivo por ônibus na via pública permitindo melhor desempenho durante o seu percurso, possibilitando melhor qualidade de serviço aos usuários deste meio de transporte, garantindo a segurança

viária e em especial a de pedestres, através do uso de sinalização em vias/pistas ou faixas de uso exclusivo e/ou preferencial.

Litman (2016) faz um levantamento de alguns autores com as justificativas para implantação de faixas de ônibus. De forma geral, destacam-se o número de ônibus que circula nos horários de pico, cujo valor varia entre 25 e 75 veículos, a redução de 15% do tempo de viagem dos passageiros e se sem a faixa exclusiva, o congestionamento aumenta o tempo de percurso do ônibus em 80%. Já Alliard (2016) coloca de forma objetiva que as principais vantagens de faixas exclusivas para ônibus são a rápida implantação, o baixo custo, a redução no consumo de combustíveis e do tempo de viagem em até 40%. A autora justifica que se a via já é existente, será necessário apenas identificá-la como exclusiva, assim, o custo de implantação é menor frente aos outros tipos de transporte público.

Sant'Anna (2001, p. 8) entende que a operação de ônibus em vias segregadas tende a aumentar a velocidade operacional e a capacidade do sistema, bem como reduzir o tempo de viagem. Contudo, quando os corredores são implantados de forma isolada ou sem os complementos necessários os benefícios gerados são relativamente baixos. Assim, o ideal é que a implantação de uma via exclusiva venha acompanhada de “veículos adequados; paradas e terminais compatíveis; organização operacional adequadamente estruturada; e sistemas de circulação seguros e convenientes para os pedestres”. Algumas cidades brasileiras possuem vias exclusivas de ônibus, no entanto, cada uma possui características distintas que dependem da estrutura do sistema viário e das particularidades de cada cidade – Belo Horizonte, Campina Grande, Campinas, Curitiba, Fortaleza, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, Salvador e São Paulo.

Silva (2005) levanta que a priorização para os ônibus nas vias tem por objetivo reduzir o tempo total de viagem, atrair o usuário de veículo privado para o transporte público, restringir o tráfego de automóvel, aumentar a eficiência do sistema transporte e atender um alto fluxo de usuários a uma velocidade satisfatória. Sant'Anna (2001) ainda acrescenta os seguintes objetivos: reduzir a necessidade de grandes investimentos no sistema viário para acomodar o alto volume de veículos particulares e estimular os usuários de ônibus a continuar utilizando o sistema.

Silva (2005) destaca três tipos de alterações viárias que priorizam o transporte público coletivo: 1) faixa exclusiva – pode ser no fluxo ou contra fluxo, junto ao canteiro central ou lateral da via, com ou sem faixa adicional nas estações e separada por tachões ou faixa com pintura; 2) pista exclusiva (canaleta ou *busway*) – via segregada do tráfego de veículos através de segregação física (canteiro, gradis), locada na parte central ou lateral da via e com ou sem faixa adicional nas estações; e 3) ruas exclusivas – voltadas apenas para circulação do transporte público. Os segregadores físicos separam a circulação dos ônibus dos demais veículos em tráfego misto e, dessa forma, asseguram a prioridade para o transporte coletivo. No entanto, devem existir aberturas que permitam a saída dos ônibus quando houver ocorrências que impeçam a circulação na faixa exclusiva (BRASIL, 2016<sup>a</sup>).

Ribeiro (2009) detalha as características das alterações viárias que priorizam o transporte público. As faixas exclusivas para ônibus junto ao meio-fio são as mais utilizadas nas cidades brasileiras e geralmente, são implantadas em vias arteriais ou coletoras<sup>29</sup>. Apresentam baixo custo e tempo de implantação, facilidade de parada ao longo do itinerário e de acesso para os usuários realizarem embarque/desembarque nas estações. Contudo, sofrem interferência dos serviços de operação de carga e descarga e das conversões à direita de outros veículos. Já as faixas exclusivas junto ao canteiro central são normalmente utilizadas em vias arteriais e, diferente do exemplo anterior, não sofrem interferência dos serviços de carga e descarga, nem de conversões à direita. Assim, promove uma maior velocidade operacional para o transporte coletivo. No entanto, “dependendo do projeto arquitetônico, pode configurar a formação de uma barreira física ao longo da via, segregando espaços urbanos adjacentes”. As faixas exclusivas implantadas no contra fluxo, por sua vez, circulam em sentido oposto ao tráfego da via e estão localizadas junto ao meio-fio da calçada. Problemas de invasão ou interferência do tráfego geral são minimizados, uma vez que estão no sentido contrário do fluxo, porém podem gerar maior insegurança para o pedestre, caso não haja tratamento adequado. As canaletas ou *busway* são delimitadas por dispositivos físicos intransponíveis e exclusivas para ônibus. Proporcionam redução no tempo de viagem e maior regularidade dos serviços,

---

<sup>29</sup> Via de trânsito rápido: aquela caracterizada por acessos especiais com trânsito livre, sem interseções em nível, sem acessibilidade direta aos lotes lindeiros e sem travessia de pedestres em nível.

Via arterial: aquela caracterizada por interseções em nível, geralmente controlada por semáforo, com acessibilidade aos lotes lindeiros e às vias secundárias e locais, possibilitando o trânsito entre as regiões da cidade.

Via coletora: aquela destinada a coletar e distribuir o trânsito que tenha necessidade de entrar ou sair das vias de trânsito rápido ou arteriais, possibilitando o trânsito dentro das regiões da cidade.

Via local: aquela caracterizada por interseções em nível não semaforizadas, destinada apenas ao acesso local ou a áreas restritas (NTU, 2013).

entretanto, requer um custo mais elevado e maior prazo de implantação. Por fim, as ruas exclusivas são destinadas apenas à circulação de ônibus e em geral, são aplicadas em áreas centrais densamente ocupadas. Dentre as citadas, são as que promovem maior prioridade ao transporte público e tendem a ampliar o espaço destinado a circulação de pedestre. Como desvantagem a autora aponta que “normalmente existem dificuldades institucionais e de caráter operacional para impor restrição muito ampla à circulação de outros veículos”.

Além das posições das faixas exclusivas para o ônibus, suas dimensões também são estudadas e variam de acordo com alguns autores. Por exemplo, Brasil (2016<sup>a</sup>) entende que a largura de uma faixa exclusiva dedicada ao ônibus e uma faixa de ultrapassagem deve estar entre 3,20 e 3,70 metros (Figura 11), dependendo da velocidade projetada para a via. Pamploma (2000) aponta que a largura recomendada da faixa de rolamento utilizada pelo o ônibus é de 3,25 a 3,50 metros, e varia conforme a largura do veículo. Já NTU (2013) indica que a largura ideal é de 3,50 metros.

**Figura 11** - Faixa exclusiva dedicada ao ônibus e faixa de ultrapassagem



Fonte: Brasil (2016<sup>a</sup>).

As estações devem conter abrigo contra intempéries, assentos, lixeiras e iluminação. Além disso, precisam ser compatíveis com as alturas dos ônibus – os veículos são fabricados com altura de 37 cm (piso baixo) e 92 cm (piso alto). Esse nivelamento é importante, pois promove maior rapidez ao sistema e facilita o acesso de pessoas com mobilidade reduzida (BRASIL, 2016<sup>a</sup>). De acordo com o texto, os pontos de parada devem ter largura mínima de 2,40 m, sendo 1,20 m destinado do abrigo e 1,20 m de espaço para o embarque/desembarque

de passageiros e para a projeção da cobertura do abrigo. O texto também destaca a necessidade de garantir uma faixa livre para circulação atrás dos pontos de parada – cerca de 1,20 metros (Figura 12).

**Figura 12** - Itens necessários de um ponto de parada



Fonte: Brasil (2016<sup>a</sup>).

Para que a distância entre as estações seja algo confortável para o usuário, NTU (2009) aponta que esse espaçamento deve estar entre 300 e 400 metros. Já Andrade *et al.* (2004) recomenda que os pontos de parada devem ser estabelecidos de forma que os usuários realizem uma caminhada de 500 metros, no máximo. Contudo, é comum adotar um espaçamento de 300 metros. SEDU/PR e NTU (2002) são mais detalhistas e indicam que o distanciamento médio entre paradas é de 300 a 400m nas áreas centrais, de 400 a 600m nas áreas intermediárias e de 600 a 800m nas áreas periféricas das cidades. No entanto, Meira (2007) acrescenta que o ideal é buscar pontos ótimos para locar as paradas, uma vez que curtas distâncias tem forte implicação no tempo de viagem total e distâncias muito longas dificultam o acesso dos usuários. Além das estações, devem ser dimensionadas também, as áreas para estocar os ônibus. Nesse sentido, Brasil (2016<sup>a</sup>) coloca que essas áreas são locadas de forma que não se afastem dos corredores para otimizar a operação do sistema.

A capacidade de uma faixa exclusiva sem ultrapassagem é de, no máximo, 15.000 passageiros por hora por sentido. A capacidade aumenta se forem incluídas faixas de ultrapassagem (BRASIL, 2016<sup>a</sup>). Mercedes-Benz (1987 *apud* PAMPLONA 2000), por sua vez, indica pode-se transportar 28.000 passageiros por hora e sentido nas seguintes condições:

ônibus articulados, intervalo de 20 segundos, faixas segregadas e número reduzido de paradas. Se a via for compartilhada, a capacidade é de 4.800 passageiros por hora, levando em consideração 80 pessoas por veículo e *headway* de um minuto (NTU, 2009).

A Avenida Amazonas, em Belo Horizonte, possui faixa exclusiva junto à calçada e sem segregação física, delimitada apenas por tachões. São duas faixas exclusivas por sentido, que transportam cerca de 20.000 passageiros por hora e sentido, com uma velocidade comercial de 19 km/h. Já a Avenida 9 de Julho em São Paulo, que apresenta corredor exclusivo junto ao canteiro central, atinge cerca de 33.150 passageiros por hora no horário de pico da manhã (SEDU/PR; NTU, 2002). Os autores também destacam alguns corredores com faixas exclusivas em Porto Alegre (Tabela 21).

**Tabela 21** - Demanda de passageiros por hora (pico da manhã) de faixas exclusivas de ônibus em Porto Alegre

Corredor	Demanda
Assis Brasil	33.500
Protásio Alves	13.000
Farrapos	26.000
Cascatinha	5.300
Bento Gonçalves/J. Pessoa	12.100

Fonte: SEDU/PR e NTU (2002).

A Tabela 22 apresenta algumas características de faixas exclusivas para o deslocamento dos ônibus no sistema viário da cidade do Rio de Janeiro. O BRS (*Bus Rapid Service* ou Serviço de Ônibus Rápido, em português) “foi implantado com o objetivo de racionalizar o sistema de transporte público e, conseqüentemente, aumentar a velocidade das viagens do transporte coletivo e reduzir o tempo de viagem para os usuários” (NTU, 2013).

**Tabela 22** - Serviços de ônibus rápido no Rio de Janeiro

BRS	Extensão (km)	Linhas	Demanda diária (passageiros)	Demanda pico (passageiros)
Copacabana	7,5	91	236.000	28.000
Ipanema Leblon	7,00	64	190.000	23.000
Rio Branco	1,3	93	308.000	37.000

Fonte: NTU (2013).

É importante planejar adequadamente a quantidade de linhas de ônibus que circularão no corredor a ser implantado, uma vez que ao acrescentar mais linhas aos corredores, estes

começam a sofrer com congestionamentos severos. Isso tende a gerar “paredes de ônibus”, principalmente nos horários de pico. E mesmo com faixa de ultrapassagem, a velocidade comercial de viagem tende a cair. Foi o que aconteceu com as cidades de Seul (Coréia do Sul), Kunming (China), Taipé (Taiwan) e Teerã (Irã) (NTU, 2009).

Nesse contexto, Sant’Anna (2001) coloca que as tecnologias de rastreamento em tempo real, através de radiofrequências e sistemas de geoprocessamento por satélite, servem para acompanhar o ônibus em operação. Assim, há um maior controle sobre o cumprimento dos horários, frequências da operação, velocidade, tempo de viagem etc. E para evitar o uso indevido dos espaços dedicados ao transporte público é fundamental a utilização de equipamentos que possibilitem a autuação automática aos veículos. Equipamentos como as câmeras com Reconhecimento Ótico de Caracteres (OCR) são capazes de identificar, através da filmagem, os veículos particulares que fazem uso de faixas exclusivas de forma indevida (BRASIL, 2016<sup>a</sup>; NTU, 2013).

### 3.5.2 Custo e financiamento

Via de regra, níveis de segregação maiores, e, portanto, maior desempenho operacional, correspondem a custos de investimentos mais elevados (SEDU/PR; NTU, 2002). Assim, de forma geral, as ruas exclusivas (permitem apenas circulação de ônibus) apresentam maior custo de implantação, se comparadas com as pistas exclusivas e faixas exclusivas. Seguindo essa lógica, a priorização ao transporte público com menor custo são as separadas por tachões ou pinturas – faixas exclusivas. Nesse sentido, Sanches e Battistella (2016) colocam que a faixa exclusiva de ônibus é considerada “uma solução eficaz de engenharia de trânsito com baixo custo para a administração pública e que traz benefícios à cidade, usuários, motoristas e contribuintes”.

A tabela 23 destaca os custos de implantação de corredores de acordo com o nível de segregação e medidas de prioridade. Todos os dados foram obtidos em 2002. Assim, foi necessário corrigir o valor com base no índice de inflação oficial do Brasil – IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo). A correção foi de 161,53% no período de jan/2002 a set/2016. A inflação foi obtida através de uma calculadora online (<http://economia.uol.com.br/financas-pessoais/calculadoras/2013/01/01/indices-de-inflacao.htm>). O mesmo cálculo foi realizado para obter os valores da Tabela 37.

**Tabela 23** - Custo de implantação de faixas e pistas exclusivas de ônibus em R\$ milhões por quilômetro

<b>Denominação</b>	<b>Intervenções na infraestrutura</b>	<b>Custo mínimo (R\$ milhões/km)</b>	<b>Custo máximo (R\$ milhões/km)</b>
<b>Faixa exclusiva (sem segregação física)</b>	Faixa exclusiva sem segregação física junto à calçada	0,7	1,3
	Faixa exclusiva sem segregação física junto à calçada	1,3	2,6
	Terminal de integração (área coberta de 1.000 a 3.000 m <sup>2</sup> )		
	Faixa exclusiva sem segregação física junto ao canteiro central	2,6	6,5
	Faixa exclusiva sem segregação física junto ao canteiro central	3,9	7,8
	Terminal de integração (área coberta de 1.000 a 3.000 m <sup>2</sup> )		
<b>Pista exclusiva (com segregação física)</b>	Faixa exclusiva com segregação física	9,2	14,4
	Terminal de integração (área coberta de 3.000 a 6.000 m <sup>2</sup> )		
	Faixa exclusiva com segregação física 3 terminais de integração (área coberta de 3.000 a 6.000 m <sup>2</sup> )	10,5	18,3
	Faixa exclusiva com segregação física – duas faixas contínuas por sentido 2 ou 3 terminais de integração (área coberta de 6.000 a 12.000 m <sup>2</sup> )	18,3	31,4

Fonte: SEDU/PR e NTU (2002).

Os dados da Tabela 23 não incluem desapropriações, nem custo com veículos. Os valores extremos são de R\$ 0,7 milhão por quilômetro até R\$ 31,4 milhões por quilômetro. O menor custo está relacionado a uma faixa na lateral direita da via, sem segregação física e paradas simples para embarque e desembarque de passageiros nas calçadas. Já o valor máximo refere-se a pista exclusiva no centro da via, com segregação física e duas faixas contínuas por sentido. Além disso, os pontos de paradas são elevados.

Na prática, os custos são bem variados. Em Recife, por exemplo, foram implantadas as Faixas Azuis, que são faixas exclusivas de ônibus sem segregação física, neste caso, o pavimento é pintado na cor azul. Segundo a CTTU, o custo de implantação das Faixas Azuis está estimado em R\$ 20.000,00 por quilômetro, levando em consideração apenas a sinalização horizontal (pintura da via) e vertical (placas indicativas de corredor exclusivo). Gastos com a instalação de fiscalização eletrônica não estão incluídos no valor (SOARES, 2017). SEDU/PR

e NTU (2002) realizaram um levantamento dos valores investidos para implantação de medidas de prioridade ao ônibus nas cidades de São Paulo, Porto Alegre e Juiz de Fora. De forma geral, os custos, que estão representados na Tabela 24, incluem: ajustes geométricos ao longo da faixa exclusiva e das aproximações dos cruzamentos, drenagem, pavimento flexível ao longo da faixa e rígido nas paradas. No entanto, os custos com desapropriações não estão incluídos. Além dos valores apresentados na tabela, os autores apontam que se a rua for exclusiva, ou seja, sem interferência longitudinal ou transversal, o custo é superior a R\$ 26,2 milhões por quilômetro.

**Tabela 24** - Valores médios de investimento para implantação de medidas de prioridade para o ônibus nas cidades de São Paulo, Porto Alegre e Juiz de Fora

Denominação	Intervenções na infraestrutura	Custo mínimo (R\$ milhões/km)	Custo máximo (R\$ milhões/km)
<b>Faixa exclusiva (sem segregação física)</b>	Faixa exclusiva junto à calçada sem ultrapassagem	0,3	0,5
	Faixa exclusiva junto à calçada com ultrapassagem	0,5	1,3
	Faixa exclusiva junto ao canteiro central sem ultrapassagem	1,3	3,9
	Faixa exclusiva junto ao canteiro central com ultrapassagem	3,9	7,8
<b>Pista exclusiva (com segregação física)</b>	Faixa exclusiva sem ultrapassagem	9,2	14,4
	Faixa exclusiva com ultrapassagem	10,5	18,3
	Faixa exclusiva com duas faixas contínuas por sentido	13,1	26,2

Fonte: SEDU/PR e NTU (2002).

Além dos valores investidos na implantação, os custos de operação e manutenção também são levados em consideração. Dentre os custos de operação, SEDU/PR e NTU (2002) destacam o pessoal envolvido na sua operação e limpeza, materiais e serviços despendidos nestas atividades. Os custos de manutenção incluem despesas relativas à manutenção dos equipamentos fixos (pavimentos, edificações, instalações prediais) e móveis (equipamentos), e a manutenção da sinalização e das áreas adjacentes.

Assim como os custos de implantação, os prazos aumentam segundo o nível de segregação do corredor. Para exemplificar, NTU (2009) coloca que se a faixa for apenas preferencial, o prazo de execução é muito curto, e geralmente, são meses, tanto no contexto brasileiro, quanto no internacional. Em 2013, a NTU definiu no material denominado “Faixas exclusivas de ônibus urbanos – experiências de sucesso”, um período entre 1 e 6 meses de implantação para faixas exclusivas. Contudo, no mesmo material, tem um exemplo do Corredor

Universitário em Goiânia, que levou 10 meses para ser implantado, levando em conta a pintura das faixas, adequação das calçadas e instalação de câmeras de fiscalização.

Um projeto de priorização ao transporte público tende a gerar uma redução no custo operacional, devido, dentre outros fatores, ao menor número da frota, pessoal, consumo de combustível e desgaste do veículo, que são necessários para cumprir a programação de serviço (SEDU/PR; NTU, 2002). Quanto ao financiamento, os autores destacam que mesmo com a participação do setor privado, a atuação do setor público é fundamental, seja investindo diretamente, seja financiando governos locais ou complementando o investimento privado à fim de torná-los atrativos. Dentre as instituições destacam-se o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), o Banco Mundial e o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). Outra proposta citada pelos autores é destinar parte da arrecadação da CIDE<sup>30</sup> (Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico) para investimentos na infraestrutura do transporte urbano.

### 3.5.3 Impactos ambientais e visuais

As infraestruturas viárias exclusivas para o transporte coletivo promovem impactos positivos sobre a velocidade dos ônibus, tempo de viagem e conforto dos usuários, custos operacionais, bem como regularidade e confiabilidade dos serviços. Além disso, quando associados a políticas de uso e ocupação do solo, esses corredores podem se constituir em eixos estruturadores importantes das cidades e contribuir para o ordenamento urbano e qualidade de vida dos moradores (SEDU/PR; NTU, 2002; SILVA, 2005). Nesse sentido, SEDU/PR e NTU (2002) destacam que um estudo realizado pelo TRRL (*Transport Road Research Laboratory*) de Londres, em 1990, avaliou corredores de transporte coletivo com faixa exclusiva com e sem segregação física de algumas cidades de países em desenvolvimento, entre os quais o Brasil. Dentre outros aspectos, o estudo concluiu que, em pontos com alto volume de demanda (acima 3.000 usuários por hora), a existência de faixas de ultrapassagem pode aumentar a capacidade dos pontos de parada em 50% e reduzir em até 2/3 o tempo médio de parada.

Uma das principais vantagens da implantação de faixas exclusivas para ônibus é a redução no consumo de combustível e, conseqüentemente, na emissão de poluentes

---

<sup>30</sup> A CIDE é um tributo instituído por lei federal, aprovada em dezembro de 2001, que incide sobre a importação e comercialização de petróleo e seus derivados e do álcool combustível (SEDU/PR; NTU, 2002).

(ALLIARDI, 2016). Além disso, a autora também aponta como ponto positivo a redução dos tempos de viagem em até 40%. NTU (2013) também descreve as vantagens das faixas exclusivas; dentre elas, destacam-se: 1) fácil associação do projeto com a área urbano do entorno; 2) redução do consumo de combustíveis (até 30%) e da emissão de poluentes (até 40%); 3) revitalização da área de intervenção; e 4) impacto positivo na mobilidade da cidade.

Já Litman (2016) aborda como vias para ônibus afetam a viagem, bem como os seus benefícios e custos globais. Em vias congestionadas, as faixas de ônibus podem duplicar ou triplicar a velocidade, bem como aumentar significativamente a confiabilidade do serviço. Nesse contexto, Paulley *et al.* (2006) estimam que uma economia de tempo de viagem de 10% implica em um aumento do número de passageiros em 4% a 6%. Contudo, se o tempo de acesso ao ponto de parada, o tempo de espera pelo ônibus e o tempo de embarque/desembarque forem elevados, a faixa de ônibus por si só tende a reduzir apenas uma pequena parcela do tempo de viagem (LITMAN, 2016). Maiores ganhos são possíveis se as vias exclusivas são implementadas em paralelo com outras políticas de incentivo ao transporte público (EMBARQ ÍNDIA, 2010).

Segundo Litman (2016), o aumento do número de passageiros aumenta as receitas de tarifas. Além disso, o autor destaca que na medida em que as novas viagens de transporte público deslocam as viagens de automóvel, elas reduzem os custos externos, incluindo congestionamento, risco de acidentes, emissão de poluentes e área para estacionamento. Goh *et al.* (2013) analisaram os acidentes de trânsito em Melbourne, na Austrália e concluíram que os tratamentos prioritários de ônibus da cidade reduziram os acidentes graves ou fatais em 31% (de 42 para 29 por ano). Ademais, as vias de ônibus promovem uma repartição mais equitativa do espaço viário, assim os passageiros de ônibus recebem uma parte justa do espaço da via pública e não sofrem atrasos causados pelo congestionamento devido ao tráfego de automóvel particular (LITMAN, 2016). Cunha Filho (2013, p. 5) entende que:

A priorização do transporte público coletivo por ônibus é talvez a mais importante ação para superar a crise da mobilidade urbana. Essa medida [...] pode significar a quebra do ciclo vicioso, que decorre da falta de prioridade e infraestrutura, alta carga tributária e aumento dos insumos e gratuidades e produz congestionamentos, poluição, acidentes e desigualdades urbanas. Por meio da priorização dos ônibus, existe o potencial de recuperar parte do espaço viário e devolvê-lo à maior parte da população urbana. Além disso, o aumento da velocidade operacional, da

confiabilidade dos serviços e a redução dos custos operacionais serão provavelmente percebidos a curtíssimo prazo.

Quanto aos veículos, UITP (2015) coloca que os ônibus alimentados por combustíveis alternativos estão disponíveis há mais de dez anos e ganharam popularidade devido à baixa produção de CO<sub>2</sub>. Existem tecnologias comprovadas e confiáveis como os biocombustíveis e gás natural, contudo estão surgindo novas tecnologias experimentais como o hidrogênio. Em relação aos ônibus elétricos, o texto informa que eles têm sido utilizados desde a década de 1930 e que não produzem emissões locais. Assim, contribuem para um ar limpo e qualidade de vida das cidades, bem como emitem menos ruídos se comparados com os ônibus convencionais, o que os tornam populares em ambientes urbanos.

Outro item que gera impacto para população está relacionado a desapropriação de áreas para implantação de corredores de transporte público. Quanto mais complexo for o nível de segregação e o número de faixas reservadas para o ônibus, maior será a necessidade de desapropriação. No entanto, quando comparadas com outros tipos de priorização ao transporte público, a opção de faixas exclusivas requer em geral menor espaço e conseqüentemente menores áreas.

Por fim é importante comentar a respeito dos impactos visuais de corredores de ônibus. Como citado anteriormente, deve-se planejar adequadamente a quantidade de linhas de ônibus que circularão no corredor a ser implantado a fim de evitar a geração de “paredes de ônibus”.

A Tabela 25 traz um resumo das alternativas de transporte público estudadas neste capítulo, a saber: BRT, VLT, monotrilho, metrô subterrâneo e faixa exclusiva para ônibus comum.

**Tabela 25** - Resumo dos parâmetros das alternativas de transporte público

<b>Parâmetros</b>	<b>BRT</b>	<b>VLT</b>	<b>Monotrilho</b>	<b>Metrô</b>	<b>Faixa exclusiva para ônibus comum</b>
Espaço para implantação (via+estação)	8,5 a 9,0 metros de largura	11,49 a 16,79 metros de largura	6,5 a 7,0 m (só as vias)	-	8,60 a 9,10 metros (com baia) e 5,60 a 6,10 (sem baia)
Custo de implantação	R\$ 2,2 milhões a R\$ 65,1 milhões por quilômetro	R\$ 65,5 milhões a R\$ 133,4 milhões por quilômetro	R\$ 82,2 milhões a R\$ 362,9 milhões por quilômetro	R\$ 184,5 a R\$ 1435,1 milhões por quilômetro	R\$ 0,7 a R\$ 31,4 milhões por quilômetro
Prazo de implantação	4 anos	6 anos	4 a 18 anos	9 anos	6 a 10 meses
Custo de operação e manutenção	R\$ 1,13 por passageiro	R\$ 1,34 por passageiro	-	R\$ 5,23 por passageiro	-
Vida útil	7 a 10 anos	30 anos	30 anos	30 a 40 anos	7 a 10 anos
Intrusão visual e poluição	Tecnologias veiculares de baixas emissões e baixos ruídos	Solução menos poluidora, pode apresentar baixo índice de ruído, facilidade de se adaptar ao meio urbano	A maior parte é movido a energia elétrica e reduzida poluição sonora (60 a 80 decibéis)	Não emite gases poluentes	Ônibus alimentados por combustíveis alternativos com baixa produção de CO2 estão disponíveis há mais de dez anos
	70 a 90 decibéis	60 a 80 decibéis	Apresenta maior impacto na paisagem urbana em função das vias elevadas	75 a 100 decibéis	
Capacidade	13.000 a 40.000 passageiros por hora e sentido	7.000 a 35.000 passageiros por hora e sentido	3.000 a 50.000 passageiros por hora	50.000 a 96.000 passageiros por hora	15.000 a 28.000 passageiros por hora e sentido
Rapidez	23 a 39 km/h	20 a 90 km/h	60 a 90 km/h	30 a 80 km/h	19 km/h

#### 4 MÉTODO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

Na maioria das situações em que se tem que realizar uma tomada de decisão, vários pontos de vista, normalmente conflitantes, são levados em consideração. Para apoiar o decisor na escolha das alternativas pode-se adotar uma metodologia de apoio a tomada de decisão multicritério (MORAIS; ALMEIDA, 2002). Segundo Almeida (2011), “um problema de decisão multicritério consiste numa situação, onde há pelo menos duas alternativas de ação para se escolher e esta escolha é conduzida pelo desejo de se atender a múltiplos objetivos, muitas vezes conflitantes entre si”. Os métodos de auxílio à decisão por múltiplos critérios têm como ferramenta principal uma matriz de julgamento, onde cada ação potencial será relacionada a um critério de avaliação (PAMPLONA *et al.*, 1999; ARIAS, 2001). Na matriz a seguir (Tabela 26), os  $a_{ij}$  representam o desempenho das alternativas  $i$  em relação aos critérios  $j$ .

**Tabela 26 - Matriz de decisão**

	<b>Critério 1</b>	<b>Critério 2</b>	<b>Critério 3</b>	<b>Critério 4</b>	<b>Critério 5</b>
<b>Alternativa 1</b>	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	$a_{14}$	$a_{15}$
<b>Alternativa 2</b>	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	$a_{24}$	$a_{25}$
<b>Alternativa 3</b>	$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$	$a_{34}$	$a_{35}$

Fonte: Pamplona *et al.* (1999).

Outro item importante diz respeito a presença de um decisor, que determina suas preferências sobre as consequências envolvidas no problema, a partir de valores estabelecidos por ele. Assim, o problema do decisor consiste em avaliar os diversos objetivos, representados por variáveis e muitas vezes em unidades de medida diferentes, de forma integrada. Deve-se destacar que o decisor pode ser um indivíduo ou um grupo de decisores responsável pela tomada de decisão (ALMEIDA, 2011).

Nesse contexto, Kuwahara *et al.* (2008) colocam que as metodologias multicriteriais tendem a ser mais adequadas para países em desenvolvimento, como o Brasil, uma vez que existe uma série de fatores de elevada complexidade de quantificação. Além disso, os países dessa classe, apresentam alta heterogeneidade em relação às condicionantes socioeconômicas, ambientais, culturais e geográficas e assim, é necessário que processo de definição de investimentos ocorra de forma democrática e transparente. Jannuzzi *et al.* (2009, p. 71) destacam que tais metodologias permitem,

[...] que a decisão seja pautada com base nos critérios considerados relevantes para o problema em questão pelos agentes decisores, em que a importância dos critérios é definida por estes, em um processo interativo com outros atores técnico-políticos. Afinal, cada ministério, cada secretaria estadual ou municipal, cada gestor tem, de partida, um elenco de objetivos setoriais a orientar sua agenda de prioridades, conferindo maior importância a determinadas questões sociais e estratégias de intervenção.

Paranhos e Yarasca (2009) informam que os problemas na área de transportes, de forma geral, apresentam mais de uma causa e conseqüentemente, proporcionam diversas abordagens. Os enfoques podem ser de ordem econômica, social, institucional ou técnica. Assim, os métodos de análise multicritério destacam-se como um instrumento de grande validade para os planejadores urbanos e de transportes. Quadros e Nassi (2014) corroboram com essa ideia quando afirmam que essa abordagem serve “para analisar o problema de tomada de decisão na prioridade sobre investimentos em infraestrutura de transportes”. Por tais razões, o método de análise multicritério foi o escolhido para a metodologia da dissertação.

Após definir o problema, levantar as alternativas para sua solução, identificar o conjunto de decisores, especificar os critérios de avaliação das alternativas, aplica-se o procedimento quantitativo de análise multicritério. A escolha técnica a ser utilizada varia consoante o tipo de problema em análise, o contexto em estudo, os agentes decisores envolvidos, os procedimentos de comparação das alternativas e do tipo de resposta que se deseja obter – seleção, ordenamento das alternativas etc. (JANNUZZI *et al.*, 2009).

Conforme Rafaeli (2009), uma vasta gama de métodos foi desenvolvida para realizar análises com multicritérios. Dentre eles, destacam-se: 1) ELECTRE (*Elimination Et Choix Traduisant la Réalité*); 2) PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*); 3) MAUT (*Multi Attribute Utility Theory*); 4) NCIC (*Non-Traditional Capital Investment Criteria*); 5) MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*); 6) TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*); 7) DEA (*Data Envelopment Analysis*); 8) AHP (*Analytic Hierarchy Process*); e 9) TODIM (Tomada de Decisão Interativa Multicritério). Para Arias (2001), a escolha do método a ser empregado depende do tipo de aplicação e da problemática decisória de referência. Os métodos estão descritos resumidamente a seguir:

- ELECTRE: os métodos dessa família são aplicados em duas fases. A primeira diz respeito a construção da relação de sobreclassificação, onde uma comparação par a par será estabelecida. De forma geral, pode-se definir que uma alternativa “a” sobreclassifica “b”, se a alternativa “a” é pelo menos tão boa quanto a alternativa “b”. E a segunda está relacionada com a exploração da relação de sobreclassificação. Nesta última, será aplicada um procedimento (ou algoritmo) para solucionar o problema. A família ELECTRE engloba alguns métodos, destacados a seguir, que são aplicados em distintas situações:
  - ELECTRE I: problemática de escolha, com uso de critério verdadeiro;
  - ELECTRE II: problemática de escolha, com uso de pseudo-critério;
  - ELECTRE III: problemática de ordenação, com uso de critério verdadeiro;
  - ELECTRE IV: problemática de ordenação, com uso de pseudo-critério; e
  - ELECTRE TRI: problemática de classificação, com uso de pseudo-critério (ALMEIDA, 2011);
- PROMETHEE: também está baseado em duas fases, uma de construção de relação de sobreclassificação e uma de exploração dessa relação para apoio a decisão. O decisor estabelece para cada critério um peso ( $p_i$ ) que significa a importância do critério.  $F_i(a,b)$  é a função diferença [ $g_i(a) - g_i(b)$ ] entre o desempenho das alternativas para cada critério e assume valores entre 0 e 1. Assim, o valor de  $F_i(a,b)$  aumenta se a diferença de desempenho (ou a vantagem de uma alternativa em relação a outra) aumente, e é igual a zero se o desempenho de uma alternativa é igual ou inferior ao da outra (ALMEIDA, 2011);
- MAUT: “o problema do decisor consiste em escolher a alternativa  $a$  em  $A$  que o deixe mais satisfeito com o resultado  $X_1(a), \dots, X_n(a)$ , onde  $X_i$  representa os atributos de avaliação. Desta forma, é necessário um índice que combine  $X_1(a), \dots, X_n(a)$  em um índice de valor [...]”. Este último é a função utilidade (ALMEIDA, 2011);
- NCIC: ferramenta mais apropriada para decisões financeiras, uma vez que a análise é realizada em termos de valores monetários. Assim, os atributos são comparados dois a dois e associados a valores monetários (KIMURA; SUEN, 2003);
- MACBETH: neste método, os critérios de decisão, denominados de Ponto Vista, são “operacionalizados” por indicadores e o julgamento das alternativas é realizado através de uma comparação par a par. Na matriz de julgamento, os valores de “diferença de atratividade” aumentam da esquerda para direita e de baixo para cima, devido a uma ordenação obrigatória antes dos julgamentos (PAMPLONA *et al.*, 1999);

- TOPSIS: método que calcula o valor das alternativas em relação a dois pontos de referência – ponto ideal (chamado de PIS: *Positive Ideal Solution*) e ponto anti-ideal ou nadir (chamado de NIS: *Negative Ideal Solution*) (ALMEIDA, 2011);
- DEA: este método foi desenvolvido como uma técnica que identifica resultados eficientes entre uma lista de potenciais candidatos. Deste modo, não há um ranqueamento completo das alternativas, apenas é fornecido uma classificação em dois grupos: eficiente e ineficiente (SEYDEL, 2006 *apud* RAFAELI, 2009);
- AHP: método que utiliza uma abordagem hierárquica para estabelecer critérios e identificar alternativas, bem como faz uso de uma comparação par a par para confrontar as alternativas de cada critério. Isto é realizado através de avaliações por meio de uma escala de nove níveis. Além das alternativas, os critérios também são comparados entre si. Outro item importante, é que o método permite avaliar inconsistências no julgamento de valor pelo decisor (ALMEIDA, 2011); e,
- TODIM: método que tem como objetivo final ordenar um conjunto de alternativas avaliadas de acordo com alguns critérios. Se por um lado, os demais métodos têm por objetivo auxiliar o tomador de decisão na busca por um valor máximo de alguma medida global de valor, “o método TODIM utiliza uma medida global de valor calculada pela aplicação do paradigma da Teoria das Perspectivas” (SHUELER, 2012).

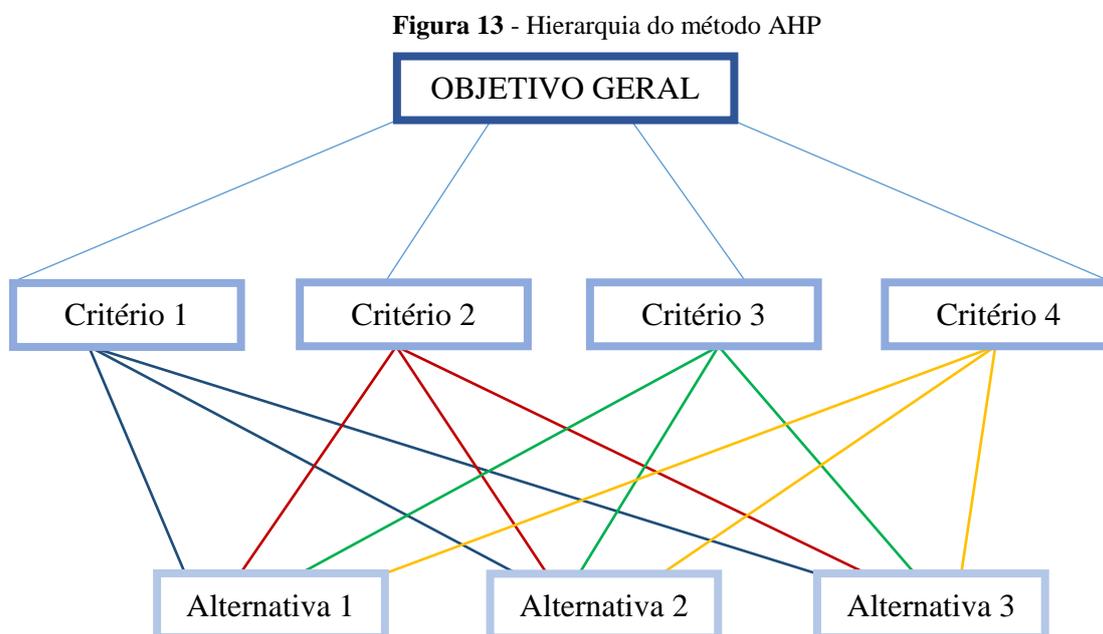
Dentre os métodos acima, o escolhido para ser utilizado nesta dissertação foi o Processo de Hierarquização Analítica (do inglês, *Analytic Hierarchy Process* – AHP). Optou-se por esse método porque é bem utilizado em estudos de transportes há mais de 40 anos e, segundo Gass (2005), é o principal método para a solução de problemas multicriteriais que necessita do ordenamento das prioridades. Para exemplificar, Jordão e Pereira (2006) destacam que o método “chegou à sua maturidade aplicativa com o Estudo dos Transportes do Sudão em 1973”. Além disso, os autores colocam que é um método simples, confiável e tem sido utilizado em diversas partes do mundo para auxiliar no processo decisório considerando distintos fins, desde análise do terrorismo até a disposição de recursos em questões governamentais.

Outra vantagem, é que o AHP é capaz de fornecer pesos para uma amostra qualitativa de alternativas e assim pode transformar índices qualitativos em quantitativos (YANG; KUO, 2003; GUO *et al.*, 2006). Além disso, Kuwahara *et al.* (2008) destacam que o método é uma ferramenta pertinente para ser aplicada no caso de problemas de avaliação e seleção de

alternativas de investimentos no Brasil, especialmente para definição das propostas de infraestrutura de transportes. O método AHP já foi aplicado para diferentes finalidades no setor de transportes, como os estudos realizados por Souza (2015); Hotta (2007); Quadros e Nassi (2014); Oliveira e Rosa (2013); Silva e Cavalcanti Neto (2010); Abreu *et al.* (2015); Meira (2013); e Arias (2001).

Dentre as críticas ao AHP, a reversão de ordem (*rank reversal*) tem sido a mais citada. Segundo, Bana e Costa e Vansnick (2001) e Silva e Belderrain (2007), a inclusão ou exclusão de alternativas ou critérios pode gerar o efeito da reversão de ordem das relações de dominância. Contudo, o autor do método informa que a inclusão ou exclusão de variáveis origina um outro problema a ser analisado.

O AHP, modelo proposto por Saaty, representado por uma hierarquia estruturada, parte desde o nível mais inferior (alternativas), passando pelo nível intermediário (critérios e subcritérios), até chegar ao nível mais alto (objetivo moral). Tal hierarquia está representada na Figura 13.



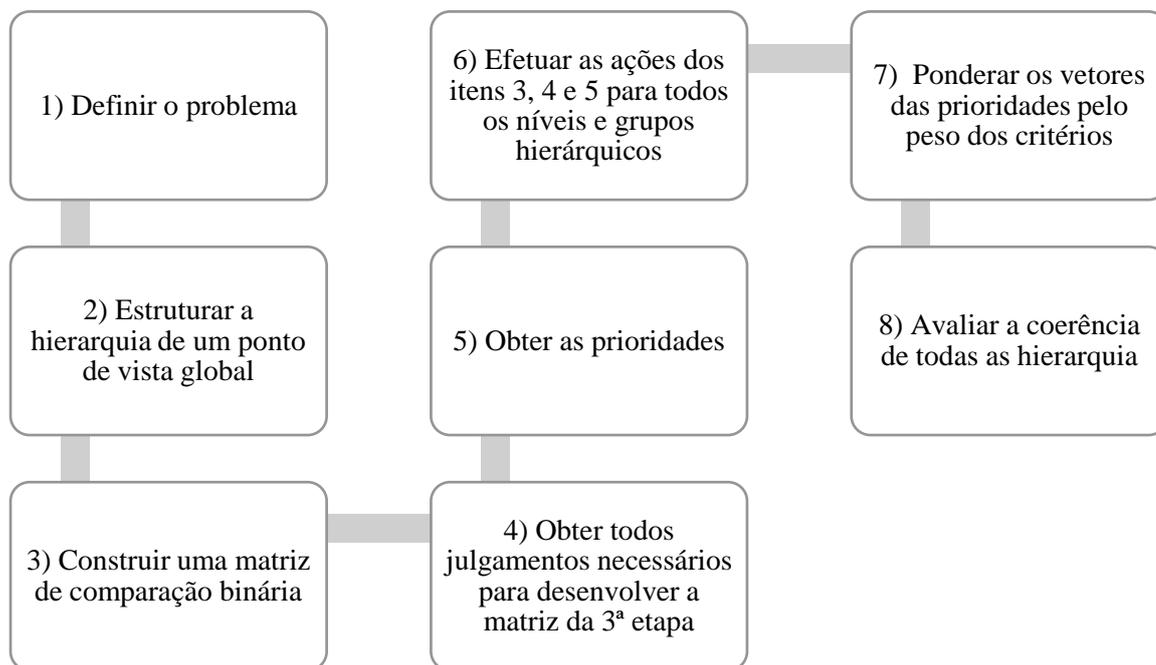
O estudo do método AHP inicia-se com a definição do problema e com a estruturação da hierarquia dos critérios e alternativas de um ponto de vista global de gestão. Na sequência, deve-se construir uma matriz de comparações binárias, que permite o julgamento de importância de um elemento em relação ao outro. Neste caso, os indivíduos preferem exprimir

suas preferências utilizando um número inteiro. Assim, a matriz permite transcrever este valor em uma dada posição e o inverso na posição simétrica. A quarta etapa é a obtenção de todos os julgamentos necessários para desenvolver o conjunto de matrizes da etapa anterior. Quando os julgamentos podem ser sintetizados com base em meios geométricos, quando forem realizados por vários decisores. A próxima fase diz respeito a aquisição das prioridades depois de ter coletado todos os dados fornecidos pelas comparações par a par, dos valores recíprocos e dos valores unitários, estes últimos dispostos na diagonal principal, para testar coerência. Não se deve esquecer de efetuar essas operações (etapas 3, 4 e 5) para todos os níveis e grupos hierárquicos (JORDÃO e PEREIRA, 2006, p. 5). Os autores explicam as duas últimas fases da seguinte forma:

Utilizar a composição hierárquica para ponderar os vetores das prioridades pelo peso dos critérios e levar a soma em relação a todos os valores de prioridades ponderadas correspondendo aos dos níveis imediatamente inferiores, e assim sucessivamente. Estas operações vão dar um vetor de prioridades globais para o nível mais baixo da hierarquia.

Avaliar a coerência de todas as hierarquias multiplicando cada índice de coerência pela prioridade do critério correspondente e adicionando os produtos. O resultado é dividido pelo mesmo tipo de avaliação utilizando o índice de coerência aleatória correspondente à dimensão de cada matriz ponderada pelas prioridades, como anteriormente.

A incoerência da hierarquia deve ser inferior ou no máximo igual a 10%, caso contrário, deve ser revista a qualidade da informação. De forma resumida, pode-se dizer que as etapas fundamentais do método são as seguintes (Figura 14):

**Figura 14** - Etapas do método AHP

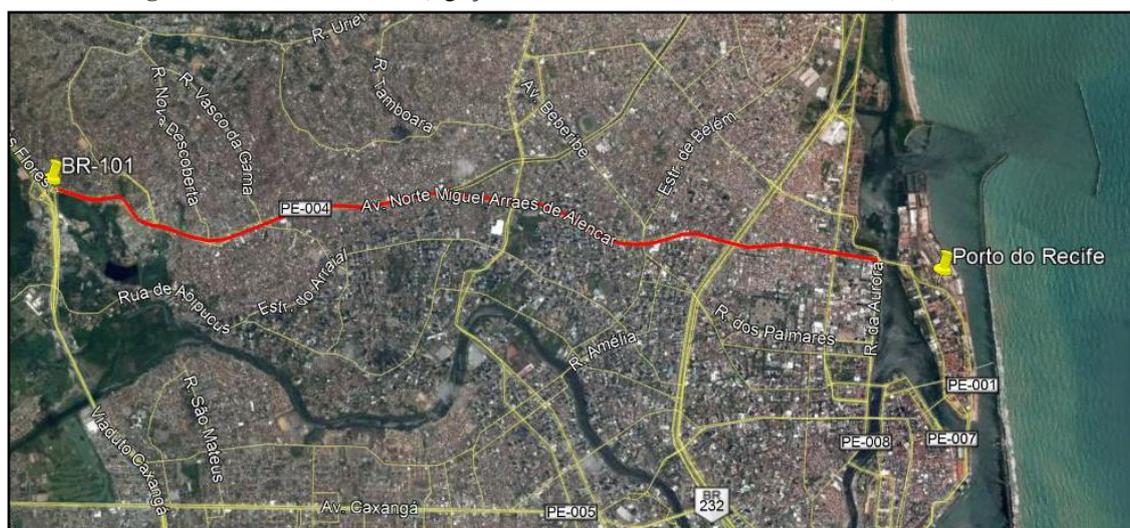
Fonte: Jordão e Pereira (2006).

Após a definição do método que será utilizado na pesquisa, é necessário descrever as características do local onde será aplicada. Para atender tal objetivo, o capítulo seguinte se destina a destacar os principais atributos da Região Metropolitana do Recife e da Avenida Norte Miguel Arraes de Alencar.

## 5 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL ESTUDADO

A Avenida Norte Miguel Arraes de Alencar é um dos principais eixos de circulação de pessoas e mercadorias da cidade do Recife e, como o próprio nome informa, está situada na área norte do município. Com uma extensão de aproximadamente oito quilômetros, corta e margeia diversos bairros, como: Santo Amaro, Torreão, Espinheiro, Encruzilha, Rosarinho, Tamarineira, Mangabeira, Alto José do pinho, Morro da Conceição, Casa Amarela, Vasco da Gama, Nova Descoberta, Alto do Mandu, Macaxeira, Apipucos e Córrego do Jenipapo (NÓBREGA, 2013). Além de ser um elo entre a cidade do Recife (bem como o Porto do Recife) e a principal rodovia do país (BR-101), a Av. Norte é classificada como corredor de transporte urbano principal devido a sua função de ligar áreas e bairros do município (Figura 15).

**Figura 15** - Avenida Norte (ligação entre o Porto do Recife e a BR-101)



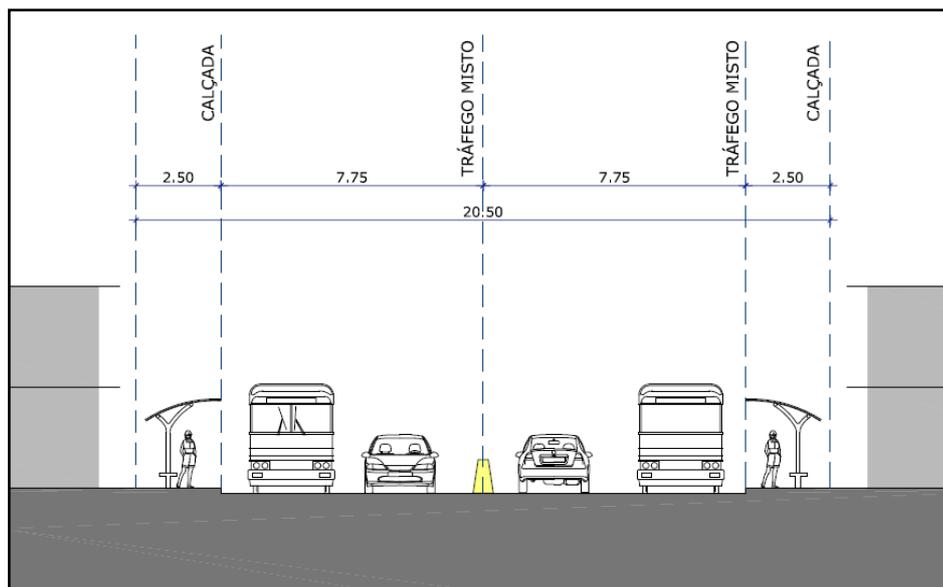
Fonte: A autora (2017).

Além da falta de priorização do transporte público, a Avenida Norte é uma via bem heterogênea, a saber: i) corredor não uniforme nas extremidades com a BR-101 e o Porto do Recife; ii) uso do solo diversificado; iii) denso com um elevado número de morros; iv) dificuldade de desapropriação; e v) elevada diferença de renda entre os moradores (Figura 16). Aponta-se ainda, a resistência do usuário do automóvel ao transporte público, que não é uma característica exclusiva da avenida, mas é um forte elemento que agrava os problemas de mobilidade. Essa diversidade foi o principal motivo de seleção do corredor como objeto de estudo.

**Figura 16** - Configuração da Av. Norte

Fonte: A autora (2017).

A via tem quatro faixas de rolamento na grande maioria da sua extensão, todas com tráfego misto. Cada sentido tem duas faixas, que totalizam 7,75m de largura (Figura 17). A avenida, que possui pavimento rígido, não apresenta canteiro central em boa parte da sua extensão (XAVIER, 2014).

**Figura 17** - Situação atual da Avenida Norte

Fonte: Xavier (2014).

Nóbrega (2013) destaca que dois trabalhos de campo realizados em 2005 e 2013, apontaram que 34% do eixo era formado por casas ou conjuntos de apartamento. Contudo, entre tal período, ocorreu uma alteração no sentido da verticalização existente na avenida. Em 2005, o perfil era de alguns edifícios com mais de 15 pavimentos, e em 2013, principalmente em determinadas áreas, a presença de prédios com mais de 20 pavimentos era comum.

Os serviços são responsáveis por aproximadamente 25% de toda a ocupação imobiliária existente, sendo a maior parte composta por serviços pessoais e de reparos (NÓBREGA, 2013). O principal elemento do comércio são os equipamentos profissionais, com destaque para as lojas de autopeças e equipamentos voltados para o setor automobilístico. Além disso, o autor informa que “não raro identificam-se casas que compartilham seus usos entre local de residência e comércio ou locais onde se realizam serviços. Assim, morador, consumidor e produtor se entrelaçam e se confundem”. Destaca-se ainda o fato de 10% dos lotes urbanos encontrados na avenida estavam em condições de reserva do capital, ou seja, é como se os proprietários dessa parcela do solo estivessem esperando um melhor momento para estabelecer um uso mais rentável da terra devido à dinâmica de reprodução do espaço urbano. É importante destacar que a presença de morros no percurso da avenida estudada é intensa.

Assim, conforme Nóbrega (2013), a atual configuração da Avenida Norte é uma consequência da ocupação dos espaços livres, que ocorreu de forma aleatória com adensamentos populacionais distribuídos difusamente. O autor justifica essa ocupação da seguinte forma:

Em meados de 1910, foi instituída uma linha de bonde que coexistia com a linha férrea<sup>31</sup>, a linha possuía um contorno pequeno, mas significativo para a ocupação e circulação das pessoas que habitavam a zona norte do Recife, assim o bonde saía do bairro de Santo Amaro e atingia as imediações da encruzilhada. Já na década de 1920, esse caminho onde coexistiam os sistemas de trem e bonde ganhou a toponímia de Avenida Norte abandonando a primitiva denominação de estrada do Limoeiro. Há essa altura essa via necessitava de uma adequação urbana para se tornar carroçável e gerar algum conforto ambiental a população que a servia, pois, a ocupação das margens já era bastante densa.

Em função das reformas urbanas higienistas implantadas por Agamenon Magalhães, por volta da década de 1940, na área central do Recife, a unidade ambiental dos morros foi seriamente ocupada pela parcela da população mais pobre, população essa que foi retirada de suas moradias. [...]

A fábrica de Apipucos foi responsável pelos primeiros traços da ocupação nesta área, esta foi instalada no bairro de Apipucos no último quartel do século XIX. [...]pois foram criadas vilas para instalar os operários [...].

---

<sup>31</sup> *The Great Western*, que ligava Recife a Limoeiro.

Dessa forma, o elevado número de moradores, originados dos bairros que cortam/margeiam a avenida e o uso desordenado do solo resulta no alto tráfego de pessoas, mercadorias e veículos. Para exemplificar, 58 linhas de ônibus circulam na avenida por dia útil, o que gera cerca de 5.605 viagens<sup>32</sup> (GRANDE RECIFE, 2017a). Além disso, cerca de 53.000 veículos circulam no corredor diariamente (CTTU, 2013 *apud* PASSOS, 2013).

A via estudada apresenta elevado número de veículos individuais, o que resulta em congestionamentos e externalidades negativas (Figura 18). Junte-se a isso, a baixa qualidade do transporte público e o limitado investimento em transportes não motorizados. Todos esses fatores promovem uma insatisfação nos usuários do corredor. Assim como a Avenida Norte, outras vias da Região Metropolitana do Recife (RMR) apresentam características semelhantes em termos de mobilidade urbana sustentável. Para se ter uma ideia, mesmo com uma redução de 0,16% entre os anos de 2016 e 2017, o crescimento da frota de veículos em dez anos (período entre 2007 e 2017) na RMR foi de aproximadamente 105,86%, como pode ser visto na Tabela 27.

**Figura 18** - Congestionamento na Avenida Norte



Fonte: Matos (2008).

---

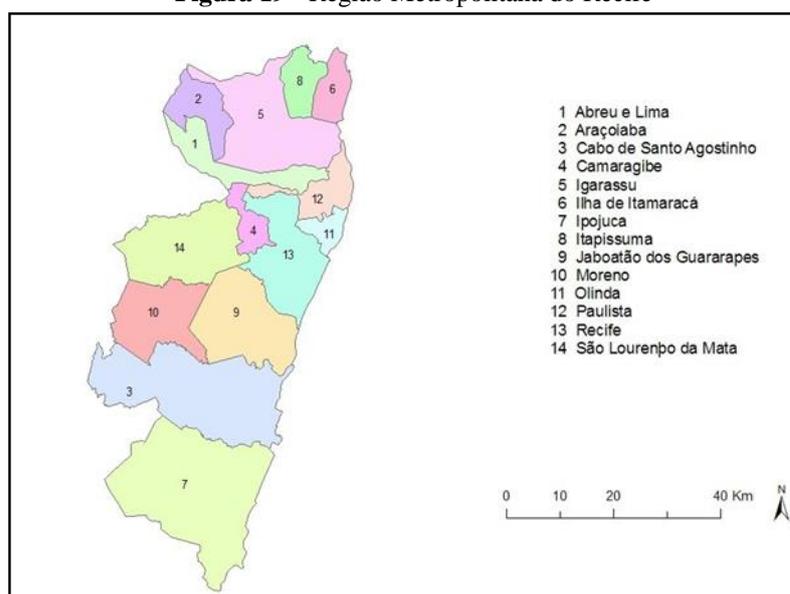
<sup>32</sup> Tabela disponível no Apêndice A.

**Tabela 27** - Evolução da frota veicular (janeiro de 2007 a janeiro de 2017)

Ano	Brasil	Variação	Pernambuco	Variação	RMR	Variação	Recife	Variação
2007	45.653.808	-	1.152.970	-	627.692	-	364.439	-
2008	50.013.236	+9,55%	1.272.542	+10,37%	678.393	+8,08%	388.652	+6,64%
2009	54.834.841	+9,64%	1.414.830	+11,18%	738.207	+8,82%	417.637	+7,46%
2010	59.705.311	+8,88%	1.581.924	+11,81%	810.696	+9,82%	453.863	+8,67%
2011	65.205.757	+9,21%	1.788.957	+13,09%	902.724	+11,35%	498.562	+9,85%
2012	70.965.139	+8,83%	2.011.941	+12,46%	998.865	+10,65%	543.631	+9,04%
2013	76.588.058	+7,92%	2.220.181	+10,35%	1.083.975	+8,52%	582.533	+7,16%
2014	82.060.911	+7,15%	2.413.618	+8,71%	1.156.364	+6,68%	613.692	+5,35%
2015	87.073.671	+6,11%	2.582.427	+6,99%	1.216.264	+5,18%	637.965	+3,96%
2016	91.485.547	+5,07%	2.827.614	+9,49%	1.294.221	+6,41%	679.298	+6,48%
2017	96.329.863	+5,30%	2.824.451	-0,11%	1.292.180	-0,16%	663.704	-2,30%
<b>TOTAL</b>		+111,00%		+144,97%		+105,86%		+82,12%

Fonte: Denatran (2017).

Nesse contexto, é importante informar que 14 municípios compõem a RMR (Figura 19), totalizando cerca de 3.940.456 habitantes (IBGE, 2016), conforme a Tabela 28. Cavalcanti (2017) destaca que as cidades de Jaboatão dos Guararapes, Olinda, Paulista e Recife apresentam alto nível interação. Além disso, em Abreu e Lima, Cabo de Santo Agostinho e Camaragibe, os movimentos populacionais tendem a intensificar devido aos atuais (e futuros) empreendimentos instalados nessas regiões. Todos esses fatores, segundo a autora, “impactam significativamente a dinâmica e a organização espacial da RMR”.

**Figura 19** - Região Metropolitana do Recife

Fonte: Baixar Mapas (2017).

**Tabela 28** - Dados sócio demográficos da RMR

<b>Cidade</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>População Estimada (2016)</b>
Abreu e Lima	126,193	98.990
Araçoiaba	96,381	20.046
Cabo de Santo Agostinho	448,735	202.636
Camaragibe	51,257	155.228
Igarassu	305,56	113.956
Ilha de Itamaracá	66,684	25.346
Ipojuca	527,107	92.965
Itapissuma	74,235	26.073
Jaboatão dos Guararapes	258,694	691.125
Moreno	196,072	61.577
Olinda	41,681	390.144
Paulista	97,312	325.590
Recife	218,435	1.625.583
São Lourenço da Mata	262,106	111.197
<b>TOTAL</b>	<b>2770,45</b>	<b>3.940.456</b>

Fonte: IBGE (2016).

A RMR é atendida pelo Sistema de Transporte Público de Passageiros da Região Metropolitana do Recife (STPP/RMR), gerenciado pelo Grande Recife Consórcio de Transporte. Uma empresa pública (Companhia Brasileira de Trens Urbanos – CBTU) e treze empresas privadas operam os serviços da STPP/RMR (GRANDE RECIFE, 2017b). Este é dividido em dois sistemas: Sistema Estrutural Integrado (SEI) e Sistema Complementar.

O SEI é uma rede de transporte público composta de linhas integradas de ônibus e metrô, que possibilita várias ligações de origem-destino, através de viagens modais ou multimodais. Apresenta uma configuração espacial constituída por eixos Radiais e Perimetrais (Figura 20). Dentre as radiais, destaca-se a Avenida Norte. Os Terminais de Integração, que permitem a troca de linha sem pagar uma nova tarifa, ficam situados nos cruzamentos de tais eixos (GRANDE RECIFE, 2017c).



## 6 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este capítulo apresenta a metodologia proposta para apontar critérios que possam ser utilizados na seleção de alternativas tecnológicas de transporte público. Para tal, a Av. Norte foi selecionada como objeto de estudo. Além disso, ficou estabelecido a aplicação de um questionário, que foi respondido por técnicos da área de transporte. Assim, com base nos estudos realizados nos capítulos anteriores, propõe-se que a metodologia seja fundamentada em um método de análise multicritério, denominado Processo de Hierarquização Analítica (do inglês, *Analytic Hierarchy Process* – AHP).

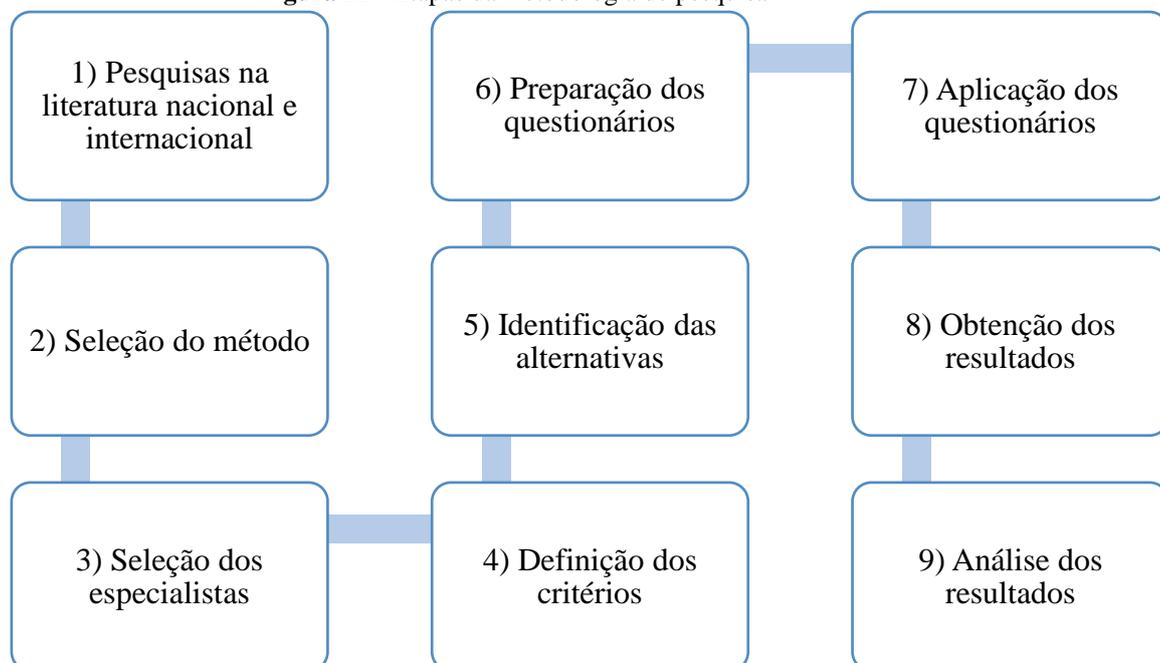
Como destacado anteriormente, o método foi escolhido devido ao seu grande uso em estudos de transportes e por ser o principal método para solução de problemas com múltiplos critérios que precisam de ordenamento das prioridades. Além de ser um método simples e confiável, é capaz de fornecer pesos para uma amostra qualitativa de alternativas, ou seja, de transformar índices qualitativos em quantitativos. Outro item importante diz respeito ao fato de ser uma boa ferramenta para ser aplicada em situações de avaliação e seleção de alternativas de investimentos, inclusive para definição das propostas de infraestrutura de transportes.

Contudo, alguns autores atentam para possíveis limitações do método, como: 1) a ineficiência para determinar a melhor opção quando o conjunto de alternativas é muito grande (YANG; KUO, 2003); 2) os especialistas montam a matriz de acordo com sua experiência, ou seja, torna-se algo subjetivo, embora este item seja considerado como uma qualidade por alguns autores (GUO *et al.*, 2006); 3) o decisor tem que julgar variáveis que ele tem interesse com outras que ele não considerada importante, e, nesse caso, a avaliação não é relevante (KORHONEN; TOPDAGI, 2003); e 4) elementos que embora pesem para a tomada de decisão, não devem constar na estrutura hierárquica (LIEDTKA, 2005).

No caso deste estudo os critérios foram agrupados para atender ao número limite de variáveis possíveis e a matriz foi composta com base em estudos já realizados. Além disso, os especialistas selecionados para responder os questionários vão dar pesos primeiro aos critérios e posteriormente comparar as alternativas com base em tais critérios, ou seja, não é uma escolha direta da melhor alternativa, o que poderia influenciar o resultado final. Em relação ao item 4, todas as variáveis selecionadas podem ser comparadas sem ocorrer uma sobreposição de critérios e/ou alternativas.

Como essas limitações não influenciam no estudo desta dissertação, o método foi mantido. De forma sintetizada, a figura a seguir representa as etapas da metodologia de pesquisa.

**Figura 21** - Etapas da metodologia de pesquisa



A primeira etapa da metodologia foi a realização de pesquisas na literatura nacional e internacional sobre os seguintes temas, considerados importantes para este estudo: 1) planejamento dos transportes e levantamento dos principais critérios para implantação de uma opção de transporte público em um corredor; 2) alternativas de transporte público e suas características; e 3) método de decisão multicritério. Para o levantamento bibliográfico, foram acessados artigos de revistas e congressos, bem como dissertações e teses de universidades nacionais e internacionais. As palavras-chave utilizadas para a pesquisa foram: mobilidade urbana sustentável, gestão de demanda de viagens, planejamento dos transportes, rede de transportes, decisão de investimento em transportes, critérios de decisão em transportes, método de análise multicritério e AHP. Em relação as alternativas de transporte público, as seguintes palavras-chave foram utilizadas: características, custo, prazo de implantação e impactos do BRT, VLT, monotrilho, metrô e faixas exclusivas de ônibus.

Após o estudo, o método e o grupo de especialistas, responsável pelos julgamentos na fase da avaliação multicriterial dos critérios e alternativas, foram selecionados. Os 25 especialistas escolhidos são conhecedores do problema a ser definido, como as particularidades do corredor selecionado e das características das alternativas propostas. Por esse motivo, a amostra será limitada.

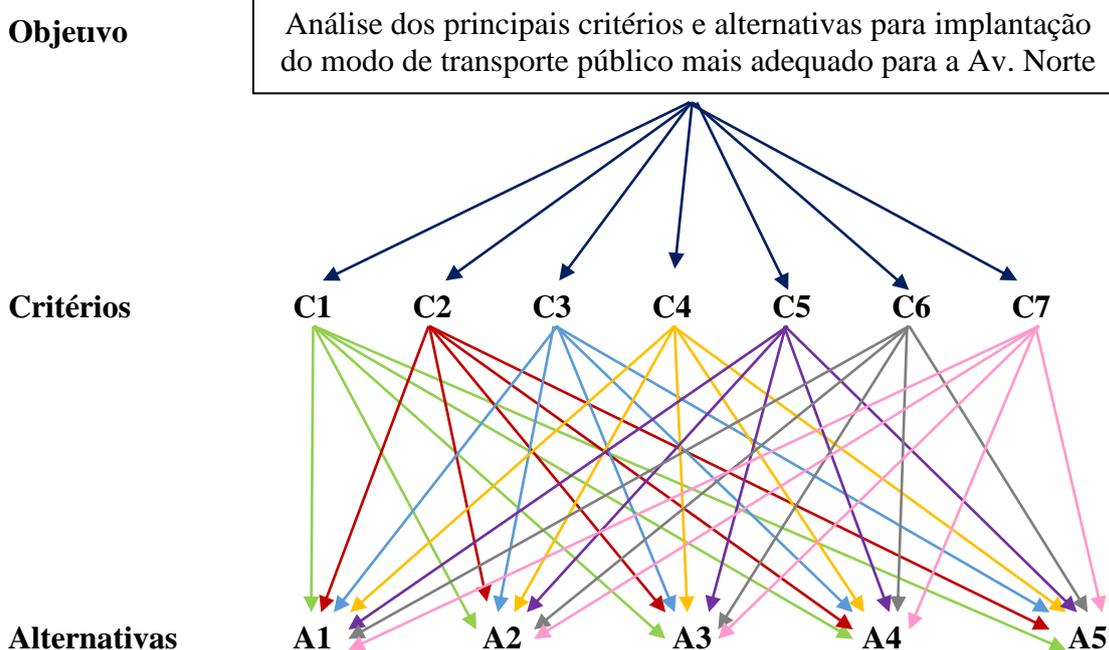
A fase seguinte foi a seleção dos critérios e alternativas, descritos nos Capítulos 3 e 4 desta dissertação. A escolha foi baseada nos critérios e alternativas mais citados pelos autores em pesquisas realizadas anteriormente. As alternativas selecionadas foram: BRT, VLT, monotrilho, metrô e faixa exclusiva de ônibus. A Tabela 29 apresenta os critérios selecionados e as respectivas formas de análise.

**Tabela 29** - Critérios selecionados e definições

<b>Critérios</b>	<b>Definição</b>
<b>C1: Espaço para implantação</b> (BOARETO, 2003; OLIVEIRA; ROSA, 2013; HADLICH <i>et al.</i> , 2012)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Espaço necessário</b> para implantação de <b>toda a infraestrutura</b> do transporte público (via, estações, terminais de integração etc.).</li> <li>– Deve-se levar em consideração as <b>futuras intervenções</b> no espaço já construído, de forma a evitar <b>grandes desapropriações</b>.</li> </ul>
<b>C2: Custo e prazo de implantação</b> (SOUZA, 2015; HOTTA, 2007; SILVA; CAVALCANTI NETTO, 2010); ARIAS, 2001)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Custo</b> necessário à <b>implantação e funcionamento</b> inicial de <b>toda a infraestrutura</b> do transporte público (via, estações, terminais de integração, veículos, sistema de bilhetagem, sinalização, etc.).</li> <li>– <b>Tempo</b> decorrido entre a necessidade e o pleno uso da infraestrutura.</li> </ul>
<b>C3: Custo de operação e manutenção</b> (SOUZA, 2015; HOTTA, 2007; ARIAS, 2001)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Custo</b> necessário para <b>manter o sistema funcionando</b> dentro dos padrões estabelecidos, bem como para possíveis ajustes às novas demandas e <b>manutenção</b> adequada.</li> <li>– Os gastos devem ser ponderados de acordo com a <b>vida útil</b> esperada para infraestrutura.</li> </ul>
<b>C4: Intrusão visual e poluição</b> (SOUZA, 2015; HOTTA, 2007; QUADROS; NASSI, 2014; SILVA; CAVALCANTI NETTO, 2010; DUARTE; SOUZA, 2005; ARIAS, 2001)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Impacto visual</b> gerado pela presença do sistema na paisagem urbana.</li> <li>– <b>Poluição atmosférica</b> produzida ao longo do corredor e do seu entorno.</li> <li>– <b>Níveis de ruído</b> gerados ao longo do corredor e do seu entorno.</li> </ul>
<b>C5: Capacidade</b> (SOUZA, 2015; BORGES JÚNIOR; FONSECA, 2002)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Capacidade</b> de passageiros do veículo.</li> </ul>
<b>C6: Rapidez</b> (FERRAZ; TORRES, 2004; HENSHER <i>et al.</i> , 2003; REDMAN <i>et al.</i> , 2013; HOTTA, 2007; OLIVEIRA; ROSA, 2013; BORGES JÚNIOR; FONSECA, 2002; RODRIGUES, 2008)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Tempo de viagem</b> entre pontos específicos.</li> <li>– Depende do <b>grau de separação</b> da via de transporte público do tráfego geral, da <b>distância</b> entre os locais de parada, das <b>condições da superfície</b> de rolamento, das <b>condições do trânsito</b> e do <b>tipo de tecnologia</b> dos veículos.</li> </ul>
<b>C7: Conforto</b> (FERRAZ; TORRES, 2004; REDMAN <i>et al.</i> , 2013; HOTTA, 2007; OLIVEIRA; ROSA, 2013; ABREU <i>et al.</i> , 2015; DUARTE; SOUZA, 2005; BORGES JÚNIOR; FONSECA, 2002; RODRIGUES, 2008)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Nível de conforto</b> da viagem, incluindo a quantidade de passageiros no interior dos veículos, os assentos, nível de ruído interno, temperatura dentro do veículo e nas estações.</li> </ul>

Na sequência o questionário foi preparado e aplicado aos especialistas. Buscou-se ao máximo propor perguntas sucintas e de fácil compreensão para evitar que os entrevistados respondessem com menos interesse os julgamentos finais. Baseado nos itens selecionados e para entender melhor o propósito desta dissertação, a Figura 22 apresenta a definição do objetivo principal, critérios e alternativas que serão analisadas, bem como o questionário proposto e as fases do Processo de Hierarquização Analítica.

**Figura 22** - Estrutura hierárquica proposta para aplicação do AHP



Onde:

**C1:** Espaço para implantação

**C2:** Custo e prazo de implantação

**C3:** Custo de operação e manutenção

**C4:** Intrusão visual e poluição

**C5:** Capacidade

**C6:** Rapidez

**C7:** Conforto

**A1:** BRT

**A2:** VLT

**A3:** Monotrilho

**A4:** Metrô subterrâneo

**A5:** Ônibus comum em faixa exclusiva

Para a realização das comparações par a par, os entrevistados julgaram os critérios e alternativas com base na escala proposta por Saaty (1977), apresentada na Tabela 30. De acordo com Costa e Belderrain (2009), estudos de cunho psicológico consideram que o ser humano pode julgar corretamente  $7 \pm 2$  pontos. Baseado neste limite psicológico, Saaty propôs nove pontos para distinguir as diferenças entre as alternativas em sua escala fundamental. Assim, com valores entre 1 e 9, a escala foi utilizada para expressar a importância de uma variável sobre a outra. Assim, se por exemplo, um atributo A tem importância extrema (valor numérico igual a 9) em relação a B, então B é extremamente menos importante do que A e é julgado como 1/9.

**Tabela 30** - Escala de Saaty

<b>Intensidade de importância</b>	<b>Definição</b>	<b>Explicação</b>
1	Igual importância para ambos os elementos.	Dois elementos contribuem igualmente.
3	Importância moderada de um elemento sobre o outro.	Experiência e julgamento favorecem um elemento sobre o outro.
5	Importância forte de um elemento sobre o outro.	Um elemento é fortemente favorecido sobre o outro.
7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro.	Um elemento é muito fortemente favorecido sobre o outro.
9	Importância extrema de um elemento sobre o outro.	Um elemento é favorecido por pelo menos uma ordem de magnitude.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários.	Usados para opiniões intermediárias entre dois julgamentos.

Fonte: Saaty (1977).

Os entrevistados responderam dois tipos de perguntas a partir de comparações pareadas dos critérios e das alternativas e expressaram na Escala Verbal (1 - 9) seu julgamento sobre a importância da variável escolhida com relação a variável “desprezada”. Para responder a primeira pergunta - “Quais dos critérios apresentados têm maior importância para implantação de um corredor de transporte público na Av. Norte?” - os especialistas escreveram na célula “Critério Escolhido” da Tabela 31 o código do critério avaliado com importância equivalente ou mais importante do que o outro.

Tabela 31 - Comparação dos critérios

Comparação de pares	Critério escolhido	Intensidade de importância								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
C1: Espaço para implantação x C2: Custo e prazo de implantação		1	2	3	4	5	6	7	8	9
C1: Espaço para implantação x C3: Custo de operação e manutenção		1	2	3	4	5	6	7	8	9
C1: Espaço para implantação x C4: Intrusão visual e poluição		1	2	3	4	5	6	7	8	9
C1: Espaço para implantação x C5: Capacidade		1	2	3	4	5	6	7	8	9
C1: Espaço para implantação x C6: Rapidez		1	2	3	4	5	6	7	8	9
C1: Espaço para implantação x C7: Conforto		1	2	3	4	5	6	7	8	9
C2: Custo e prazo de implantação x C3: Custo de operação e manutenção		1	2	3	4	5	6	7	8	9
C2: Custo e prazo de implantação x C4: Intrusão visual e poluição		1	2	3	4	5	6	7	8	9
C2: Custo e prazo de implantação x C5: Capacidade		1	2	3	4	5	6	7	8	9
C2: Custo e prazo de implantação x C6: Rapidez		1	2	3	4	5	6	7	8	9
C2: Custo e prazo de implantação x C7: Conforto		1	2	3	4	5	6	7	8	9
C3: Custo de operação e manutenção x C4: Intrusão visual e poluição		1	2	3	4	5	6	7	8	9
C3: Custo de operação e manutenção x C5: Capacidade		1	2	3	4	5	6	7	8	9
C3: Custo de operação e manutenção x C6: Rapidez		1	2	3	4	5	6	7	8	9
C3: Custo de operação e manutenção x C7: Conforto		1	2	3	4	5	6	7	8	9
C4: Intrusão visual e poluição x C5: Capacidade		1	2	3	4	5	6	7	8	9
C4: Intrusão visual e poluição x C6: Rapidez		1	2	3	4	5	6	7	8	9
C4: Intrusão visual e poluição x C7: Conforto		1	2	3	4	5	6	7	8	9
C5: Capacidade x C6: Rapidez		1	2	3	4	5	6	7	8	9
C5: Capacidade x C7: Conforto		1	2	3	4	5	6	7	8	9
C6: Rapidez x C7: Conforto		1	2	3	4	5	6	7	8	9

Posteriormente, os especialistas relacionaram os critérios com as alternativas para responderem a segunda pergunta: “Levando em consideração as características da Av. Norte, qual das alternativas apresentadas é mais adequada para atender o Critério  $C_n$ ?”, sendo  $C_n$  o critério avaliado naquele momento. Por exemplo, para o critério  $C_n$ , os participantes escreveram na célula “Alternativa Escolhida” da Tabela 46 o código da alternativa que eles avaliaram igualmente ou mais adequada para atender o critério  $C_n$ . E na sequência, destacaram na Escala verbal (1-9) a importância da alternativa escolhida em relação a “desprezada”. É relevante destacar que a Tabela 32 será aplicada para todos os 7 critérios<sup>33</sup>.

<sup>33</sup> O questionário completo está disponível no Apêndice B desta dissertação.

**Tabela 32** - Comparação das alternativas em relação ao critério Cn

Comparação de pares	Alternativa escolhida	Intensidade de importância								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
A1: BRT x A2: VLT		1	2	3	4	5	6	7	8	9
A1: BRT x A3: Monotrilho		1	2	3	4	5	6	7	8	9
A1: BRT x A4: Metrô subterrâneo		1	2	3	4	5	6	7	8	9
A1: BRT x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva		1	2	3	4	5	6	7	8	9
A2: VLT x A3: Monotrilho		1	2	3	4	5	6	7	8	9
A2: VLT x A4: Metrô subterrâneo		1	2	3	4	5	6	7	8	9
A2: VLT x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva		1	2	3	4	5	6	7	8	9
A3: Monotrilho x A4: Metrô subterrâneo		1	2	3	4	5	6	7	8	9
A3: Monotrilho x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva		1	2	3	4	5	6	7	8	9
A4: Metrô subterrâneo x A5: Ônibus em faixa exclusiva		1	2	3	4	5	6	7	8	9

Após a aplicação dos questionários com os técnicos da área de transportes, foi possível converter os julgamentos qualitativos em valores numéricos com a utilização da Escala de Saaty (Tabela 44). O AHP estabelece que a ponderação deve ser executada por uma comparação pareada, disposta em uma matriz quadrada  $n \times n$ , onde as linhas e as colunas correspondem aos  $n$  critérios/alternativas. A matriz quadrada de julgamento é elaborada, como a apresentada a seguir:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Onde, cada linha  $i \in N$  corresponde as razões entre o peso do critério de índice  $i$ , em relação aos demais  $j \in N$ , sendo  $N = \{1, 2, \dots, n\}$ . Ou seja,  $a_{ij}$  equivale ao valor dado pelo especialista quando compara o critério da linha  $i$  com um dos critérios das colunas  $j$ , sendo  $a_{ij} > 0$ ;  $a_{ij} = 1/a_{ji}$  e  $a_{ii} = 1 \forall i$ . Dessa forma, apenas metade das comparações precisa ser efetuada, uma vez que a outra metade se constitui das comparações recíprocas, que são os valores recíprocos já comparados (MEIRA, 2013; QUADROS, 2014).

Para interpretar e dar os pesos relativos a cada critério é necessário normalizar a matriz comparativa anterior através da divisão entre cada valor da matriz com o somatório de cada coluna. Isto é,  $v_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i \in N} a_{ij}}$ , onde  $v_{ij}$  são os pesos normalizados para todo  $i, j \in N$  e  $\sum_{i \in N} v_{ij} = 1, \forall j \in N$  (VARGAS, 2010; QUADROS, 2014).

O próximo passo é definir o autovetor principal  $W$  da matriz  $A$ , que tem a capacidade de estimar as prioridades dos elementos (SAATY, 1977). Na equação a seguir,  $\lambda_{\text{máx}}$  é o maior autovalor da matriz  $A$ . Ao ser normalizado, o vetor  $W$  torna-se o vetor de prioridades dos elementos de um nível em relação ao nível superior.

$$AW = \lambda_{\text{máx}} \times W \quad (2)$$

Meira (2013) coloca que nas situações em que a comparação pareada da matriz satisfaz a transitividade para todas as comparações, a matriz é dita consistente e a seguinte relação é verificada:

$$a_{ij} = a_{ik}a_{kj} \quad \forall i, j, k \quad (3)$$

Em seguida, deve-se determinar a consistência da matriz de julgamento através da Taxa de Consistência – TC (do inglês, *Consistency Ratio*). Nesse contexto, é importante salientar que o método AHP permite inconsistência, contudo, fornece uma medida da inconsistência em cada grupo de julgamentos. Além disso, o número de elementos considerados não deve ser superior a nove para que a consistência seja razoável (BERRITTELLA *et al.*, 2007).

$$TC = \frac{IC}{IR} \quad (4)$$

Onde, IC é o Índice de Consistência – IC (do inglês, *Consistency Index*) e IR é o Índice Randômico – IR (do inglês, *Random Index*). IR é obtido a partir de consistências médias de matrizes geradas aleatoriamente fornecidas por Saaty (1977) e disponíveis na Tabela 33. Já o Índice de Consistência para uma matriz de ordem  $n$  é determinado como:

$$IC = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} \quad (5)$$

**Tabela 33 - Índice Randômico (IR)**

Ordem da matriz (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0,00	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Fonte: Saaty (1977).

A matriz é considerada consistente se a razão for menor que 10% (QUADROS, 2014). No entanto, Berrittella *et al.* (2007) acrescentam que se a matriz for de ordem 4, a razão reduz para 8% e se for tamanho 3, o limite é de 5%. Se o valor for superior a tais limites, provavelmente, os julgamentos não são confiáveis e devem ser obtidos novamente.

A próxima etapa é obter as prioridades finais das alternativas  $a_i$ . Para tal, as prioridades devem ser agregadas, conforme a Equação (6). Nesta equação,  $w_k$  corresponde a prioridade local do elemento  $k$  e  $S_k(a_i)$  é a prioridade da alternativa  $a_i$  em relação ao elemento  $k$  de nível superior.

$$S_{(a_i)} = \sum_k w_k S_k(a_i) \quad (6)$$

Uma amostra de dados pode apresentar valores espúrios (*outliers*: valores discrepantes), que diferem significativamente das outras medidas. Neste caso, os valores devem ser descartados. Para excluí-los, aplica-se o método de Chauvenet a uma amostra de  $n$  eventos. O critério visa identificar o maior desvio da amostra, o que implica em calcular o desvio  $d_i$  de cada evento em relação à média  $d_i = x_i - \bar{x}$ . O critério de eliminação depende do parâmetro  $d_{m\acute{a}x}/\sigma$ , e é dado por:

$$\frac{d_i}{\sigma} > \frac{d_{m\acute{a}x}}{\sigma} \quad (7)$$

Onde,  $d_{m\acute{a}x}$  é o maior desvio padrão e  $\sigma$  é o desvio padrão amostral (SCHNEIDER, 2000). Os valores de  $d_{m\acute{a}x}/\sigma$  estão apresentados na Tabela 34:

**Tabela 34** - Critérios de rejeição de Chauvenet

nº. de observações	$d_{m\acute{a}x}/\sigma$	nº de observações	$d_{m\acute{a}x}/\sigma$
3	1,38	25	2,33
4	1,54	50	2,57
5	1,65	100	2,81
6	1,73	300	3,14
7	1,8	500	3,29
10	1,96	1.000	3,48
15	2,13		

Fonte: Holman (2012).

Finalmente, após realizar todas essas etapas para cada questionário respondido, deve-se agregar as respostas individuais em um julgamento único para o grupo a partir do método de

Agregação de Julgamentos Individuais (*Aggregating Individual Judgements* – AIJ). Tal julgamento é simulado através da média geométrica dos julgamentos individuais (COSTA; BELDERRAIN, 2009). Os autores colocam que a agregação dos julgamentos por médio geométrica deve satisfazer as seguintes condições:

- Condição de unanimidade (Princípio de Pareto): se  $a_i \geq b_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , então,  $\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n a_i} \geq \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n b_i}$ , sendo  $a_i \geq 0$  e  $b_i \geq 0$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ .
- Condição de homogeneidade: se todos os indivíduos julgarem um critério A como  $n$  vezes mais importante que o critério B, então o julgamento final após a agregação dos julgamentos individuais também deve apresentar A  $n$  vezes mais importante que B. Considerando tais fatores, conclui-se que para o método AIJ, é imperativo que a agregação dos julgamentos seja feita por meio da média geométrica. Embora o princípio de Pareto seja inaplicável para o AIJ como um todo, para a agregação de julgamentos ele se faz matematicamente necessário.

Depois de todas as etapas realizadas<sup>34</sup>, os resultados e suas análises são obtidas. Assim, o capítulo seguinte irá descrever o julgamento agregado dos entrevistados e a partir daí, será possível chegar ao objetivo final desta pesquisa – identificar o modo de transporte público mais adequado para a Av. Norte Miguel Arraes de Alencar.

---

<sup>34</sup> Para facilitar o entendimento do processo, um exemplo de cálculo de um dos questionários está disponível no Apêndice C. Além disso, o método de Agregação de Julgamentos Individuais está descrito no Apêndice D.

## 7 RESULTADOS E ANÁLISES

Os questionários foram aplicados com 25 técnicos e planejadores urbanos ligados à área de mobilidade urbana na RMR, com atuação no passado e no presente em importantes instituições como Instituto da Cidade Pelópidas Silveira, Grande Recife Consórcio de Transporte, Companhia Brasileira de Trens Urbanos, Departamento Estadual de Trânsito de Pernambuco, Companhia de Trânsito e Transporte Urbano do Recife e Tribunal de Contas do Estado de Pernambuco. Destaca-se ainda a presença de professores da Universidade Federal de Pernambuco, que também atuam na área. Para transformar os dados dos 25 entrevistados em um grupo, foi utilizado o método de Agregação de Julgamentos Individuais.

Durante as entrevistas, duas perguntas foram realizadas. A primeira, que dizia respeito a importância de sete critérios para implantação de um corredor de transporte público na Av. Norte e a segunda que relacionava as alternativas com cada critério. Para responder as perguntas os entrevistados apontaram pesos para as variáveis. Como algumas das respostas apresentaram discrepância das demais, podendo influenciar assim no resultado final, elas foram excluídas.

Por exemplo, dentre os pesos do Critério 3 em relação ao 5, dispostos na tabela a seguir, os mais discrepantes (7, 7 e 6) foram eliminados. Com base nos cálculos apresentados na seção anterior e a partir de planilhas preparadas no Excel, os valores espúrios foram identificados e eliminados através do método de Chauvenet.

**Tabela 35** - Comparação do Critério 3 em relação ao Critério 5

1	1	1	0,125	0,11111
0,2	3	0,14286	7	0,33333
0,2	1	7	3	0,25
3	0,33333	1	0,125	6
0,16667	2	0,2	1	1

O AHP aponta a necessidade de verificar a consistência dos dados através da Taxa de Consistência (TC). Assim, com base na avaliação da TC foi observado que o Critério 2 (Custo e Prazo de Implantação) não atendeu a verificação, uma vez que o TC foi aproximadamente 0,15 e, segundo o AHP, quando o número de variáveis é maior ou igual a 5, a taxa deve ser menor do que 0,1.

Como a consistência da análise do Critério 2 não foi aceitável, duas opções poderiam ser utilizadas: aplicar o questionário novamente para uma reavaliação dos julgamentos ou eliminar o critério. O fato dos cálculos não terem sido realizados com o uso do programa Expert Choice, que aponta exatamente a inconsistência de cada matriz analisada, dificultou essa identificação detalhada. Ou seja, seria necessário aplicar o questionário novamente com todos os entrevistados. Dado a dificuldade de reencontrar os entrevistados, optou-se por adotar a segunda alternativa de eliminar o Critério 2 (Custo e prazo de implantação). É importante destacar que alguns entrevistados deram alta importância a esse critério, inclusive informaram que ele sofre forte influência dos demais.

Diante dessas circunstâncias, o resultado da média geométrica das respostas do grupo para os critérios foi obtido com os seis critérios restantes (Espaço para implantação, Custo de operação e manutenção, Intrusão visual e poluição, Capacidade, Rapidez e Conforto). A Tabela 36 apresenta os pesos dado aos critérios.

**Tabela 36** - Média geométrica das respostas do grupo para os critérios (25 entrevistados)

<b>Classificação</b>	<b>Crítérios</b>	<b>Resultado</b>
1	Capacidade	25,70%
2	Espaço para implantação	24,20%
3	Rapidez	16,53%
4	Custo de operação e manutenção	15,78%
5	Conforto	10,92%
6	Intrusão visual e poluição	6,87%
<b>SOMA</b>		<b>100,00%</b>

O critério Capacidade apresentou maior importância para implantação de um corredor de transporte público na Av. Norte. De fato, se a infraestrutura de transporte público for entregue ao usuário sem atender a demanda atual e futura, em pouco tempo o sistema ficará saturado. Assim, deve-se entender o limite da alternativa modal selecionada e ver se é compatível com a demanda futura, bem como se tem condições de articular com o sistema de transporte da cidade. Outro ponto importante destacado por alguns entrevistados é que a capacidade depende da operação, ou seja, quanto mais eficiente for a operação do sistema, maior será a capacidade atingida.

Com uma pequena diferença de 1,5%, o critério Espaço para implantação apareceu em segundo lugar. O fato da via estudada não ofertar área suficiente para implantar toda a infraestrutura necessária, caso da maioria das alternativas modais aqui estudadas, influenciou nas respostas dos entrevistados. Outra grande dificuldade diz respeito ao elevado número de residência e comércio na

avenida e no seu entorno, o que implica diretamente na necessidade de desapropriação. A definição desse critério indica justamente que se deve evitar ao máximo grandes desapropriações, uma vez que é um processo que demanda tempo, tem um custo elevado, pode gerar problemas sociais e a área estudada já é um espaço construído.

O critério Rapidez, analisado como o tempo total de viagem, vem na terceira posição com 16,53%. Como é um item que abrange todos os tempos de deslocamento, esse critério não sofre influência apenas da velocidade do veículo, outros itens como qualidade das infraestruturas para o pedestre, tempo de acesso a plataforma e tempo de espera influenciam na rapidez. O nível de importância do item Rapidez está relacionado com o elevado tempo total de viagem demandado pelos usuários de transporte público da Região Metropolitana do Recife. Assim, a decisão da tecnologia inclui a preocupação com o aumento da confiabilidade e a redução desse tempo. Isso é possível com o nível de segregação dado ao transporte público.

Custo de operação e manutenção é o quarto critério mais importante com 15,78%. Esse custo, que durante as análises foi ponderado com a vida útil esperada para infraestrutura, apresentou uma diferença de 0,75% em relação ao critério Rapidez. A baixa importância dada a esse critério parece ter relação com o fato de que “no Brasil, o custeio da operação do transporte público por ônibus urbano é feito em geral pelas receitas gerais arrecadadas com base nas tarifas pagas pelos usuários dos serviços de transporte” (IPEA, 2013). Mesmo ocupando a quarta posição, alguns entrevistados destacaram que existe uma maior facilidade em obter recursos para implantação de uma alternativa modal frente aos voltados para operar e manter o sistema.

O nível de conforto da viagem foi apontado como algo menos importante em comparação com a rapidez, pois muitos entrevistados acreditam que é melhor a alternativa ser mais rápida e confortável. Isso pode ser comprovado ao analisar que o critério Conforto ficou em quinto lugar com 10,92%. É importante enfatizar que esse critério é muito observado pelos usuários e que por ser algo subjetivo, varia com as suas necessidades e com a situação da cidade. No trabalho Oliveira e Rosa (2013), por exemplo, o critério Qualidade, que engloba o atributo conforto, apareceu como o mais importante para os usuários (52,15%). Já Santos (2004) coloca que cidades com coberturas espacial e temporal limitadas, o índice de conforto não é fator de prioridade.

Quanto ao último colocado, mesmo com o constante debate em relação ao tema poluição, os resultados indicam que durante o processo de tomada de decisão, o critério Intrusão

visual e poluição é o menos importante (6,87%). Isso pode ser justificado devido ao fato de que boa parte dos entrevistados acredita que a Av. Norte já é poluída visualmente, o que levou a uma maior ênfase na intrusão visual frente as poluições atmosférica e sonora. Ou seja, de acordo com alguns técnicos e planejadores por possuir esse tipo de poluição, a alternativa que for escolhida não irá gerar grande impacto na via estudada. Contudo, é relevante destacar que todas as alternativas modais aqui estudadas apresentam ou podem optar por tecnologias mais limpas a fim de minimizar os impactos ambientais. Em todo caso, qualquer que seja a priorização dada ao transporte público terá uma consequência positiva frente ao individual.

Posteriormente, os entrevistados compararam cinco alternativas de transporte público (BRT, VLT, Monotrilho, Metrô e Ônibus em faixa exclusiva) em função dos critérios. A Tabela 37 traz as médias geométricas das respostas para as alternativas em relação ao Critério Espaço para implantação.

**Tabela 37** - Média geométrica das respostas do grupo para as alternativas em relação ao Critério Espaço para implantação

<b>Classificação</b>	<b>C1: Espaço para implantação</b>	<b>Resultado</b>
1	Metrô subterrâneo	44,90%
2	Ônibus em faixa exclusiva	28,90%
3	VLT	11,20%
4	Monotrilho	8,15%
5	BRT	6,86%
<b>SOMA</b>		<b>100,00%</b>

Os resultados apontam que em relação ao critério Espaço para implantação, a alternativa de modo que requer uma menor área para implantar toda a infraestrutura necessária é o Metrô (44,90%), seguido pelo Ônibus em faixa exclusiva e VLT com 28,90% e 11,20%, respectivamente. Nas últimas posições ficaram o Monotrilho com 8,15% e o BRT com 6,86%. De fato, se for levado em consideração exclusivamente o espaço necessário para a operação e não para a fase de construção também, o metrô apresenta destaque, uma vez que as áreas em superfície se limitam apenas as entradas das estações.

Ainda em termos de espaço para implantação, os dados levantados pela literatura expõem apenas a largura necessária para a via e estação para a maioria das alternativas, com exceção do monotrilho, que apresenta somente a largura das vias. Com essas restrições duas comparações podem ser realizadas – a primeira com a alternativa Ônibus em faixa exclusiva sem baia e Monotrilho (sem

espaço para estação) e a segunda com a alternativa Ônibus em faixa exclusiva com baia e Monotrilho (sem espaço para estação).

Na primeira situação, as alternativas que ocupam um menor espaço para implantação estão ordenadas da seguinte forma: Metrô, BRT, Ônibus em faixa exclusiva, VLT e Monotrilho. Ao checar com a ordem apresentada pelos entrevistados, pode-se perceber que com exceção do Metrô, as demais alternativas possuem níveis de importância diferentes – BRT, Ônibus comum em faixa exclusiva sem baia, VLT e Monotrilho. Na segunda situação, o Metrô permanece na primeira posição, mas as demais alternativas apresentam ordem distinta, a saber: BRT, VLT, Monotrilho e Ônibus em faixa exclusiva. E ao comparar com as respostas dos técnicos e planejadores, observa-se que o BRT e o Ônibus comum em faixa exclusiva com baia têm importância distintas.

As duas situações podem ser explicadas devido à ausência de informações teóricas a respeito da área necessária para implantar toda a infraestrutura, uma vez que em geral, somente o espaço para a via e estação é debatido. Merece destaque o fato de não ter sido encontrada informação teórica sobre a área das estações do Monotrilho. Contudo, os técnicos e planejadores acreditam que o espaço requerido para tal é alto, o que justifica essa alternativa ter ficado na quarta posição. A opinião dos entrevistados corrobora com literatura, pois de acordo com a SPTRANS (2012), a área exigida para o monotrilho deve incluir uma folga de 10 metros, no mínimo entre a parede externa da estação e o edifício mais próximo.

Em relação ao critério Custo de operação e manutenção, a Tabela 38 expõe o resultado da média geométrica das alternativas. A alternativa Ônibus em faixa exclusiva foi a que apresentou maior importância, ou seja, é a que possui menor custo para operar e manter. A diferença dessa alternativa em comparação com as demais recebeu um peso elevado, com cerca de 57%. Com um nível de importância bem próximos, ficaram o BRT (14,37%) e o VLT (14,21%), seguidos pelo Monotrilho e Metrô com 8,13% e 6,26%, respectivamente.

**Tabela 38** - Média geométrica das respostas do grupo para as alternativas em relação ao Critério Custo de operação e manutenção

<b>Classificação</b>	<b>C3: Custo de operação e manutenção</b>	<b>Resultado</b>
1	Ônibus em faixa exclusiva	57,02%
2	BRT	14,37%
3	VLT	14,21%
4	Monotrilho	8,13%
5	Metrô subterrâneo	6,26%
	<b>SOMA</b>	<b>100,00%</b>

De acordo com os dados estudados na literatura, o BRT apresenta um menor custo de operação e manutenção em relação ao VLT e Metrô, a saber R\$ 1,13, R\$ 1,34 e R\$ 5,78 respectivamente por passageiro. Os especialistas entrevistados também concordaram com essa comparação. Além disso, mesmo fazendo uma ponderação com a vida útil esperada para infraestrutura, eles apontaram que o transporte público rodoviário possui um menor custo de operação e manutenção em relação ao ferroviário.

Já a Tabela 39 apresenta a média geométrica da resposta do grupo para as alternativas em função do critério Intrusão visual e poluição. Dentre os itens avaliados nesse critério, maior ênfase foi dada a intrusão visual, o que justifica a primeira posição do Metrô (54,55%) e a última do Monotrilho (5,51%). Além disso, a poluição atmosférica do metrô é menor, pois possui tração elétrica e não emite gases poluentes (HADLICH *et al.*, 2012). A ordem das outras opções pode estar relacionada com o porte das tecnologias, ou seja, quanto mais robusto maior o impacto visual. Assim, a segunda alternativa mais importante também foi uma opção ferroviária – VLT com 20,92%, seguido pelo Ônibus em faixa exclusiva (10,60%) e o BRT (8,42%).

**Tabela 39** - Média geométrica das respostas do grupo para as alternativas em relação ao Critério Intrusão visual e poluição

Classificação	C4: Intrusão visual e poluição	Resultado
1	Metrô subterrâneo	54,55%
2	VLT	20,92%
3	Ônibus comum em faixa exclusiva	10,60%
4	BRT	8,42%
5	Monotrilho	5,51%
<b>SOMA</b>		<b>100,00%</b>

Oliveira *et al.* (2010) destacam que as alternativas que possuem uma menor poluição sonora são VLT e Monotrilho (60 a 80 decibéis), seguidos pelo BRT (70 a 90 decibéis) e Metrô (75 a 100 decibéis). Os autores não apontaram tais dados para o Ônibus em faixa exclusiva. Se durante as comparações par a par, o critério poluição fosse observado separadamente, o julgamento dos entrevistados estaria distinto da literatura. De fato, o critério Intrusão visual e poluição não foi facilmente analisado devido a junção de três tipos de poluição (visual, atmosférica e sonora), e foi pedido para que os especialistas informassem a situação menos inadequada (por exemplo, é menos inadequado a poluição visual da alternativa X ou a poluição atmosférica da alternativa Y).

Ao analisar as alternativas em função do Critério Capacidade (Tabela 40), percebe-se que o Metrô ficou em primeiro lugar e, mais uma vez, com uma importância bem elevada frente as demais alternativas. Com pesos bem próximos ficaram o VLT (13,51%) e o BRT (12,45%) e nas últimas posições com 7,01% e 5,51% estão o Monotrilho e o Ônibus em faixa exclusiva, respectivamente.

**Tabela 40** - Média geométrica das respostas do grupo para as alternativas em relação ao Critério Capacidade

Classificação	C5: Capacidade	Resultado
1	Metrô subterrâneo	61,53%
2	VLT	13,51%
3	BRT	12,45%
4	Monotrilho	7,01%
5	Ônibus comum em faixa exclusiva	5,51%
<b>SOMA</b>		<b>100,00%</b>

Conforme a literatura, a opção de transporte público que apresenta maior capacidade é o Metrô. Na sequência vem o BRT e VLT, seguidos pelo Ônibus comum em faixa exclusiva e Monotrilho (Tabela 41)<sup>35</sup>. Com exceção do Metrô, as demais alternativas apontadas pelos técnicos e planejadores não estão de acordo com a literatura estudada. No entanto, dentre os autores estudados, pode-se perceber uma certa dificuldade em encontrar coerência quanto a capacidade de cada alternativa modal.

**Tabela 41** - Comparação entre os dados da literatura e a opinião dos entrevistados<sup>36</sup>

Literatura				Opinião dos entrevistados
Capacidade teórica (pass/h/sentido)	Capacidade real (pass/dia)			
Metrô	47.500	Metrô	4.257.500	1- Metrô
BRT	26.500	BRT	907.500	2- VLT
VLT	23.942	VLT	287.500	3- BRT
Ônibus em faixa exclusiva	21.500	Monotrilho	255.000	4- Monotrilho
Monotrilho	19.250	Ônibus em faixa exclusiva	249.000	5- Ônibus em faixa exclusiva

<sup>35</sup> Capacidade teórica é a levantada na literatura sem informar o local da obtenção dos dados. Já a capacidade real é a de algum corredor/sistema de alguma cidade.

<sup>36</sup> Média das capacidades mínima e máxima citadas pelos autores. Autores: NTU (2010); Brasil (2008); CBTU (2010); Bernardes (2016); RS (2004 *apud* BRINCO, 2012); Benvenuto *et al.* (1996 *apud* BRASIL, 2007); Meira (2016); Garcia (2008); Kennedy (2004); Vaz *et al.* (2014); Brasil (2016a); Mercedes-Benz (1987 *apud* PAMPLONA, 2000); Brinco (2013); Motta (2013); Garcia (2014); São Paulo (2015); MetroRio (2015); Metrô-DF (2013); ViaQuatro (2013); Wanderley (2016); CBTU (2017); CCR Metrô Bahia (2015); Almirante (2016); MetroFor (2017); NTU (2013).

Uma opinião comum entre a grande maioria dos entrevistados é a de que o monotrilho não deveria ser considerado como transporte de massa. Os dados obtidos com a pesquisa bibliográfica também mostraram a mesma ideia. É o que coloca Garcia (2014) ao afirmar que dentro de um universo de 300 monotrilhos implantados no mundo, apenas 20 casos podem ser classificados como equipamento de transporte urbano regular. Se as linhas com uma extensão menor do que 5 km e capacidade inferior a 10.000 usuários/dia forem excluídas, chega-se a uma lista de 12 linhas em operação até 2013.

Em relação a capacidade de sistemas reais de transporte público, a opinião dos entrevistados foi em grande parte convergente com o que diz na literatura. Apenas as opções BRT e VLT, que ficaram em posições diferentes. Quanto aos dados teóricos, os reais se diferem nas opções Monotrilho e Ônibus em faixa exclusiva. Esse tipo de comparação é importante, pois alguns estudos tendem a superestimar os valores de demanda e quando a análise é realizada com os dados teóricos e reais é possível observar a diferença.

A Tabela 42 expõe os resultados obtidos para as alternativas em relação ao critério Rapidez. Assim como ocorreu com os critérios Espaço para implantação, Intrusão Visual e poluição e Capacidade, o Metrô também ocupou o nível mais alto de importância. Apesar do tempo de acesso a estação do metrô ser de forma geral maior em relação as outras opções de transporte público, quando associado ao tempo de deslocamento dentro veículo, essa alternativa se destaca e ganha maior peso. Em segundo lugar, aparece o VLT com 15,06% e na sequência, o BRT (12,37%) e Monotrilho (9,76%). Com a menor importância vem o Ônibus em faixa exclusiva (6,78%).

**Tabela 42** - Média geométrica das respostas do grupo para as alternativas em relação ao Critério Rapidez

<b>Classificação</b>	<b>C6: Rapidez</b>	<b>Resultado</b>
1	Metrô subterrâneo	56,03%
2	VLT	15,06%
3	BRT	12,37%
4	Monotrilho	9,76%
5	Ônibus em faixa exclusiva	6,78%
<b>SOMA</b>		<b>100,00%</b>

Com base nos dados citados pela literatura, o Monotrilho e o Ônibus em faixa exclusiva também ocupam as últimas posições – quarta e quinta, respectivamente. No entanto, o VLT foi o mais rápido, seguido pelo BRT e Metrô. Este último perdeu devido ao tempo de acesso à plataforma e à rua, que fez com o tempo aumentasse seis minutos. Já o VLT e o BRT não

apresentam esse tipo de deslocamento. É importante destacar também que o menor tempo associado ao VLT se justifica devido à alta velocidade apontada por Bernardes e Ferreira (2016) de 70 km/h. Essa explicação pode ser observada na Tabela 43.

**Tabela 43** - Comparação das alternativas modais em função do tempo total de viagem

<b>Deslocamentos</b>	<b>Dados</b>	<b>BRT</b>	<b>VLT</b>	<b>Monotrilho</b>	<b>Metrô</b>	<b>Ônibus em faixa exclusiva</b>
Distância entre estações (m)	Distância mínima (metros)	500,0	500,0	500,0	700,0	300,0
	Distância máxima (metros)	500,0	1600,0	3500,0	1500,0	800,0
	Distância média (metros)	500,0	1050,0	2000,0	1100,0	550,0
Acesso à estação	Distância (metros)	250,0	525,0	1000,0	550,0	275,0
	Tempo (minutos)	3,8	7,9	15,0	8,3	4,1
Acesso à plataforma	Distância (metros)	-	-	200,0	200,0	-
	Tempo (minutos)	-	-	3,0	3,0	-
	Tempo de pagamento (minutos)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Viagem de 10 quilômetros	Velocidade mínima (km/h)	23,0	20,0	60,0	30,0	19,0
	Velocidade máxima (km/h)	39,0	70,0	90,0	80,0	19,0
	Velocidade média (km/h)	31,0	45,0	75,0	55,0	19,0
	Tempo (minutos)	19,4	13,3	8,0	10,9	31,6
Acesso à rua	Distância (metros)	-	-	200,0	200,0	-
	Tempo (minutos)	-	-	3,0	3,0	-
<b>Tempo TOTAL (minutos)</b>		<b>23,2</b>	<b>21,3</b>	<b>29,1</b>	<b>25,3</b>	<b>35,8</b>

Fontes: Branco (2013); NTU (2010); NTU (2009); Brasil (2008); VTA Transit Policy (2007); Alouche (2008); Boorse *et al.* (2000); Parekh *et al.* (2013); Kennedy (2004); Vaz *et al.* (2014); SEDU/PR ; NTU (2002).

Algumas observações da Tabela 43 merecem destaque, a saber: 1) a distância de acesso à estação foi calculada como a metade da distância média (média das distâncias máxima e mínima apontadas na literatura); 2) o cálculo dos tempos de acesso à estação, à plataforma e à rua, foi realizado em função da distância e nele foi considerado uma pessoa andando a uma

velocidade de 4 km/h; 3) os tempos de acesso à plataforma e à rua só foram considerados no Metrô e no Monotrilho, uma vez que não estão no nível da superfície, como as demais alternativas aqui estudadas; 4) o tempo de pagamento foi igual para todas as opções; e 5) o tempo de viagem de 10 km foi calculado com base na velocidade média (média das velocidades máxima e mínima indicadas na literatura). Além disso, os cálculos da tabela anterior foram baseados na Tabela 1 – Tempo Gasto em Deslocamento do trabalho da NTU (2009).

Por fim, a Tabela 44 apresenta o nível de importância das alternativas em função do critério Conforto. Com 43,58% o Metrô aparece em primeiro lugar, seguido do VLT (26,77%). Na sequência vem o BRT e o Monotrilho com 12,43% e 11,23%, respectivamente. E na última posição, com apenas 5,99% foi apontado o Ônibus em faixa exclusiva.

**Tabela 44** - Média geométrica das respostas do grupo para as alternativas em relação ao Critério Conforto

<b>Classificação</b>	<b>C7: Conforto</b>	<b>Resultado</b>
1	Metrô subterrâneo	43,58%
2	VLT	26,77%
3	BRT	12,43%
4	Monotrilho	11,23%
5	Ônibus em faixa exclusiva	5,99%
<b>SOMA</b>		<b>100,00%</b>

É difícil encontrar na literatura comparações reais entre as alternativas em termos de Conforto. Mesmo assim, ele foi incluído da pesquisa por ser um elemento importante para os usuários. Em relação ao ruído interno, por exemplo, o VLT e o Monotrilho são os mais confortáveis, seguidos pelo BRT e Metrô. Nesse âmbito, a resposta final do critério Conforto estaria contra ao que foi identificado na literatura. Já em relação a temperatura dentro do veículo e nas estações, pode-se justificar a última posição do Ônibus em faixa exclusiva. Primeiro porque a grande maioria dos ônibus não são climatizados e a cidade do Recife tem temperaturas elevadas na maior parte do ano e segundo porque os pontos de parada da cidade não apresentam proteção suficiente contra intempéries.

Para comparar em função da quantidade de passageiros no interior do veículo, um dos itens do critério Conforto, é preciso analisar o comportamento da demanda na via ao longo do dia e observar a capacidade de cada opção de transporte público estudada.

Ao fazer uma análise bem superficial nesse sentido, pode-se dizer que em termos de lotação, as cinco opções de transporte público aqui estudadas atendem à demanda diária da Av. Norte, uma vez que a quantidade de passageiros contabilizados pelas linhas de ônibus que circulam na via, ou seja, o número de passageiros catracados é de aproximadamente 204.627. No entanto, mais uma vez será enfatizado que a escolha não é realizada apenas com base na demanda da via e sim, no comportamento dessa demanda.

Além disso, o número de passageiros catracados é um dado muito superficial, uma vez que deixa de contabilizar usuários que entram no sistema através da integração física e os que não pagam tarifa. Outra questão diz respeito aos passageiros que acessam e descem do ônibus fora da Av. Norte e também são contabilizados. Assim, é necessária uma pesquisa detalhada da demanda e do seu comportamento.

Com base nos resultados anteriores, foi possível obter o resultado final (Tabela 45) através da multiplicação da matriz da média das alternativas de cada critério (ordem 5x6) pela matriz média dos critérios (ordem 6x1). Dos seis critérios analisados, o Metrô apresentou nível mais alto de importância em cinco, inclusive nos critérios com maiores pesos (Capacidade e Espaço para implantação). Isso resultou no Metrô subterrâneo como a alternativa mais adequada para a Av. Norte Miguel Arraes de Alencar (45,53%).

**Tabela 45** - Média geométrica do resultado final das alternativas modais com base nos critérios

<b>Classificação</b>	<b>Alternativas</b>	<b>Resultado final</b>
1	Metrô subterrâneo	45,43%
2	Ônibus em faixa exclusiva	19,91%
3	VLT	15,27%
4	BRT	11,11%
5	Monotrilho	8,27%
<b>SOMA</b>		<b>100,00%</b>

A alternativa Ônibus em faixa exclusiva recebeu maior peso no critério Custo de operação e manutenção e ficou em segundo lugar no segundo critério mais importante – Espaço para implantação. Os dois fatores somados conferiram a essa alternativa o segundo lugar na análise da opção de transporte público mais apropriado para a via estudada e um peso de 19,91%.

O fato de ter ocupado a terceira posição nos critérios Espaço para implantação e Custo de operação e manutenção, e o segundo lugar nos demais critérios atribuiu ao VLT o terceiro nível de importância no resultado final (15,27%). A Tabela 46 expõe as classificações das alternativas em função dos critérios de forma resumida.

**Tabela 46** - Classificações das alternativas em função dos critérios

<b>Alternativas</b>	<b>C1 (2°)</b>	<b>C3 (4°)</b>	<b>C4 (6°)</b>	<b>C5 (1°)</b>	<b>C6 (3°)</b>	<b>C7 (5°)</b>
Metrô subterrâneo	1°	5°	1°	1°	1°	1°
Ônibus em faixa exclusiva	2°	1°	3°	5°	5°	5°
VLT	3°	3°	2°	2°	2°	2°
BRT	5°	2°	4°	3°	3°	3°
Monotrilho	4°	4°	5°	4°	4°	4°

Na sequência vem o BRT com 11,11%, que ocupou essa posição devido a sua colocação em relação ao critério mais importante (terceiro lugar) e ao segundo mais importante (último lugar). Além disso, ficou em segundo lugar no critério Custo de operação e manutenção, terceiro lugar nos critérios Rapidez e Conforto, e quarto no lugar no critério Intrusão visual e poluição,

Como a alternativa menos indicada para implantação de um corredor de transporte público na via estudada aparece o Monotrilho com 8,27%. Sua baixa performance em comparação com as outras opções é resultado dos pesos relativamente baixos obtidos nas análises – quarto lugar nos critérios Espaço para implantação, Custo de operação e manutenção, Capacidade, Rapidez e Conforto, e quinto lugar no critério Intrusão visual e poluição.

Assim, de acordo com as respostas dos 25 entrevistados e com base no nível de importância dado aos critérios (Espaço para implantação, Custo de operação e manutenção, Intrusão visual e poluição, Capacidade, Rapidez e Conforto), a opção de transporte público mais adequada para a Avenida Norte Miguel Arraes de Alencar é o Metrô subterrâneo.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou auxiliar na tomada de decisão em investimentos de infraestrutura para o transporte público através da seleção de critérios que possam ser utilizados nesse processo. Para atender ao objetivo, a Avenida Norte Miguel Arraes de Alencar, localizada no Recife, foi selecionada como objeto de estudo.

A Avenida Norte é um corredor que “envelheceu” e não acompanhou a evolução da mobilidade em termos de sustentabilidade, e assim como outros corredores do Brasil, o usuário do automóvel da via apresenta resistência ao transporte público. Além da falta de priorização do transporte público, é um corredor não uniforme nas extremidades com a BR-101 e o Porto do Recife. Tem o uso do solo diversificado, é denso com um elevado número de morros e a diferença de renda entre os moradores é elevada. Isso configura certa dificuldade de desapropriação.

De acordo com a metodologia proposta, o objetivo foi atendido. Para atendê-lo, sete critérios, que podem estar presentes no processo de tomada de decisão, foram selecionados e hierarquizados a partir do Processo de Hierarquização Analítica. Com base nos critérios selecionados, as possíveis alternativas priorização de transporte público também foram ranqueadas.

Dos sete critérios selecionados (Espaço para implantação, Custo e prazo de implantação, Custo de operação e manutenção, Intrusão visual e poluição, Capacidade, Rapidez e Conforto), um não atendeu ao limite da Taxa de Consistência, exigido pelo método AHP. Por ter apresentado uma inconsistência superior a 10%, Custo e prazo de implantação foi eliminado. A ausência de programas computacionais, como o *Expert Choice*, que indicam a inconsistência de cada comparação e a dificuldade de aplicar novamente os questionários, influenciaram na escolha da exclusão do segundo critério.

A eliminação do critério 2 influenciou no resultado final. Isso porque o custo e o prazo de implantação do metrô subterrâneo são superiores frente as demais alternativas de priorização ao transporte público. Essa exclusão configura uma falha, uma vez que a retirada de uma variável representa um novo problema. Assim sendo, os resultados são válidos em termos

metodológicos, mas em relação a realidade é imprescindível a inserção do critério custo e prazo de implantação.

As respostas dos 25 técnicos e planejadores da área de transportes indicam que dos seis critérios restantes, durante o processo de tomada de decisão, Capacidade e Espaço para implantação são os mais importantes e apresentaram um peso de 25,70% e 24,20%, respectivamente. Seguidos por Rapidez (16,53%), Custo de operação e manutenção (15,78%), Conforto (10,92%) e Intrusão visual e poluição (6,87%).

Com base em cada critério, foi realizado um ranqueamento das alternativas. Em todos os critérios, com exceção do Custo de operação e manutenção, o metrô subterrâneo, ocupou o maior nível de importância. Diante dessas análises, foi possível chegar ao resultado final.

A alternativa mais indicada para a Avenida Norte Miguel Arraes de Alencar é o Metrô subterrâneo com 45,53%. O segundo lugar foi ocupado pelo Ônibus em faixa exclusiva, que apresentou um peso de 19,91%. Na sequência vem o BRT e o VLT com 15,27% e 11,11%, respectivamente. E como a alternativa menos indicada para o corredor aparece o Monotrilho (8,27%).

De forma geral, esta dissertação pretendeu contribuir com os estudos de compreensão dos critérios que conduzem o processo de tomada de decisão na área de transportes, visto que a análise de alternativas de transporte público urbano é, por natureza, multicriterial. Assim, o desenvolvimento deste estudo baseou-se na ponderação dos critérios e alternativa a partir do Processo de Análise Hierárquica. Também buscou contribuir com o debate ao alertar que os transportes públicos devem ser tratados como forma prioritária de atendimento das necessidades de deslocamento da população.

Com base nos conceitos de acessibilidade e mobilidade urbana sustentável, propõe-se outras intervenções que podem ser realizadas para melhorar a fluidez das pessoas (e não dos automóveis) na via estudada, a saber: ciclovias no decorrer de todo o corredor e calçadas de qualidade e muito bem sinalizadas para estimular os ciclistas e pedestres; muitos locais de travessia de um lado para o outro das pistas, garantindo a segurança dos usuários; estacionamentos periféricos e os bicicletários, localizados próximos as estações e/ou nas

principais interseções com outras vias importantes. Os dois últimos devem ser alocados de maneira que o transporte público se integre com os automóveis e as bicicletas.

A alternativa escolhida tem o potencial de melhorar a mobilidade urbana do corredor e da região. Além disso, destaca-se a possibilidade de atrair os usuários do transporte individual das regiões periféricas, principalmente por reduzir o tempo de chegada ao seu destino utilizando essa nova via de transporte rápido. A facilidade de estacionar o carro próximo a uma estação, nos estacionamentos periféricos, aumenta o raio de influência do corredor, por atrair passageiros que moram a uma distância maior do que a alcançável de bicicleta ou a pé. A ciclovia também irá estimular esse meio de transporte que, quando integrado ao sistema, aumenta o número de escolhas do usuário.

Vale destacar que é comum a densificação ao redor das estações de corredores de transporte público. De fato, um sistema bem planejado é considerado um condicionante do desenvolvimento urbano, uma vez que pode promover a reconstrução das principais avenidas que fazem parte da integração da cidade, assim como as vias exclusivas se tornam eixos estruturados do município. Quando associadas às políticas de uso e ocupação do solo, contribuem para o aumento da qualidade de vida e ao ordenamento do espaço urbano. No entanto, impactos negativos ocorrem com as desapropriações necessárias para a construção dos corredores, e, portanto, é necessário um programa para o reassentamento de famílias pobres.

Para trabalhos futuros sugere-se a inserção do critério custo e prazo de implantação; envolver outros atores no processo além dos especialistas; estudar outros corredores com características e demandas distintas; utilizar outros critérios e alternativas com o método AHP; adotar projetos existentes de transportes como alternativas; e utilizar outros métodos de análise multicritério e comparar os resultados com os desta dissertação. Por fim, espera-se que este estudo possa colaborar com os processos de tomada de decisão e de planejamento na área de transportes.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, J. A.; SANTOS, S. C.; FREITA, A. L. P. Avaliação da qualidade do transporte público urbano pelos usuários: um estudo exploratório em Campos dos Goytacazes. In: **XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão**. Rio de Janeiro, 2015.
- ALLIARDI, E. **Mobilidade urbana de Cachoeirinha: impactos de uma faixa exclusiva para ônibus**. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação). Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brasil, 2016.
- ALOUICHE, P. L. Qual é o custo dos Metrôs. **Revista Engenharia**, São Paulo, ano 71, n. 617, p. 258 - 263, 2013.
- ALOUICHE, P. L. **O VLT estrutura a cidade**. Entrevista com Peter Alouche. Portal Mobilize Brasil, 2012. Disponível em <<http://www.mobilize.org.br/noticias/1616/o-vltestrutura-a-cidade.html>>. Acessado em novembro de 2016.
- ALOUICHE, P. L. VLT: um transporte moderno, sustentável e urbanisticamente correto para as cidades brasileiras. **Revistas dos Transportes Públicos – ANTP**. Ano 30 – 2008 – 2º trimestre.
- ALMIRANTE, J. **Com linha 2, metrô deve receber o dobro de passageiros em Salvador**. Portal G1. Disponível em <<http://g1.globo.com/bahia/noticia/2016/12/com-linha-2-metro-deve-receber-o-dobro-de-passageiros-em-salvador.html>>. Acessado em fevereiro de 2017.
- ALVIM, B. G.; BILT, K. V.; DARIDO, G. B. **Evolução e Tendências na Implantação e Financiamento dos Sistemas de Transporte Público sobre Trilhos**. AEAMESP Estudos Técnicos. Associação dos Engenheiros e Arquitetos do Metrô – AEAMESP. São Paulo, 2010.
- ANDRADE, K. R.; PAULA, V. A.; MESQUITA, A. P.; VILLELA, P. A. Problemas relacionados aos pontos de parada do transporte público nas cidades de porte médio. In: **IV Seminário Internacional da LARES**. São Paulo, 2004.
- ANPTrilhos. **VLT – Veículo Leve sobre Trilhos – Mobilidade sustentável**. Associação Nacional dos Transportadores de Passageiros sobre Trilhos. 2016.
- ANTP. **Estudo do custo das externalidades negativas da mobilidade das pessoas nos vários modos de transporte no Brasil**. Série de Cadernos Técnicos, volume 24. Associação Nacional dos Transportes Públicos – ANTP. São Paulo, 2015a.
- ANTP. **Proposta de Desenvolvimento Urbano Orientado para o transporte coletivo ao longo doanel rodoviário em Belo Horizonte (MG)**. Série Cadernos Técnicos, volume 17. Associação Nacional dos Transportes Públicos – ANTP. São Paulo, 2015b.
- ANTP. **Sistema de Informações de Mobilidade Urbana – Relatório Geral 2012**. Associação Nacional de Transportes Públicos – ANTP. Vitória – ES, 2012.
- ARIAS, Z. P. **Transporte coletivo público urbano: seleção de alternativas tecnológicas**. Dissertação (mestrado). Curso de Transporte do Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2001.
- ÁVILA, E.; LUBIANCO, J.; CASTILHO, M.; DIAS, M.; LEITE, S.; MEIRELLES, S.; BRIGGS, C.; TORTORIELLO, A.; LUNA, L.; NASCIMENTO, C. **Experiência BRT – Missão de Imprensa**. EMBARQ Brasil. 201-.
- BAIXAR MAPAS. **Mapa da Região Metropolitana do Recife – RMR**. 2017. Disponível em <<http://www.baixarmapas.com.br/mapa-da-regiao-metropolitana-de-recife-rmr/>>. Acessado em maio de 2017.
- BANA E COSTA, C. A.; VANSNICK, J. **A fundamental criticism to Saaty’s use of the eigenvalue procedure to derive priorities**. Working Paper Series, London School of Economics and Political Science, 2001.

BANISTER, D. The sustainable mobility paradigm. **Transport policy**, v. 15, n. 2, p. 73-80, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2007.10.005>

BANISTER, D.; LICHFIELD, N. The key issues in transport and urban development. In: BANISTER, D. **Transport and Urban Development**. Londres: E & FN Spon, 1995, p. 1-16.

BAZANI, A. **Exemplos de BRTs brasileiros melhoram a vida em Los Angeles**. Diário do Transporte - Blog Ponto de Ônibus. 2011. Disponível em <<https://diariodotransporte.com.br/2011/08/05/exemplo-de-brts-brasileiros-melhoram-a-vida-em-los-angeles/>>. Acessado em novembro de 2016.

BERNARDES, F. F.; MESQUITA, A. P. Veículos Leves sobre Trilhos no Brasil: análise metodológica e estudo de caso – Fortaleza e Rio de Janeiro. In: **Anais 20º Congresso Brasileiro de Trânsito e Transporte – ANTP**, 2015.

BERNARDES, F. F. **Mobilidade urbana sustentável e inclusiva: proposta de implantação de VLT (Veículo Leve sobre Trilhos)**. Dissertação (mestrado). Programa de pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, Brasil, 2016.

BERNARDES, F. F.; FERREIRA, W. R. Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) – Proposta de implantação para o transporte público em Uberlândia/MG. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 17, n. 58, p. 189-204, 2016.

BERRITTELLA, M.; CERTA, A.; ENEA, M.; e ZITO, P. **An Analytic Hierarchy Process for The Evaluation of Transport Policies to Reduce Climate Change Impacts**. Climate Change Modelling and Policy, 2007. Disponível em < <http://www.feem.it/userfiles/attach/Publication/NDL2007/NDL2007-012.pdf> >. Acessado em maio de 2017.

BIANCHI, M. C. A. P.; NOBRE, E. A. C. **Os caminhos e descaminhos do metrô: análise comparativa da implantação da rede metroviária nas metrópoles de São Paulo e México**. 2013. Disponível em <[http://www.fau.usp.br/pesquisa/napplac/trabalhos/enobre/enobre\\_art4.pdf](http://www.fau.usp.br/pesquisa/napplac/trabalhos/enobre/enobre_art4.pdf)>. Acessado em fevereiro de 2017.

BOARETO, R. A mobilidade urbana sustentável. **Revista dos Transportes Públicos – ANTP**, ano 25, p. 28-26, 2003.

BOORSE, J. W.; TENNYSON, E. L.; SCHUMANN, J. W. **This is Light Rail Transit**. Light Rail Transit Committee of the Transportation Research Board. 2000.

BORGES JR., A. A.; FONSECA, M. J. O Uso da Pesquisa de Satisfação do Consumidor como Instrumento de Política Pública: o potencial de uso no caso do transporte coletivo de Porto Alegre. **RIMAR – Revista Interdisciplinar de Marketing**, v. 1, n. 3, p. 38 – 50, 2002.

BRANCO, S. P. V. M. **Estudos e aplicação de Sistemas BRT – Bus Rapid Transit**. Dissertação (mestrado). Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2012/2013 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.

BRASIL. Política Nacional de Mobilidade Urbana Sustentável. Cadernos do Ministério das Cidades, volume 6. Ministério das Cidades. Brasília – DF, 2004.

BRASIL. Mobilidade e Política Urbana: Subsídios para uma Gestão Integrada. Ministério das Cidades. Brasília – DF, 2005.

BRASIL. PlanMob Construindo a cidade sustentável: 1 Caderno de referência para elaboração de plano de mobilidade urbana. Ministério das Cidades. Brasília – DF, 2007.

BRASIL. Manual de Bus Rapid Transit - Guia de Planejamento. Ministério das Cidades. Brasília – DF, 2008.

BRASIL. **Caderno Técnico para Projetos de Mobilidade Urbana – Sistemas de Prioridade ao Ônibus**. Ministério das Cidades. Brasília – DF, 2016a.

BRASIL. **Caderno Técnico para Projetos de Mobilidade Urbana – Veículo Leve sobre Trilhos**. Ministério das Cidades. Brasília – DF, 2016b.

BRASIL. **PlanMob: Caderno de referência para elaboração de plano de mobilidade urbana.** Ministério das Cidades. Brasília – DF, 2015.

BRINCO, R. Mobilidade urbana e transporte público: sobre a oportunidade de implantação de sistemas metroviários. **Revista Indicadores Econômicos FEE**, Porto Alegre, v. 40, n. 1, p. 105-116, 2012.

BROADDUS, A.; LITMAN, T.; MENON, G. **Transportation Demand Management.** Eschborn, Hesse, 2009.

CANALES, D.; LEAL, A. **O papel do transporte por fretamento na melhoria da mobilidade urbana.** Transporte por fretamento, série Cadernos Técnicos. Associação Nacional de Transportes Públicos - ANTP e Federação das Empresas de Transportes de Passageiros por Fretamento do Estado de São Paulo - FRESP, São Paulo, v. 9, p. 15-17, 2012.

CARUSO JÚNIOR, R. **30 anos de monotrilho.** Memória de Poços de Caldas, 2011. Disponível em <<http://www.memoriadepocos.com.br/search?q=monotrilho&x=0&y=0>>. Acessado em janeiro de 2017.

CARVALHO, C. H. R. Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiro nos grandes centros urbanos brasileiros. In **Texto para discussão 1.066**, Ipea, 2011.

CARVALHO, G. F. **Sistema de Veículo Leve sobre Trilhos para transporte de passageiros na grande Florianópolis – estudo preliminar de viabilidade.** Trabalho de Conclusão de Curso (graduação). Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

CASTRO, M. A. G. **Gerenciamento da Mobilidade: Uma Contribuição Metodológica para a Definição de uma Política Integrada dos Transportes no Brasil.** Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 2006.

CAU/AM. **Manaus tem projetos de mobilidade urbana que ainda não saíram do papel.** Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Amazonas, 2016. Disponível em <<http://www.cauam.org.br/?p=9402>>. Acessado em janeiro de 2017.

CAVALCANTI, N. A. H. **Sistemas de Integração de Transporte público: a qualidade percebida de Terminais de Integração – o caso do TI Barro/RMR.** Dissertação (mestrado). Programa de pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco. Brasil, 2017.

CBTU. **Belo Horizonte – Malha viária.** Companhia Brasileira de Trens Urbanos. 2017. Disponível em <<http://www.cbtu.gov.br/index.php/pt/sistemas-cbtu/belo-horizonte>>. Acessado em fevereiro de 2017.

CBTU. **Desenvolvimento e fabricação de Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) para transporte urbano e regional de passageiros. VLT Padrão Nacional. Especificação técnica.** Companhia Brasileira de Trens Urbanos. 2010.

CBTU. **Ministério das Cidades estuda a implantação do VLT em Campina Grande.** Companhia Brasileira de Trens Urbanos, 2016. Disponível em <<http://www.cbtu.gov.br/index.php/pt/natal/4531>>. Acessado em janeiro de 2017.

CBTU. **Recife – Malha viária.** Companhia Brasileira de Trens Urbanos, 2017. Disponível em <<http://www.cbtu.gov.br/index.php/pt/sistemas-cbtu/recife>>. Acessado em fevereiro de 2017.

CCR. **Estudo preliminar e provisório de implementação do Veículo Leve sobre Trilhos na região portuária e centro do Rio de Janeiro.** Companhia de Concessões Rodoviárias. 2012. Disponível em <[http://www.portomaravilha.com.br/conteudo/estudos/estudo\\_tecnico\\_preliminar\\_vlt\\_ccr.pdf](http://www.portomaravilha.com.br/conteudo/estudos/estudo_tecnico_preliminar_vlt_ccr.pdf)>. Acessado em janeiro de 2017.

CCR METRÔ BAHIA. **Metrô registra recorde de passageiros.** 2015. Disponível em <<http://www.ccrmetrobahia.com.br/imprensa/noticias/Metro-registra-recorde-de-passageiros?releaseId=14807>>. Acessado em fevereiro de 2017.

CLARK, R. R. **General Guidelines for the Design of Light Rail Transit Facilities in Edmonton**. 2009.

CET. **Manual de Sinalização Urbana: Circulação Prioritária de Ônibus**. Critérios de projeto. Volume 11. Companhia de Engenharia de Tráfego. São Paulo, 2001.

COMISSÃO EUROPEIA. **Cidades para Bicicletas, Cidades de Futuro**. Luxembourg: Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias, 2000.

COSTA, T. C.; e BELDERRAIN, M. C. N. Decisão em grupo em métodos multicritério de apoio à decisão. In: **15º Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA – XV ENCITA**. Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, 2009. Disponível em <[www.bibl.ita.br/xvencita/MEC20.pdf](http://www.bibl.ita.br/xvencita/MEC20.pdf)>. Acessado em maio de 2017.

CTTU. **Trânsito do Recife - um panorama**. Companhia de Trânsito e Transporte Urbano do Recife – CTTU Recife. Recife – PE, 2011. Disponível em <<http://www7.recife.pe.gov.br/projetos-e-acoos/projetos/transito-do-recife-um-panorama/>>. Acessado em fevereiro de 2016.

CUNHA, R. **BRTs de Belo Horizonte e Região Metropolitana**. SKYSCRAPERCITY.COM, 2011. Disponível em <<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1452652&page=63&nojs=1&langid=5>>. Acessado em agosto de 2016.

CUNHA FILHO, O. V. Mensagem do presidente. In: NTU. **Faixas exclusivas de ônibus urbanos – experiências de sucesso**. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos – NTU, 2013.

DANTAS, T. **Estudo diz que monotrilho de Manaus é inviável, e Justiça cancela licitação**. UOL, 2013. Disponível em <<https://copadomundo.uol.com.br/noticias/redacao/2013/10/31/estudo-diz-que-monotrilho-de-manaus-e-inviavel-e-justica-cancela-licitacao.htm>>. Acessado em janeiro de 2017.

DENATRAN. **Frota de veículos – 2017**. Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN, 2017. Disponível em <<http://www.denatran.gov.br/index.php/estatistica/610-frota-2017>>. Acessado em maio de 2017.

DNIT. **Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. Rio de Janeiro, 2009.

DUARTE, P.; SOUZA, D. A comparative study of the quality of services of public transportation in the city of Campos dos Goytacazes, Brazil. In: **9<sup>th</sup> International Conference Series on Competition and Ownership in Land Passenger Transport** (Thredbo). Lisboa, 2005. Disponível em <[http://www.thredbo-conference-series.org/downloads/thredbo9\\_papers/thredbo9-workshopC-Duarte-de%20Souza.pdf](http://www.thredbo-conference-series.org/downloads/thredbo9_papers/thredbo9-workshopC-Duarte-de%20Souza.pdf)>. Acessado em abril de 2017.

EBOLI, L.; MAZZULLA G. **A stated preference experiment for measuring service quality in public transport**. *Transportation Planning and Technology*, v. 31, n. 5, p. 509–523, 2008. DOI: 10.1080/03081060802364471

EMBARQ ÍNDIA. **Bus Karo: a Guide Book on Bus Planning & Operations**. 2010. Disponível em <<http://www.wrirosscities.org/publication/bus-karo-guidebook-planning-operations>>. Acessado em março de 2017.

EMTU. **VLT da Baixada Santista – Veículo Leve sobre Trilhos**. Empresa Metropolitana de Trens Urbanos. 2016. Disponível em <http://www.emtu.sp.gov.br/emtu/emprendimentos/emprendimentos/vlt-da-baixada-santista-veiculo-leve-sobre-trilhos.fss>. Acessado em janeiro de 2017.

ESTADO DE SÃO PAULO. Pesquisa aponta que Recife, Salvador, Rio e Fortaleza têm trânsito pior do que o de SP. **Jornal O Estado de São Paulo**. São Paulo – SP, 2014. Disponível em <<http://brasil.estadao.com.br/noticias/geral,pesquisa-aponta-que-recife-salvador-rio-e-fortaleza-tem-transito-pior-do-que-o-de-sp,1505390>>. Acessado em fevereiro de 2016.

FERRAZ, A. C. P. e TORRES, I. G. E. **Transporte Público Urbano**. 2ª ed. São Paulo: Rima, 2004.

FERRONATO, L. G. **Potencial de medidas de gerenciamento da demanda no transporte público urbano por ônibus**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 2002.

FETRANSPOR. **Manual de implementação BRS – Bus Rapid Service**. Federação das Empresas de Transporte de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em <[http://www.fetranspordocs.com.br/downloads/03BRS-Manual\\_ANTP-20131002.pdf](http://www.fetranspordocs.com.br/downloads/03BRS-Manual_ANTP-20131002.pdf)>. Acessado em março de 2017.

FTA. **Characteristics of Bus Rapid Transit for Decision-Making**. Federal Transit Administration. Washington, DC, USA, 2004.

GARCIA, F. Os desafios da mobilidade nas cidades brasileiras: tecnologias de ponta para novos projetos ferroviários. In: **15ª Reunião Intermediária dos Comitês Técnicos da ALAMYS**. São Paulo, 2008. Disponível em <<http://slideplayer.com.br/slide/3173438/>>. Acessado em janeiro de 2017.

GARCIA, M. Z. Sistemas de monorail como transporte de massa: considerações a respeito de um novo modo de transportes para São Paulo. **Revista dos Transportes Públicos – ANTP**, São Paulo, ano 37, n. 138, 3º quadrimestre, 2014.

GARRIDES, M. G. M.; SOUZA, P. C.; CAMPOS NETO, L. S. Transporte Público em Belo Horizonte: um estudo comparativo entre Metrô e Monorail. In: **I Congresso Interdisciplinar de Pesquisa, Iniciação Científica e Extensão**. Belo Horizonte, 2016.

GASS, S. I. Model World: The Great Debate – MAUT versus AHP. **Interfaces**, v. 35, n. 4, p. 308-312, 2005.

GIANCOLA, C.; MENDES, A.; GUEDES, P. **Obras de monorails em SP atrasam, diminuem, e ficam até 83% mais caras**. Portal G1. 2016. Disponível em <<http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2016/06/obras-de-monorails-em-sp-atrasam-diminuem-e-ficam-ate-83-mais-caras.html>>. Acessado em janeiro de 2017.

GLOBAL BRT DATA. **Demanda na hora-pico (passageiros por hora por direção)**. 2016a. Disponível em <[http://brtdata.org/indicators/systems/peak\\_load\\_passengers\\_per\\_hour\\_per\\_direction](http://brtdata.org/indicators/systems/peak_load_passengers_per_hour_per_direction)>. Acessado em agosto de 2016.

GLOBAL BRT DATA. **Indicadores do sistema de Bogotá**. 2016b. Disponível em <[http://brtdata.org/location/latin\\_america/colombia/bogota](http://brtdata.org/location/latin_america/colombia/bogota)>. Acessado em setembro de 2016.

GLOBAL BRT DATA. **Indicadores do sistema de Brampton**. 2016c. Disponível em <[http://brtdata.org/location/northern\\_america/canada/brampton](http://brtdata.org/location/northern_america/canada/brampton)>. Acessado em setembro de 2016.

GLOBAL BRT DATA. **Custo de infraestrutura por quilômetro, corredor (US\$ milhão por km)**. 2016d. Disponível em <[http://brtdata.org/indicators/corridors/infrastructure\\_cost\\_per\\_kilometer\\_corridor\\_us\\_million\\_per\\_km](http://brtdata.org/indicators/corridors/infrastructure_cost_per_kilometer_corridor_us_million_per_km)>. Acessado em setembro de 2016.

GLOBAL BRT DATA. **Ano de inauguração do sistema**. 2016e. Disponível em <[http://brtdata.org/indicators/systems/year\\_system\\_commenced](http://brtdata.org/indicators/systems/year_system_commenced)>. Acessado em novembro de 2016.

GOH, K.; CURRIE, G.; SARVI, M.; LOGAN, D. Road safety benefits from bus priority? – an empirical study. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2352, p. 41-49, 2013. DOI: 10.3141/2352-05

GÓIS, R. A. D. **A metrópole e os megaeventos. Implicações socioespaciais da Copa do Mundo de 2014 em Fortaleza.** Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará, 2013.

GONÇALVES, N. M.; ROTHFUSS, R.; MORATO, R. S. A organização e a ocupação do espaço urbano nas cidades do século XXI: impactos das políticas públicas do Brasil dos anos 90 no direito de ir e vir no ambiente local. **Amicus Curiae**, v. 9, n. 9, 2012. Disponível em <<http://periodicos.unesc.net/index.php/amicus/article/viewFile/875/829>>. Acessado em abril de 2017.

GRANDE RECIFE. **Itinerário Logradouro x Linha.** Grande Recife Consórcio de Transporte. Recife, Brasil, 2017a. Disponível em <[http://200.238.84.28/site/consulta/itinerarios\\_linhas\\_logradouro.asp?log=243%20&hdIndexCombo=817%20&hdNomeCombo=Norte,%20Avenida](http://200.238.84.28/site/consulta/itinerarios_linhas_logradouro.asp?log=243%20&hdIndexCombo=817%20&hdNomeCombo=Norte,%20Avenida)>. Acessado em maio de 2017.

GRANDE RECIFE. **Grande Recife Histórico.** Grande Recife Consórcio de Transporte. Recife, Brasil, 2017b. Disponível em <<http://www.granderecife.pe.gov.br/web/grande-recife/historico>>. Acessado em maio de 2017.

GRANDE RECIFE. **Sistema Estrutural Integrado.** Grande Recife Consórcio de Transporte. Recife, Brasil, 2017c. Disponível em <<http://www.granderecife.pe.gov.br/web/grande-recife/sistema-estrutural-integrado#nogo>>. Acessado em maio de 2017.

GRECCO, J. P. Material Rodante da Linha 4 do Metro – SP: Inovações, Segurança e Conforto. In: **14ª Semana de Tecnologia Metroferroviária.** Associação dos Engenheiros e Arquitetos do Metrô – AEAMESP. São Paulo, 2008

GUO, J.; LIU, J.; QIU, L. Research on Supply Chain Performance Evaluation Based on DEA/AHP Model. In: 2006 IEEE Asia-Pacific Conference on Services Computing (APSCC'06), 2006, Guangzhou. **Proceedings.** Los Alamitos: IEEE, 2006.  
DOI: 10.1109/APSCC.2006.88

HADLICH, A.; DUWE, M.; VELO, E. **Arquitetura do metrô.** São Paulo: Editora VJ, 2012.

HENSHER, D.A.; STOPHER, P.; BULLOCK, P. Service quality-developing a service quality index in the provision of commercial bus contracts. **Transportation Research, Part A**, v. 37, n. 6, p. 499–517, 2003. DOI: 10.1016/S0965-8564(02)00075-7

HERDY, R. R.; MALBURG, C. H. R.; SANTOS, R. T. Transporte urbano: o papel do BNDES no apoio à solução dos principais gargalos de mobilidade. In: **BNDES 60 anos: perspectivas setoriais.** Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Rio de Janeiro, p. 310 – 346, 2012.

HOLMAN, J. P. Experimental methods for engineers. McGraw-Hill, New York, 8<sup>th</sup> ed., 2012. Disponível em <<http://mech.at.ua/HolmanICS.pdf>>. Acessado em junho de 2017.

HOTTA, L. H. **Avaliação comparativa de Tecnologia de Transporte Público Urbano: Ônibus x Transporte Público Individualizado.** Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, Brasil, 2007.

IBGE. **Pernambuco.** Cidades@. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. 2016. Disponível em <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=26&search=pernambuco>>. Acessado em maio de 2017.

IDTP. **Padrão BRT de qualidade.** Instituto de Políticas de Transporte & Desenvolvimento. 2014

IPEA. **Nota técnica – Tarifação e financiamento do transporte público urbano**. nº 2. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília, 2013.

ISODA, M. K. T. **Transporte sobre trilhos na Região Metropolitana de São Paulo: estudo sobre a concepção e inserção das redes de transporte de alta capacidade**. Dissertação (mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, Brasil, 2013.

JANUZZI, P. M.; MIRANDA, W. L.; SILVA, D. S. G. Análise Multicritério e Tomada de Decisão em Políticas Públicas: Aspectos Metodológicos, Aplicativo Operacional e Aplicações. **Informática Pública**, v. 11, n. 1, p. 69 – 87, 2009.

JARA-MORENO, A. **TransMilenio, o BRT de Bogotá: Vítima do próprio sucesso?** This Big City. 2013. Disponível em <<http://thisbigcity.net/pt-br/transmilenio-o-brt-de-bogota-vitima-do-proprio-sucesso/>>. Acessado em novembro de 2016.

JORDÃO, B. M. C.; PEREIRA, S. R. **A análise multicritério na tomada de decisão – O Método Analítico Hierárquico de T. L. Saaty**. Desenvolvimento do método com recurso à análise de um caso prático explicado ponto a ponto. Lisboa, 2006. Disponível em <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1579578/mod\\_folder/content/0/Tomada\\_de\\_decisao/AHP\\_exemplo.pdf?forcedownload=1](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1579578/mod_folder/content/0/Tomada_de_decisao/AHP_exemplo.pdf?forcedownload=1)>. Acessado em maio de 2017.

KENNEDY, R. R. **Considering Monorail Rapid Transit for North American Cities**. 2004. Disponível em <<http://www.monorails.org/webpix%20/RyanRKennedy.pdf>>. Acessado em janeiro de 2017.

KIMURA, H.; SUEN, A. S. Ferramentas de análise gerencial baseadas em modelos de decisão multicriteriais. **RAE eletrônica**, v. 2, n. 1, 2003. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/raeel/v2n1/v2n1a07>>. Acessado em maio de 2017.

KORHONEN, P.; TOPDAGI, H. Performance of the AHP in comparison of gains and losses. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 37, n. 7-8, p. 757 – 766, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0895-7177\(03\)00083-9](https://doi.org/10.1016/S0895-7177(03)00083-9)

KUWAHARA, N.; MACHADO, W. V.; SANTOS, M. P. S. Tomada de decisão em investimentos de infraestruturas de transportes: estudo de caso para o polo industrial de Manaus. In: **XXII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET**. Fortaleza, 2008. Disponível em <<http://redpgv.coppe.ufrj.br/index.php/pt-BR/producao-da-rede/artigos-cientificos/2008-1/568-tomada-de-decisao-em-investimentos-de-infra-estruturas-de-transportes/file>>. Acessado em abril de 2017.

KUBMAGK, B. **Lille**. 2007. Disponível em <<http://www.urbanrail.net/eu/fr/lille/lille.htm>>. Acessado em novembro de 2016.

LEMES, D. C. S. S. **Geração e análise do cenário futuro como um instrumento do planejamento urbano de transportes**. Dissertação (mestrado). Programa de pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, Brasil, 2005.

LEVINSON, H.; ZIMMERMAN, S.; CLINGER, J.; RUTHERFORD, S.; SMITH, R. L.; CRACKNEL, J.; SOBERMAN, R. **TCRP Report 90. Bus rapid transit, Volume 1: Case Studies in Bus Rapid Transit**. Transit Cooperative Research Program: Report 90. Washington, DC, USA, 2003.

- LIEDTKA, S. L. The Analytic Hierarchy Process and Multi-Criteria Performance Management Systems. **Cost Management**, v. 19, n. 6, p. 30-38, 2005. Disponível em <[http://professorforman.com/Liedtka-AHP%20and%20Multi-criteria%20Systems%20\(Finalized%20Version%20\)%20August%2011,%202005.doc](http://professorforman.com/Liedtka-AHP%20and%20Multi-criteria%20Systems%20(Finalized%20Version%20)%20August%2011,%202005.doc)>. Acessado em maio de 2017.
- LITMAN, T. **When are Bus Lanes Warranted? Considering Economic Efficiency, Social Equity and Strategic Planning Goals**. Victoria Transport Policy Institute – VTPI. Victoria, Colúmbia Britânica, Canadá, 2016.
- MAIA, M. L. A. **Benchmarking nacional e internacional de experiências relativas à mobilidade urbana em metrópoles**. Estudo Prospectivo Mobilidade Urbana: estudo 2. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE, 2009.
- MAROJA, A. M.; SANTOS, F. S.; GARAVELLI, S. L.; CARVALHO JÚNIOR, E. B. Veículo Leve sobre Trilhos: impacto ambiental acústico em Brasília – DF. In: **XXVII Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte – ANPET**, 2013.
- MATOS, G. **Em horário de pico e quando ocorre acidentes**. Característica da Av. Norte: a via mais abandonada do Recife. SKYSCRAPERCITY.COM. 2008. Disponível em <<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=837472&page=109>>. Acessado em maio de 2017.
- MEDDE. **O renascimento do VLT na França**. Ministère de L'Écologie, du Développement Durable et de L'Énergie. 2012.
- MEDEIROS, G. Sistemas de Média Capacidade para Transporte Público de Passageiros. In: **III Seminário Técnico de Planejamento e Mobilidade Urbana**. Santa Catarina, 2012.
- MEIRA, L. H. **Melhoria da performance dos ônibus em corredores de tráfego misto: estudo de caso do corredor da Avenida Norte no Recife**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Brasil, 2007.
- MEIRA, L. H. **Políticas públicas de mobilidade sustentável no Brasil: Barreiras e desafios**. Tese (doutorado). Programa de Pós-graduação de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Brasil, 2013.
- MEIRA, L. H. **Sistemas de transporte coletivo: VLT e Monotrilho**. Notas de aula. Disciplina: Tópicos especiais em transportes 2. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, 2016.
- MELLO, A. C. V. **Potencial de captação de demanda adicional da linha dois do metropolitano do Rio de Janeiro**. Dissertação (mestrado). Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ, Brasil, 2007.
- METRÔ – DF. **Memória**. Governo de Brasília. 2013. Disponível em <<http://www.metro.df.gov.br/memoria-2/>>. Acessado em fevereiro de 2017.
- METROFOR. **Linha Oeste**. Secretaria das Cidades – Governo do Estado do Ceará. 2017. Disponível em <<http://www.metrofor.ce.gov.br/index.php/categoria-3?cssfile=principal3.css>>. Acessado em fevereiro de 2017.
- METRÔRIO. **ITR – Informações Trimestrais**. Concessão Metroviária do Rio de Janeiro, 2015. Disponível em <[http://www.metrorio.com.br/Content/Upload/ArqConteudo/Demonstracao\\_Financeira\\_1t\\_2015.pdf](http://www.metrorio.com.br/Content/Upload/ArqConteudo/Demonstracao_Financeira_1t_2015.pdf)>. Acessado em fevereiro de 2017.
- MEYER, M. **A Toolbox for Alleviating Traffic Congestion and Enhancing Mobility**. Institute of Transportation Engineers, Washington D. C., 1997.

MONORAIL SOCIETY. **Transit Monorails of the World**. [20--?]. Disponível em <<http://www.monorails.org/tMspages/Where.html>>. Acessado em janeiro de 2017.

MORAIS, M. **VLT que liga Juazeiro a Crato funciona parcialmente**. Diário do Nordeste. 2015. Disponível em <http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/regional/vlt-que-liga-juazeiro-a-crato-funciona-parcialmente-1.1207080>. Acessado em janeiro de 2017.

MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T. Avaliação multicritério para adequação de sistemas de redução de perdas de água. In: **XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Curitiba, 2002.

MOTTA, R. A. **Benefícios ambientais em decorrência da implantação de sistemas de transporte rápido e de alta capacidade de ônibus – o caso do TransMilenio**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação em engenharia de transportes (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 2009.

MOTTA, M. W. V. **O Veículo Leve sobre Trilhos: Considerações sobre os seus atributos como justificativa para sua implantação**. Dissertação (mestrado). Programa de Engenharia Urbana, Escola politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 2013.

NETLELAND. **Monotrilhos no Mundo (Posição em 2014)**. 2014. Disponível em <<http://netleland.net/suporte/monotrilhos.html>>. Acessado em janeiro de 2017.

NÓBREGA, P. R. C. Acessibilidade urbana em um dos principais eixos viários da cidade do Recife – PE, Avenida Governador Miguel Arraes de Alencar (Avenida Norte). **Revista Geonordeste**, ano XXIV, n. 1, 2013. Disponível em <<https://seer.ufs.br/index.php/geonordeste/article/view/1521/1346>>. Acessado em maio de 2017.

NTU. **Avaliação comparativa das modalidades de transporte público urbano**. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. Curitiba – PR, 2009.

NTU. **Faixas exclusivas de ônibus urbanos – experiências de sucesso**. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos – NTU. Brasília – DF, 2013.

NTU. **Conceitos e elementos de custos de sistemas BRT**. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos - NTU. Brasília – DF, 2010.

OLIVEIRA, A. G.; CHAVES, F. A. V.; MIRANDA, P. H.; BITTENCURT, J. A.; SILVA, M. Veículo Leve sobre Trilhos: uma aplicabilidade no sistema de transportes de Brasília, DF. In: **XIII SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**. Rio de Janeiro, 2016.

OLIVEIRA, U. J. F. **Proposta de Implantação de Sistema de Transporte de Passageiros do Tipo Monotrilho na Região Metropolitana de Vitória**. Instituto Federal do Espírito Santo – IFES. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. 2009. Disponível em <[http://gazetaonline.globo.com/\\_midias/pdf/265819-4be40d8105684.pdf](http://gazetaonline.globo.com/_midias/pdf/265819-4be40d8105684.pdf)>. Acessado em janeiro de 2017.

OLIVEIRA, U. J. F.; ROSA, R. A.; RESENDO, L. C.; LORENZONI, L. L. Monotrilho – uma opção de transporte público para a região metropolitana da Grande Vitória. In: **XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional** – SBPO. Bento Gonçalves – RS, 2010.

OLIVEIRA, G. T.; ROSA, O. B. Comparativo de desempenho de sistemas de transporte público de média capacidade via AHP – Estudo BRT x VLT no Rio de Janeiro. In: **XXVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte** – ANPET, 2013.

O POVO ONLINE. **VLT de Sobral inicia hoje operação comercial**. 2016. Disponível em <<http://www.opovo.com.br/app/opovo/cotidiano/2016/12/28/noticiasjornalcotidiano,3676769/vlt-de-sobral-inicia-hoje-operacao-comercial.shtml>>. Acessado em janeiro de 2017.

PA TRANSPORT CONSULTING. **EVTE: Estudo de Viabilidade Técnica e Econômico-Financeira para implantação do Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) no eixo Anhanguera no município de Goiânia**. Governo de Goiás, 2013.

- PAMPLONA, E. O. **Considerações sobre o emprego dos diferentes tipos de ônibus no transporte público urbano**. Dissertação (mestrado). Departamento de transportes, Universidade de São Carlos, São Carlos, Brasil, 2000. Disponível em <<http://www.geocities.ws/qqbis/magda/mag1.htm>>. Acessado em fevereiro de 2017.
- PAMPLONA, E. O.; SALOMON, P. V.; MONTEVECHI, J. A. B. Justificativas para aplicação do método de análise hierárquica. In: **19º Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP**. Rio de Janeiro, 1999. Disponível em <<http://www.iepg.unifei.edu.br/edson/download/Artahp99.pdf>>. Acessado em abril de 2017.
- PARANHOS, G. C.; YARASCA, J. C. L. **Técnicas multicritérios aplicadas ao planejamento de transportes**. Programa de Pós-Graduação da Universidade de Brasília. Brasília, 2009. Disponível em <<https://pt.slideshare.net/julioesarlavadoyarasca/ahp-23517843>>. Acessado em abril de 2017.
- PAREKH, J. A.; RAVAL, N. G.; DODIYA, D. Overview of Monorail Rapid Transit System. **Journal of Information, Knowledge and Research in Computer Engineering**, v. 2, n. 2, p. 285 – 291, 2013.
- PASQUALETTO, A.; SOUZA, F. A tecnologia do monotrilho para o transporte de passageiros. **Estudos**, Goiânia, v. 41, especial, p. 43-55, 2014.
- PASSOS, T. **Conheça os 10 semáforos do Recife mais demorados para o pedestre**. Mobilidade por Tânia Passos. Diário de Pernambuco, 2013. Disponível em <<http://blogs.diariodepernambuco.com.br/mobilidadeurbana/tag/dia-mundial-do-pedestre/>>. Acessado em maio de 2017.
- PAULLEY, N.; BALCOMBE, R.; MACKETT, R.; TITHERIDGE, H.; PRESTON, J. M.; WARDMAN, M. R.; SHIRES, J. D.; WHITE, P. The demand for public transport: the effects of fares, quality of service, income and car ownership. **Transport Policy**, v. 13, n. 4, p. 295 – 306, 2006. DOI: 10.1016/j.tranpol.2005.12.004
- PEREIRA, M.V. **Administração de Marketing**. 2009. Notas sobre o livro “Administração de Marketing” do autor Philip Kotler. 10ª ed. São Paulo: Prentice Hall, 2000. Disponível em <<http://www.sintracoopsc.com.br/wp-content/uploads/2009/03/PDF-Marketing-Kotler-2000.pdf>>. Acessado em agosto de 2017.
- PETZOLD, G. **Gestão de Demanda de Viagens**. EMBARQ Brasil. 2015. Porto Alegre, RS. Disponível em: <<http://embarqbrasil.org/nosso-trabalho/projeto-cidade/gest%C3%A3o-da-demanda-de-viagens>>. Acesso em julho 2015.
- PORTAL DA TRANSPARÊNCIA. **Previsão de investimentos – Matriz de Responsabilidade. VLT: Parangaba / Mucuripe**. 2010. Disponível em <<http://transparencia.gov.br/copa2014/cidades/previsao.seam?empreendimento=200>>. Acessado em janeiro de 2017.
- PORTAL G1. **Nova estação do VLT é inaugurada nesta quarta-feira em Santos, SP**. 2016. Disponível em <<http://g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/2016/12/nova-estacao-do-vlt-e-inaugurada-nesta-quarta-feira-em-santos-sp.html>>. Acessado em janeiro de 2017.
- QUADROS, S. G. R. **Contribuição ao processo de priorização de investimentos em infraestrutura de transportes pelo uso do método de análise hierárquica**. Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Universidade do Rio de Janeiro (COPPE), Brasil, 2014.
- QUADROS, S. G. R.; NASSI, C. D. Uma aplicação multicritério na avaliação das prioridades de investimento em infraestrutura de transportes no Brasil. In: **XVIII Congresso Panamericano de Engenharia de Trânsito e Transporte e Logística – PANAM**. Santander, 2014.
- QUINTELLA, S. **Parada há seis meses, obra do monotrilho na Zona Sul será retomada**. VEJA São Paulo. 2016. Disponível em <<http://vejasp.abril.com.br/cidades/monotrilho-obra-retomada/>>. Acessado em janeiro de 2017.
- RAFAELI, L. **A análise envoltória de dados como ferramenta para avaliação do desempenho relativo**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 2009.

RAILWAY GAZETTE. **Keolis and Amey win Docklands Light Railway franchise**. 2014. Disponível em <<http://www.railwaygazette.com/news/single-view/view/keolis-and-amey-win-docklands-light-railway-franchise.html>>. Acessado em novembro de 2016.

RECK, G. **Apostila Transporte Público**. Departamento de Transporte da Universidade Federal do Paraná – UFPR, 20--.

REDMAN, L.; FRIMAN, M.; GARLING, T.; HARTIG, T. Quality attributes of public transport that attract car users: A research review. **Transport Policy**, v. 25, p. 119 – 127, 2013.

REIS, C. M. A. **O impacto do Metro do Porto na valorização imobiliária**. Dissertação (mestrado). Faculdade de Economia da Universidade do Porto – FEP. Portugal, 2011.

RIBEIRO, A. R. **Análise econômica da implantação de corredores estruturais de ônibus**. Dissertação (mestrado). Programa de pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil, 2009.

ROCHA, A. C. B.; FROTA, C. D.; TRIDAPALLI, J. P.; KUWAHARA, N.; PEIXOTO, T. F. A.; BALASSIANO, R. Gerenciamento da mobilidade: experiências em Bogotá, Londres e alternativas pós-modernas. In: **2º Congresso Luso-Brasileiro para o planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável - PLURIS**. Braga, Portugal, 2006.

RODRIGUES, M. A. **Análise do transporte coletivo urbano com base em indicadores de qualidade**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, Brasil, 2008.

RUSSO, R.; GERAQUE, E. **Governo Alckmin decide privatizar monotrilho da zona leste de SP**. Folha de S. Paulo, 2016. Disponível em <<http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2016/06/1785086-governo-alckmin-decide-privatizar-monotrilho-da-zona-leste.shtml>>. Acessado em janeiro de 2017.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n.3, p. 234-281, 1977. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)

SAITO, C. **VLT pode ser mais eficaz que BRT em atrair usuários**. VIATROLEBUS. 2015. Disponível em <<http://viatrolebus.com.br/2015/09/vlt-pode-ser-mais-eficaz-que-brt-em-atrair-usuarios/>>. Acessado em setembro de 2017.

SALOMÃO, R. **Sem prazo: Obra do VLT no Eixo Anhanguera ‘não vai sair’**. Portal 730 – mais atual a cada instante. 2016. Disponível em <<http://portal730.com.br/rubens-salomao/semprazo-vlt-no-eixo-anhanguera-nao-vai-sair>>. Acessado em janeiro de 2017.

SANCHES, A. C. D.; BATTIISTELLA, R. M. Implantação de faixas exclusivas na cidade de Curitiba. In: **3º Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016**. Foz do Iguaçu, 2016.

SANT'ANNA, J. A. **Sistemas modernos e tradicionais de ônibus no Mercosul ampliado**. 1ª ed. Washington, D. C. Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID, 2001. Disponível em <<https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/420/Sistemas%20Modernos%20e%20Tradicionais%20de%20C3%94nibus%20no%20Mercosul%20Ampliado%20.pdf?sequence=2>>. Acessado em fevereiro de 2017.

SANTOS, J. T. A. **Uma contribuição ao estudo dos sistemas de medição e avaliação de desempenho de um terminal de transporte aéreo de carga correio expressa**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Programa de Engenharia de Transportes PET-COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

SÃO PAULO. **Demanda de passageiros por linha**. Metrô. Governo do Estado de São Paulo. 2015. Disponível em <<http://www.metro.sp.gov.br/metro/numeros-pesquisa/demanda.aspx>>. Acessado em fevereiro de 2017.

SÃO PAULO. **O que é monotrilho. Linha 15-Prata.** Metrô. Governo do Estado de São Paulo. 2017a. Disponível em <<http://www.metro.sp.gov.br/obras/monotrilho-linha-15-prata/informacoes-sobre-monotrilho.aspx>>. Acessado em janeiro de 2017.

SÃO PAULO. **O que é monotrilho. Linha 17-Ouro.** Metrô. Governo do Estado de São Paulo. 2017b. Disponível em <<http://www.metro.sp.gov.br/obras/linha-17-ouro/informacoes-sobre-monotrilho.aspx>>. Acessado em janeiro de 2017.

SÃO PAULO. **Linha 18 – São Paulo – ABC.** Secretaria dos Transportes Metropolitanos. Governo do Estado de São Paulo. 2017c. Disponível em <<http://www.stm.sp.gov.br/index.php/parcerias-publico-privadas-ppp/linha-18-sao-paulo-abc>>. Acessado em janeiro de 2017.

SCHNEIDER, P. Incertezas de medições e ajuste de dados. Grupo de Estudos Térmicos e Energéticos – GESTE. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. Disponível em <<http://www.ufrgs.br/medterm/areas/area-i/Incertezaedicao.pdf>>. Acessado em junho de 2017.

SCHUELER, C. P. **Classificação de projetos em Distribuidora de Energia Elétrica no Brasil utilizando o método TODIM de Análise de Decisão Multicritério.** Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Administração de Empresas da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Brasil, 2012.

SEDU/PR; NTU. **Prioridade para o Transporte Coletivo Urbano. Relatório Técnico.** Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República – SEDU/PR. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos – NTU. Brasília, 2002. Disponível em <<http://www.fetranspordocs.com.br/downloads/09PrioridadeTransporteColetivoUrbano.pdf>>. Acessado em março de 2017.

SILVA, A. F.; NASCIMENTO, S. O. Análise da qualidade do serviço de transporte público sobre trilho – VLT no município de Juazeiro do Norte e Crato na percepção do usuário. In: **XIII Congresso Rio de Transportes.** Rio de Janeiro, 2015.

SILVA, E. F. **Meio ambiente & mobilidade urbana.** Série Meio Ambiente, 22. São Paulo: Editora Senac, 2014.

SILVA, G. A. **Considerações sobre as características de vias exclusivas para o ônibus urbano: uma contribuição para estudos de implantação.** Dissertação (mestrado). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, 2005.

SILVA, P. J. M. **Análise crítica da avaliação do desempenho do sistema BRT: um estudo de caso de uma estação de integração de Belo Horizonte.** Dissertação (mestrado). Departamento de Engenharia de Transporte e Geotecnia da Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, 2015.

SILVA, R. B.; CAVALCANTI NETTO, M. A. Uma estrutura de apoio à decisão para orientar a escolha de projetos prioritários para a infraestrutura de transporte no Brasil. In: **XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional** – SBPO. Bento Gonçalves, 2010.

SILVA, R. H. S. **Análise comparativa da capacidade viária em grandes corredores de tráfego: impactos na eficiência da mobilidade urbana.** Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Brasil, 2017.

SOARES, R. **Faixas Azuis para os ônibus sem previsão de expansão no Recife.** De olho no trânsito, 2017. Disponível em <<http://jc.ne10.uol.com.br/blogs/deolhonotransito/2017/02/15/faixas-azuis-para-os-onibus-sem-previsao-de-expansao-no-recife/>>. Acessado em março de 2017.

SOARES, R. **O custo do metrô, VLT e BRT. Só para reflexão...** De olho no trânsito. 2011. Disponível em <<http://jc.ne10.uol.com.br/blogs/deolhonotransito/2011/05/01/o-custo-do-metro-vlt-e-brt-so-para-reflexao/>>. Acessado em fevereiro de 2017.

SOUZA, P. P. S. **Avaliação de projetos de sistemas de transporte coletivo urbano com o emprego do AHP.** Dissertação (mestrado). Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) da Universidade do Rio de Janeiro, Brasil, 2015.

SPTRANS. **Sistema Monotrilho – Estudo de Impacto Ambiental (EIA)**. Volume I – IV. São Paulo Transportes S. A. 2012.

TARELLI, T. **Governo convoca empresas para implantação do VLT em Maceió**. Agência Alagoas – Governo do Estado de Alagoas, 2016. Disponível em <<http://www.agenciaalagoas.al.gov.br/noticia/item/6653-governo-convoca-empresas-para-implantacao-do-vlt-em-maceio>>. Acessado em fevereiro de 2017.

TRANSMILENIO S. A. **Historia**. 2016. Disponível em <[http://www.transmilenio.gov.co/Publicaciones/la\\_entidad/nuestra\\_entidad/Historia](http://www.transmilenio.gov.co/Publicaciones/la_entidad/nuestra_entidad/Historia)>. Acessado em novembro de 2016.

TRIBUNA DO CEARÁ. **Fortaleza tem 4 grandes obras inacabadas há anos**. Disponível em <<http://tribunadoceara.uol.com.br/noticias/cotidiano-2/fortaleza-tem-4-grandes-obras-inacabadas-ha-anos/>>. Acessado em janeiro de 2017.

UITP. **Bus system in Europe: towards a higher quality of urban life and a reduction of pollutants and CO<sub>2</sub> emissions**. International Association of Public Transport – UITP. Bruxelas, Bélgica, 2015.

ULBRICH, G. **O que mudou nas cidades brasileiras que implantaram o VLT?** Gazeta do povo. Vida e Cidadania. 2016. Disponível em <<http://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/futuro-das-cidades/o-que-mudou-nas-cidades-brasileiras-que-implantaram-o-vlt-f3baauxpudqeaqfdrsypfw>>. Acessado em fevereiro de 2017.

VARGAS, R. V. Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) to select and prioritize projects in a portfolio. In: **PMI Global Congress**, Washington, DC, USA, 2010. Disponível em <[http://iwave.ru/files/2272/ricardo\\_vargas\\_ahp\\_project\\_selection\\_en.pdf](http://iwave.ru/files/2272/ricardo_vargas_ahp_project_selection_en.pdf)>. Acessado em maio de 2017.

VASCONCELLOS, E. A. **Externalidades do transporte público de passageiros sobre trilhos**. AEAMESP Estudos Técnicos. Associação dos Engenheiros e Arquitetos de Metrô – AEAMESP. São Paulo, 2012.

VAZ, L. F. H.; CASTRO, B. H. R.; BARROS, D. C.; MALBURG, C. H. R.; SOUZA, F. O.; MESENTIER, A. A. P. **Transporte sobre trilhos no Brasil: uma perspectiva do material rodante**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 40, p. 235 – 282, 2014.

VEJA. Recife: décimo lugar entre as metrópoles do mundo onde se perde mais tempo no trânsito e campeã da demora entre as cidades brasileiras. **Revista Veja**. São Paulo – SP, 2014. Disponível em <<http://veja.abril.com.br/blog/cidades-sem-fronteiras/2014/12/12/tempo-transito/>>. Acessado em fevereiro de 2016.

VIA QUATRO. **Linha 4-Amarela completa dois anos de operação plena**. 2013. Disponível em <<http://www.viaquatro.com.br/imprensa/noticias/linha-4-amarela-completa-dois-anos-de-operacao-plena?releaseid=14879>>. Acessado em fevereiro de 2017.

VIA TROLEBUS. **Florianópolis descarta VLT e monotrilho e deve construir BRT**. 2015. Disponível em <<http://viatrolebus.com.br/2015/11/florianopolis-descarta-vlt-e-monotrilho-e-deve-construir-brt/>>. Acessado em janeiro de 2017.

VIA TROLEBUS. **João Pessoa recebe novo VLT da Bom Sinal**. 2016a. Disponível em <<http://viatrolebus.com.br/2016/03/joao-pessoa-recebe-novo-vlt-da-bom-sinal/>>. Acessado em janeiro de 2017.

VIA TROLEBUS. **Linha 18-Bronze sem prazo para início de obras**. 2016b. Disponível em <<http://viatrolebus.com.br/2016/10/linha-18-bronze-sem-prazo-para-inicio-das-obras/>>. Acessado em janeiro de 2017.

VICTORIA TRANSPORT POLICY INSTITUTE. **Online TDM Encyclopedia**. Victoria, Canadá, 2014. Disponível em <<http://www.vtpi.org/tdm/index.php>>. Acessado em julho de 2015.

VICTORIA TRANSPORT POLICY INSTITUTE. **Transport Model Improvements: Improving Methods for Evaluating the Effects and Value of Transportation System Changes**. Victoria, Canadá, 2017. Disponível em <<http://www.vtpi.org/tdm/tdm125.htm>>. Acessado em março de 2017.

VLT CARIOCA. **VLT Carioca completa seis meses de operação**. Disponível em <<http://vltrio.rio/noticia/vlt-seis-meses-de-operacao/>>. Acessado em 04 jan. 2017.

VOLTOLINI, R. **Conheça o monotrilho de Wuppertal, o primeiro trem suspenso do mundo**. TECMUNDO, 2013. Disponível em <<https://www.tecmundo.com.br/trem/40297-conheca-o-monotrilho-de-wuppertal-o-primeiro-trem-suspenso-do-mundo.htm>>. Acessado em janeiro de 2017.

VTA TRANSIT SUSTAINABILITY POLICY. **Light Rail Transit – Service Guidelines**. Valley Transportation Authority. 2007.

VUCHIC, V. R. **Urban Public Transportation Systems**. 2012. Disponível em <<http://www.reconnectingamerica.org/assets/Uploads/20020114urbanpubtrsysVuchic.pdf>>. Acessado em janeiro de 2017.

WAISMAN, J. Veículos Leve sobre Trilhos (VLT) no Brasil: semelhanças e diferenças entre os projetos. In: **Anais 20º Congresso Brasileiro de Trânsito e Transporte – ANTP**, 2015.

WANDERLEY, E. **O metrô dos sonhos do pernambucano**. Diário de Pernambuco, 2016. Disponível em <<http://curiosamente.diariodepernambuco.com.br/project/o-metro-dos-sonhos-do-pernambucano/>>. Acessado em fevereiro de 2017.

WRIGHT, L.; HOOK. W. **Bus Rapid Transit Planning Guide** (3ª ed.). Institute for Transport and Development Policy. New York, USA, 2007.

XAVIER, D. F. P. **Comparação das alternativas de BRT e VLT para a mobilidade da Avenida Norte na cidade do Recife**. Trabalho de conclusão de curso (graduação). Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru, Brasil, 2014.

YANG, T.; KUO, C. A hierarchial AHP/DEA methodology for the facilities layout design problem. **European Journal of Operational Research**, v. 147, n. 1, p. 128-136, 2003.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00251-5](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00251-5)

**APÊNDICE A – LINHAS DE ÔNIBUS QUE OPERAM NA AV. NORTE**

<b>Código</b>	<b>Linha</b>	<b>Tarifa</b>	<b>Viagens por dia útil</b>
60	TI Tancredo Neves / TI Macaxeira	R\$ 3,20	52
107	Circular (Cabugá / Prefeitura)	R\$ 3,20	94
117	Circular (Prefeitura / Cabugá)	R\$ 3,20	129
330	Casa Amarela / CDU	R\$ 3,45	50
510	Nova Descoberta / Derby	R\$ 3,20	136
513	Córrego da Areia	R\$ 3,20	120
514	Nova Descoberta (Córrego do Joaquim)	R\$ 3,20	100
515	Nova Descoberta (Bacurau)	R\$ 3,20	8
516	Casa Amarela (Nova Torre)	R\$ 3,20	59
517	Córrego do Inácio	R\$ 3,20	76
520	Macaxeira / Parnamirim	R\$ 3,20	144
531	Casa Amarela (Rosa e Silva)	R\$ 3,20	29
532	Casa Amarela (Cabugá)	R\$ 3,20	86
533	Casa Amarela (Bacurau)	R\$ 3,20	3
601	Parque Residencial Bola na Rede / Macaxeira	R\$ 3,20	152
604	Alto do Burity / Macaxeira	R\$ 3,20	152
611	Alto José do Pinho	R\$ 3,20	104
612	Morro da Conceição	R\$ 3,20	110
613	Morro da Conceição (Bacurau)	R\$ 3,20	8
621	Alto Treze de Maio	R\$ 3,20	68
622	Vasco da Gama (Cabugá)	R\$ 3,20	218
623	Vasco da Gama (João de Barros)	R\$ 3,20	104
624	Brejo	R\$ 3,20	178
626	Brejo (Bacurau)	R\$ 3,20	6
631	Nova Descoberta (Cabugá)	R\$ 3,20	236
632	Alto do Refúgio	R\$ 3,20	96
640	Guabiraba / Derby	R\$ 3,20	258
641	TI Macaxeira / Encruzilhada	R\$ 3,20	146
642	Guabiraba (Córrego do Jenipapo)	R\$ 3,20	210
643	Córrego do Jenipapo (Bacurau)	R\$ 3,20	8
644	Largo do Maracanã	R\$ 3,20	98

645	TI Macaxeira (Av. Norte)	R\$ 3,20	364
680	Vasco da Gama / Afogados	R\$ 3,20	65
710	Beberibe / Derby	R\$ 3,20	69
714	Alto José Bonifácio (Av. Norte)	R\$ 3,20	102
717	José Amarino dos Reis	R\$ 3,20	86
718	Córrego do Euclides / Derby	R\$ 3,20	38
722	Campina do Barreto	R\$ 3,20	118
741	Dois Unidos	R\$ 3,20	77
742	Linha do Tiro	R\$ 3,20	200
744	Dois Unidos (Bacurau)	R\$ 3,21	6
780	Alto Santa Terezinha / Derby	R\$ 3,20	50
812	Sítio Novo (Av. Norte)	R\$ 3,20	51
860	TI Xambá (Príncipe)	R\$ 3,20	48
1900	TI PE-15 (PCR) - BRT	R\$ 3,20	57
1911	Ouro Preto (COHAB)	R\$ 3,20	45
1926	Ouro Preto (Jatobá II)	R\$ 3,20	59
1927	Ouro Preto (Bacurau)	R\$ 3,20	4
1946	TI Igarassu (PCR) - BRT	R\$ 4,40	80
1962	TI Abreu e Lima (PCR) - BRT	R\$ 3,20	99
1967	TI Igarassu (Dantas Barreto)	R\$ 4,40	90
1971	Amparo	R\$ 3,20	66
1973	Casa Caiada	R\$ 3,20	75
1976	TI Pelópidas (PCR) - BRT	R\$ 3,20	178
1983	Rio Doce (Princesa Isabel)	R\$ 4,40	64
1992	Pau Amarelo	R\$ 4,40	100
1994	Conjunto Beira Mar	R\$ 4,40	41
2490	TI Camaragibe / TI Macaxeira	R\$ 3,20	135
<b>TOTAL</b>			<b>5605</b>

Algumas linhas apresentam mais de um itinerário. Para chegar ao resultado total, adotou-se que os horários de saídas são proporcionais a quantidade de linhas. Por exemplo, a linha TI Xambá (Príncipe) apresenta 144 horários de saída e três itinerários – Via PCR 1, Via PCR 2 e Principal. Apenas o primeiro circula na Av. Norte. Dessa forma, assumiu-se que um terço das saídas (48) é do Via PCR 1.

## APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO APLICADO NA PESQUISA

Prezado (a), a pesquisa busca apontar o transporte público mais adequado para a Av. Norte, localizada na cidade do Recife. Vale lembrar que a pesquisa tem fins meramente acadêmicos e os resultados obtidos não serão utilizados para nenhuma outra finalidade, seja ela financeira, midiática ou jurídica. Agradeço desde já e me coloco à disposição para quaisquer esclarecimentos adicionais que se fizerem necessários.

**Pergunta 1: Quais dos critérios abaixo têm maior importância para implantação de um corredor de transporte público na Av. Norte?**

<b>Crítérios</b>	<b>Definição</b>
<b>C1: Espaço para implantação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Espaço necessário</b> para implantação de <b>toda a infraestrutura</b> do transporte público (via, estações, terminais de integração etc.).</li> <li>– Deve-se levar em consideração as <b>futuras intervenções</b> no espaço já construído, de forma a evitar <b>grandes desapropriações</b>.</li> </ul>
<b>C2: Custo e prazo de implantação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Custo</b> necessário à <b>implantação e funcionamento</b> inicial de <b>toda a infraestrutura</b> do transporte público (via, estações, terminais de integração, veículos, sistema de bilhetagem, sinalização etc.).</li> <li>– <b>Tempo</b> decorrido entre a necessidade e o pleno uso da infraestrutura.</li> </ul>
<b>C3: Custo de operação e manutenção</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Custo</b> necessário para <b>manter o sistema funcionando</b> dentro dos padrões estabelecidos, bem como para possíveis ajustes às novas demandas e <b>manutenção</b> adequada.</li> <li>– Os gastos devem ser ponderados de acordo com a <b>vida útil</b> esperada para infraestrutura.</li> </ul>
<b>C4: Intrusão visual e poluição</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Impacto visual</b> gerado pela presença do sistema na paisagem urbana.</li> <li>– <b>Poluição atmosférica</b> produzida ao longo do corredor e do seu entorno.</li> <li>– <b>Níveis de ruído</b> gerados ao longo do corredor e do seu entorno.</li> </ul>
<b>C5: Capacidade</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Capacidade</b> de passageiros do veículo.</li> </ul>
<b>C6: Rapidez</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Tempo de viagem</b> entre pontos específicos.</li> <li>– Depende do <b>grau de separação</b> da via de transporte público do tráfego geral, da <b>distância</b> entre os locais de parada, das <b>condições da superfície</b> de rolamento, das <b>condições do trânsito</b> e do <b>tipo de tecnologia</b> dos veículos.</li> </ul>
<b>C7: Conforto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Nível de conforto</b> da viagem, incluindo a quantidade de passageiros no interior dos veículos, os assentos, nível de ruído interno, temperatura dentro do veículo e nas estações.</li> </ul>

Para responder à **Pergunta 1** você deverá realizar uma comparação par a par e adotar a escala proposta por Saaty (1977), como pode ser visto na Tabela 10.

Agora escreva na célula “Critério Escolhido” da Tabela 2, o código do critério avaliado como sendo um problema igual ou mais importante que o outro. Além disso, expresse na Escala Verbal (1-9: você pode alterar a **cor** do número ou deixá-lo em **negrito**) sua opinião sobre a importância do critério escolhido relativamente ao critério preterido.

**Tabela 2:** Comparação dos critérios pelos especialistas

Comparação de pares	Critério escolhido	Intensidade de importância								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>C1:</b> Espaço para implantação x <b>C2:</b> Custo e prazo de implantação		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>C1:</b> Espaço para implantação x <b>C3:</b> Custo de operação e manutenção		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>C1:</b> Espaço para implantação x <b>C4:</b> Intrusão visual e poluição		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>C1:</b> Espaço para implantação x <b>C5:</b> Capacidade		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>C1:</b> Espaço para implantação x <b>C6:</b> Rapidez		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>C1:</b> Espaço para implantação x <b>C7:</b> Conforto		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>C2:</b> Custo e prazo de implantação x <b>C3:</b> Custo de operação e manutenção		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>C2:</b> Custo e prazo de implantação x <b>C4:</b> Intrusão visual e poluição		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>C2:</b> Custo e prazo de implantação x <b>C5:</b> Capacidade		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>C2:</b> Custo e prazo de implantação x <b>C6:</b> Rapidez		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>C2:</b> Custo e prazo de implantação x <b>C7:</b> Conforto		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>C3:</b> Custo de operação e manutenção x <b>C4:</b> Intrusão visual e poluição		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>C3:</b> Custo de operação e manutenção x <b>C5:</b> Capacidade		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>C3:</b> Custo de operação e manutenção x <b>C6:</b> Rapidez		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>C3:</b> Custo de operação e manutenção x <b>C7:</b> Conforto		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>C4:</b> Intrusão visual e poluição x <b>C5:</b> Capacidade		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>C4:</b> Intrusão visual e poluição x <b>C6:</b> Rapidez		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>C4:</b> Intrusão visual e poluição x <b>C7:</b> Conforto		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>C5:</b> Capacidade x <b>C6:</b> Rapidez		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>C5:</b> Capacidade x <b>C7:</b> Conforto		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>C6:</b> Rapidez x <b>C7:</b> Conforto		1	2	3	4	5	6	7	8	9

**Pergunta 2:** Levando em consideração as características da Av. Norte, qual das alternativas apresentadas é mais adequada para atender o Critério C<sub>n</sub>?

- Alternativa 1: BRT
- Alternativa 2: VLT
- Alternativa 3: Monotrilho
- Alternativa 4: Metrô subterrâneo
- Alternativa 5: Ônibus comum em faixa exclusiva

Para responder a pergunta 2, você deve relacionar os critérios com as alternativas. Por exemplo, para o critério  $C_n$ , escreva na célula (Alternativa Escolhida) das Tabelas 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9 o código da alternativa que avalia como sendo a medida igual ou mais importante do que a outra para atender ao Critério  $n$ . Além disso, expresse na Escala Verbal (1-9: você pode alterar a **cor** do número ou deixá-lo em **negrito**) sua opinião sobre a importância da alternativa escolhida relativamente à alternativa preterida.

**Tabela 3:** Comparação das alternativas em relação ao critério C1 (Espaço para implantação)

Comparação de pares	Alternativa escolhida	Intensidade de importância								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A1: BRT x A2: VLT</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A1: BRT x A3: Monotrilho</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A1: BRT x A4: Metrô subterrâneo</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A1: BRT x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A2: VLT x A3: Monotrilho</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A2: VLT x A4: Metrô subterrâneo</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A2: VLT x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A3: Monotrilho x A4: Metrô subterrâneo</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A3: Monotrilho x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A4: Metrô subterrâneo x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9

**Tabela 4:** Comparação das alternativas em relação ao critério C2 (Custo e prazo de implantação)

Comparação de pares	Alternativa escolhida	Intensidade de importância								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A1: BRT x A2: VLT</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A1: BRT x A3: Monotrilho</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A1: BRT x A4: Metrô subterrâneo</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A1: BRT x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A2: VLT x A3: Monotrilho</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A2: VLT x A4: Metrô subterrâneo</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A2: VLT x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A3: Monotrilho x A4: Metrô subterrâneo</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A3: Monotrilho x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A4: Metrô subterrâneo x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9

**Tabela 5:** Comparação das alternativas em relação ao critério C3 (Custo de operação e manutenção)

Comparação de pares	Alternativa escolhida	Intensidade de importância								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A1: BRT x A2: VLT</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A1: BRT x A3: Monotrilho</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A1: BRT x A4: Metrô subterrâneo</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A1: BRT x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A2: VLT x A3: Monotrilho</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A2: VLT x A4: Metrô subterrâneo</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A2: VLT x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A3: Monotrilho x A4: Metrô subterrâneo</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A3: Monotrilho x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A4: Metrô subterrâneo x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9

**Tabela 6:** Comparação das alternativas em relação ao critério C4 (Intrusão visual e poluição)

Comparação de pares	Alternativa escolhida	Intensidade de importância								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A1: BRT x A2: VLT</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A1: BRT x A3: Monotrilho</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A1: BRT x A4: Metrô subterrâneo</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A1: BRT x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A2: VLT x A3: Monotrilho</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A2: VLT x A4: Metrô subterrâneo</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A2: VLT x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A3: Monotrilho x A4: Metrô subterrâneo</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A3: Monotrilho x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A4: Metrô subterrâneo x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9

Tabela 7: Comparação das alternativas em relação ao critério C5 (Capacidade)

Comparação de pares	Alternativa escolhida	Intensidade de importância								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A1: BRT x A2: VLT</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A1: BRT x A3: Monotrilho</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A1: BRT x A4: Metrô subterrâneo</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A1: BRT x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A2: VLT x A3: Monotrilho</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A2: VLT x A4: Metrô subterrâneo</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A2: VLT x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A3: Monotrilho x A4: Metrô subterrâneo</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A3: Monotrilho x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A4: Metrô subterrâneo x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9

Tabela 8: Comparação das alternativas em relação ao critério C6 (Rapidez)

Comparação de pares	Alternativa escolhida	Intensidade de importância								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A1: BRT x A2: VLT</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A1: BRT x A3: Monotrilho</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A1: BRT x A4: Metrô subterrâneo</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A1: BRT x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A2: VLT x A3: Monotrilho</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A2: VLT x A4: Metrô subterrâneo</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A2: VLT x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A3: Monotrilho x A4: Metrô subterrâneo</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A3: Monotrilho x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A4: Metrô subterrâneo x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9

Tabela 9: Comparação das alternativas em relação ao critério C7 (Conforto)

Comparação de pares	Alternativa escolhida	Intensidade de importância								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
A1: BRT x A2: VLT		1	2	3	4	5	6	7	8	9
A1: BRT x A3: Monotrilho		1	2	3	4	5	6	7	8	9
A1: BRT x A4: Metrô subterrâneo		1	2	3	4	5	6	7	8	9
A1: BRT x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva		1	2	3	4	5	6	7	8	9
A2: VLT x A3: Monotrilho		1	2	3	4	5	6	7	8	9
A2: VLT x A4: Metrô subterrâneo		1	2	3	4	5	6	7	8	9
A2: VLT x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva		1	2	3	4	5	6	7	8	9
A3: Monotrilho x A4: Metrô subterrâneo		1	2	3	4	5	6	7	8	9
A3: Monotrilho x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva		1	2	3	4	5	6	7	8	9
A4: Metrô subterrâneo x A5: Ônibus comum em faixa exclusiva		1	2	3	4	5	6	7	8	9

Tabela 10: Escala comparação de critérios segundo Saaty

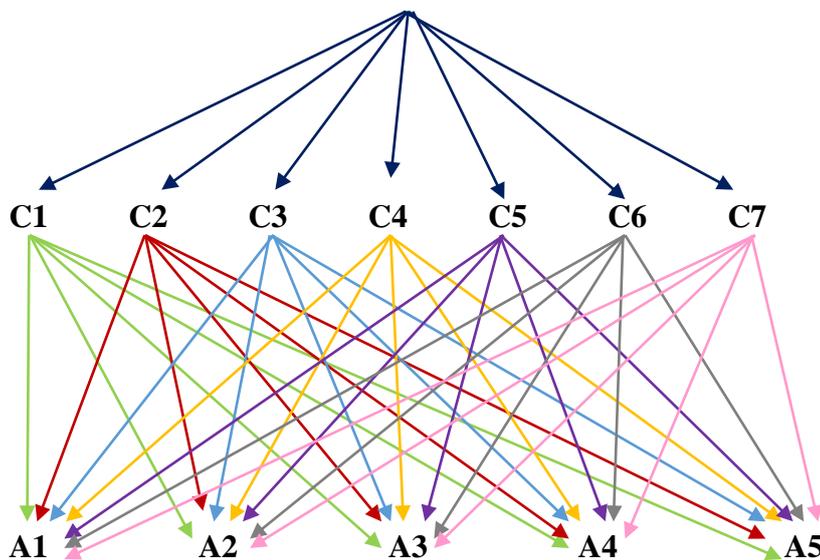
Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Igual importância para ambos os elementos.	Dois elementos contribuem igualmente.
3	Importância moderada de um elemento sobre o outro.	Experiência e julgamento favorecem um elemento sobre o outro.
5	Importância forte de um elemento sobre o outro.	Um elemento é fortemente favorecido sobre o outro.
7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro.	Um elemento é muito fortemente favorecido sobre o outro.
9	Importância extrema de um elemento sobre o outro.	Um elemento é favorecido por pelo menos uma ordem de magnitude.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários.	Usados para opiniões intermediárias entre dois julgamentos.

## APÊNDICE C – CÁLCULO DE UM QUESTIONÁRIO

### Objetivo

Análise dos principais critérios e alternativas para implantação do modo de transporte público mais adequado para a Av. Norte

### Critérios



### Alternativas

Onde:

**C1:** Espaço para implantação

**C2:** Custo e prazo de implantação

**C3:** Custo de operação e manutenção

**C4:** Intrusão visual e poluição

**C5:** Capacidade

**C6:** Rapidez

**C7:** Conforto

**A1:** BRT

**A2:** VLT

**A3:** Monotrilho

**A4:** Metrô subterrâneo

**A5:** Ônibus comum em faixa exclusiva













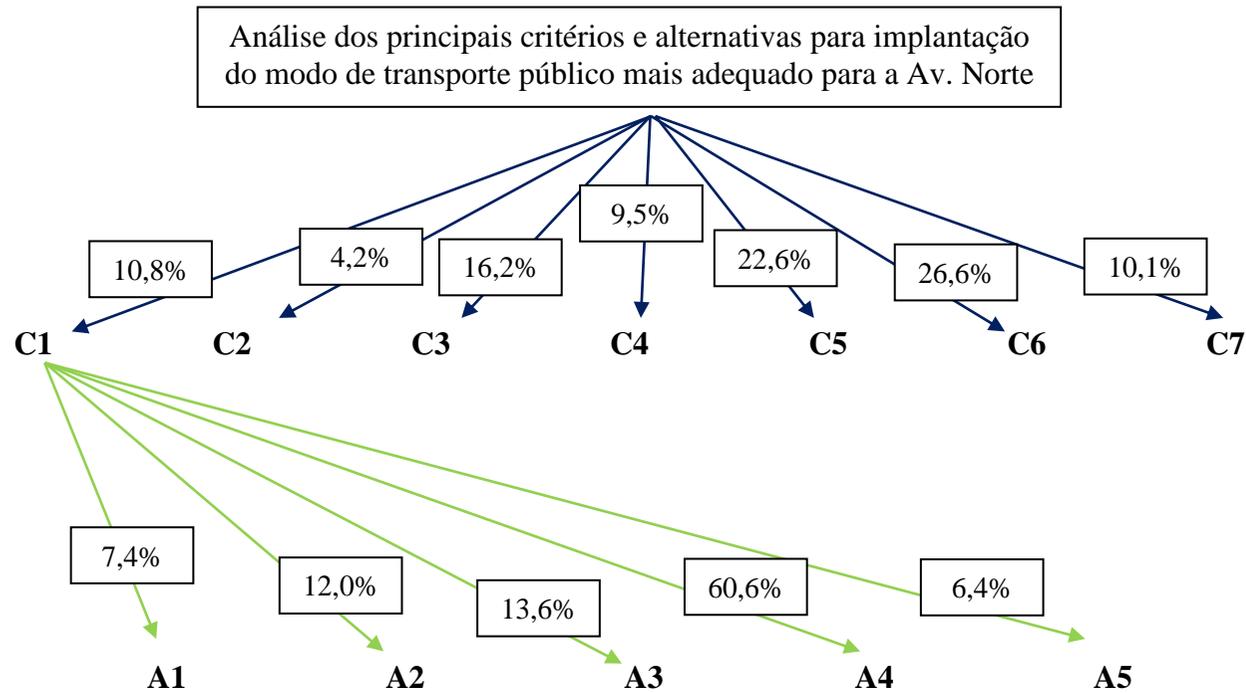




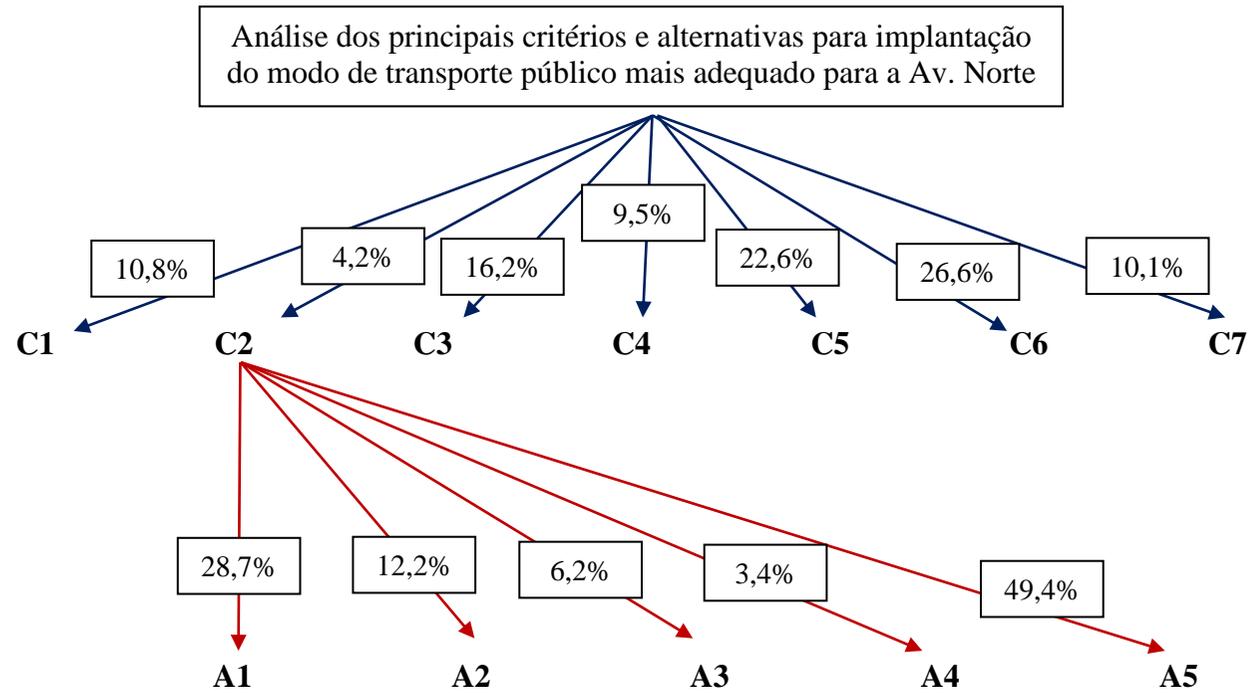
17. Calcular o resultado final (multiplicar matriz média das alternativas pela matriz dos critérios)

0,074102148	0,287331938	0,31313822	0,094025107	0,130520242	0,155809974	0,143662538	X	0,10808	=	0,16523	BRT	
0,119637862	0,122343244	0,12171951	0,201439915	0,119429061	0,105839726	0,156003779		0,04206		0,12778		VLT
0,135942807	0,061848624	0,0508652	0,041759106	0,075858028	0,105839726	0,086526236		0,16216		0,08353		Monotrilho
0,606215035	0,03428952	0,04808856	0,554203297	0,610828603	0,56869443	0,541207709		0,09469		0,47125		Metrô subterrâneo
0,064102148	0,494186674	0,46618851	0,108572575	0,063364065	0,063816144	0,072599737		0,22628		0,15222		Ônibus comum em faixa exclusiva
								0,266				
								0,10073				

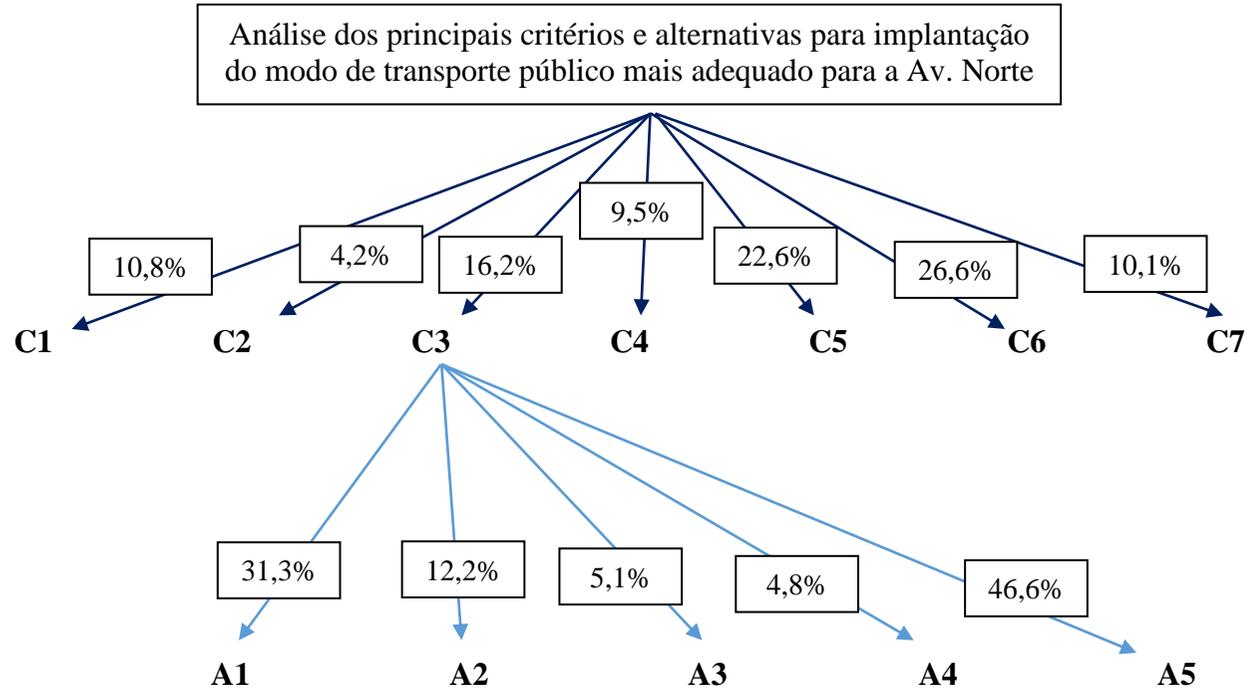
Assim, para as alternativas relacionadas ao Critério 1 (Espaço para implantação), destaca-se o seguinte resultado:



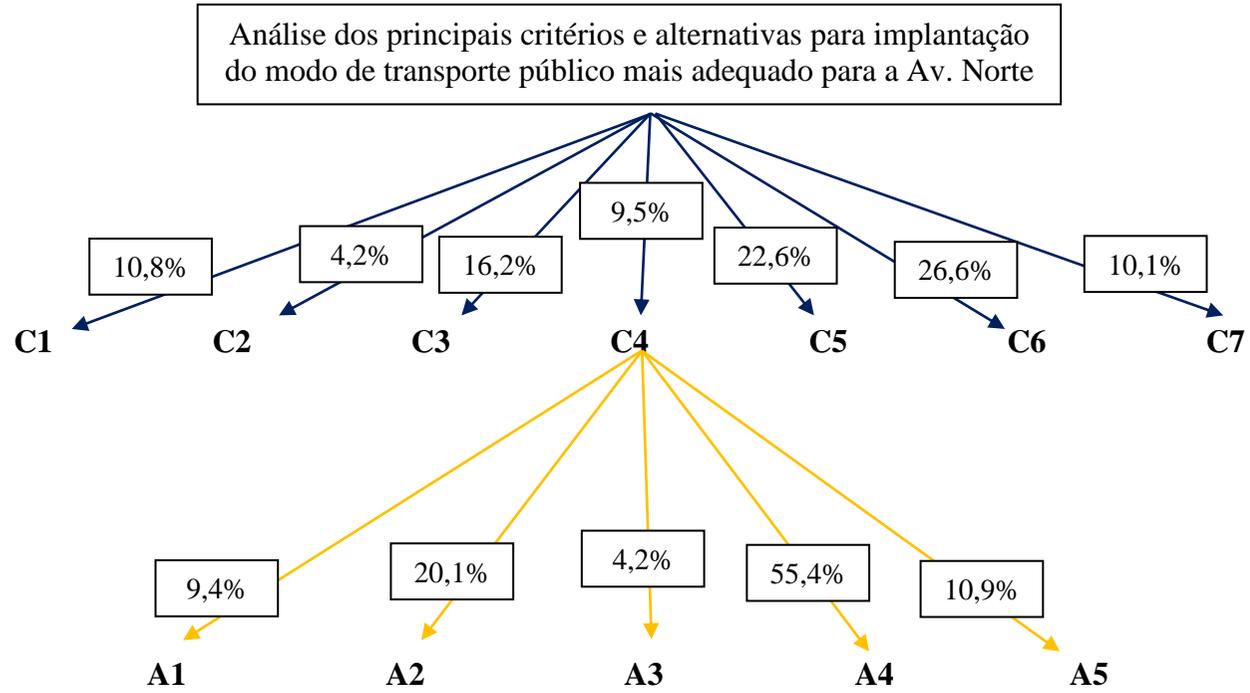
Assim, para as alternativas relacionadas ao Critério 2 (Custo e prazo de implantação), destaca-se o seguinte resultado:



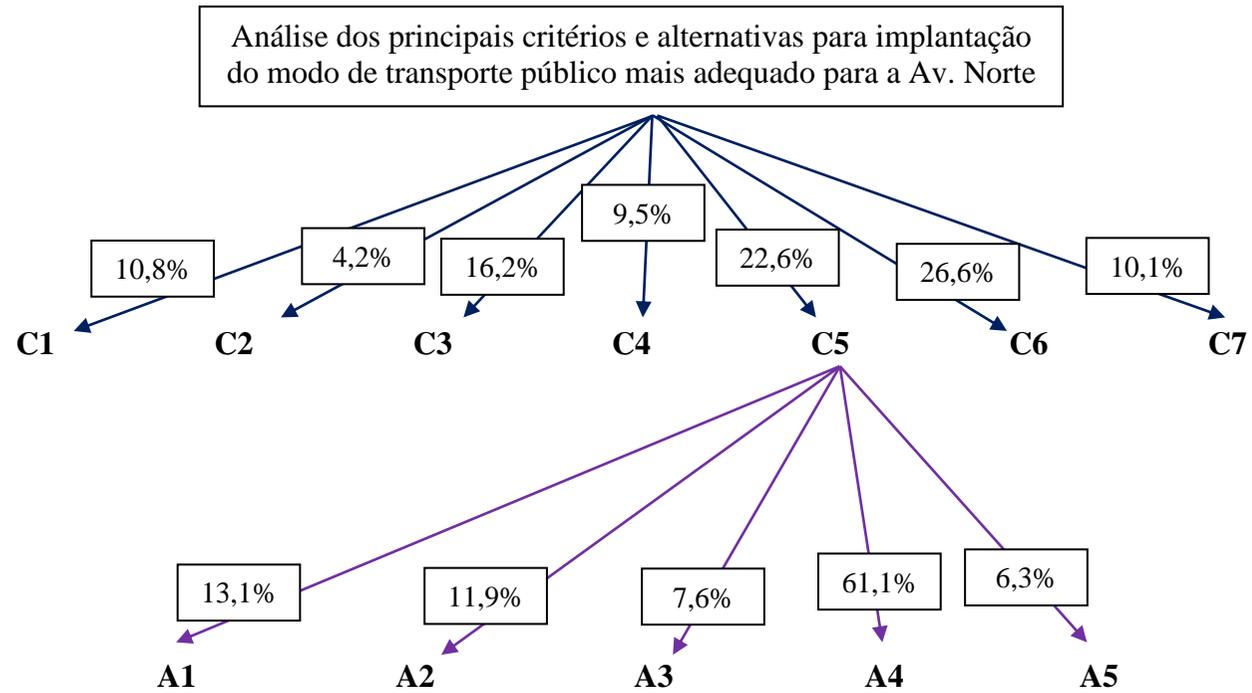
Assim, para as alternativas relacionadas ao Critério 3 (Custo de operação e manutenção), destaca-se o seguinte resultado:



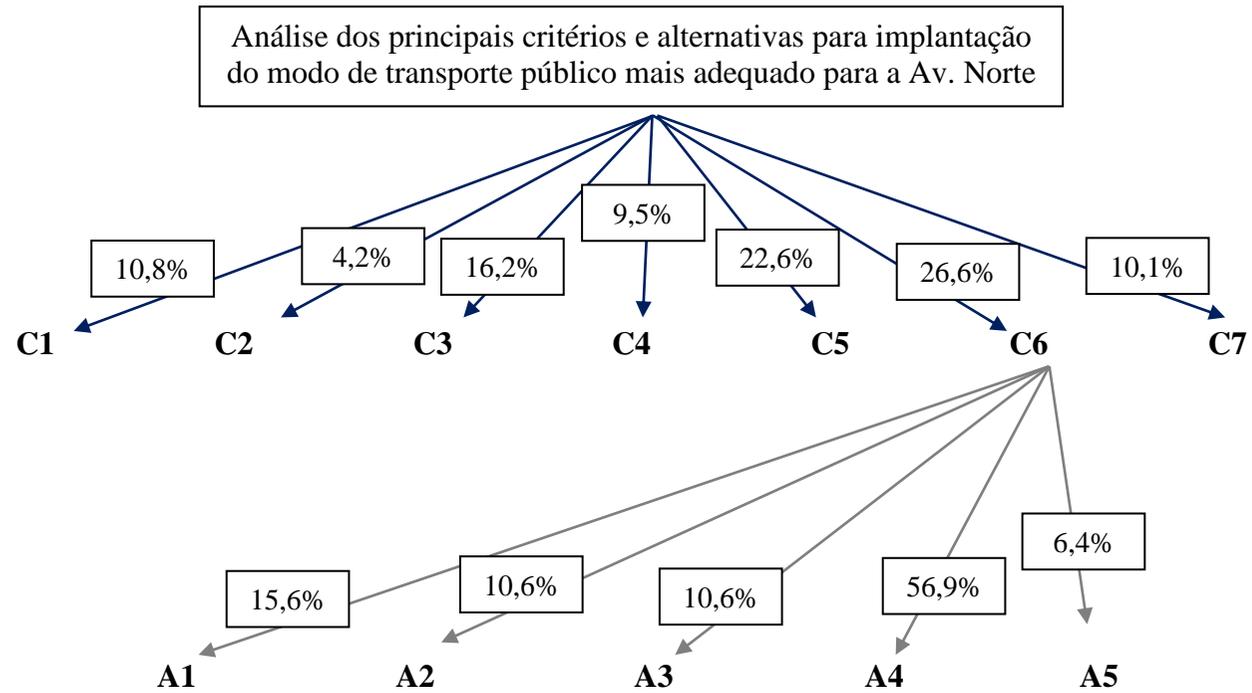
Assim, para as alternativas relacionadas ao Critério 4 (Intrusão visual e poluição), destaca-se o seguinte resultado:



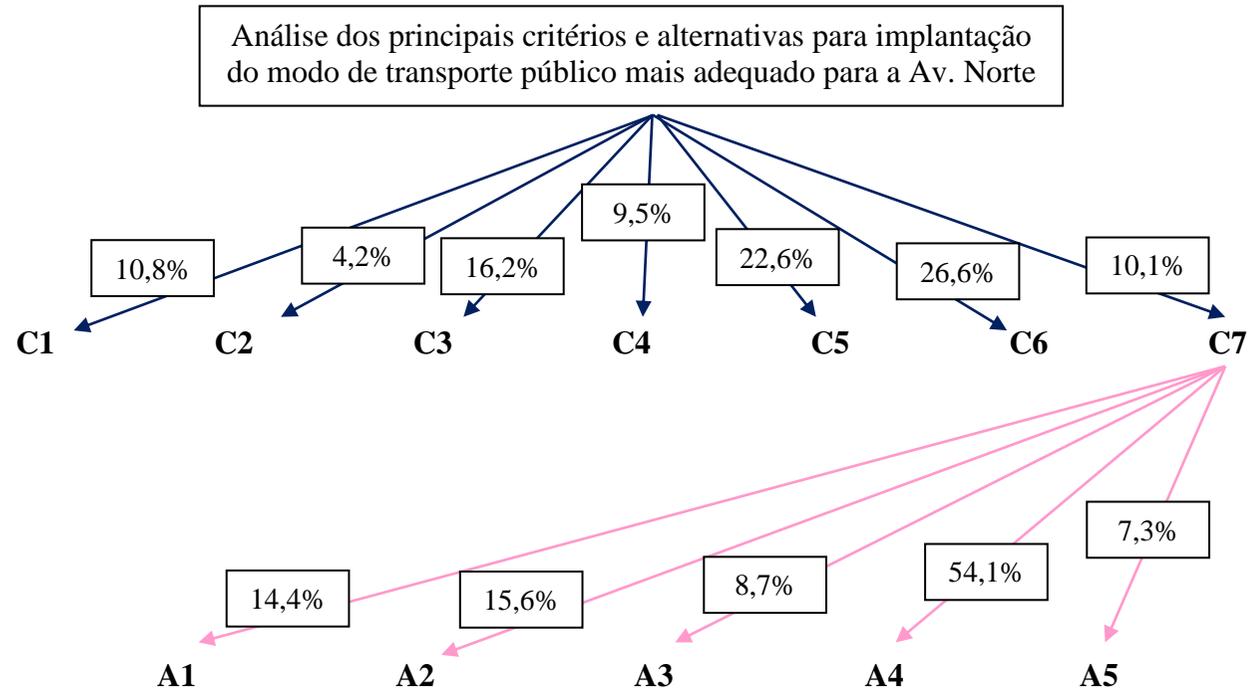
Assim, para as alternativas relacionadas ao Critério 5 (Capacidade), destaca-se o seguinte resultado:



Assim, para as alternativas relacionadas ao Critério 6 (Rapidez) destaca-se o seguinte resultado:



Assim, para as alternativas relacionadas ao Critério 7 (Conforto) destaca-se o seguinte resultado:



Portanto, conforme o Entrevistado 6 a ordem das alternativas de transporte público mais adequada para a Av. Norte está apresentada na tabela a seguir.

Posição	%	Alternativa
1º	47,1%	Metrô subterrâneo
2º	16,5%	BRT
3º	15,2%	Ônibus comum em faixa exclusiva
4º	12,8%	VLT
5º	8,4%	Monotrilho

## APÊNDICE D – APLICAÇÃO DO AHP COM OS 25 QUESTIONÁRIOS

Nesta etapa, foi utilizado o método de Agregação Individual de Julgamentos para agregar as respostas dos 25 questionários. De acordo com o AHP, é necessário verificar a consistência dos dados, assim, o Índice de Consistência foi calculado nesta fase.

1. Calcular a média geométrica das respostas de todo o grupo para os critérios e, em seguida somar os pesos

Decisão	Espaço p/ implantação	Custo e prazo de implantação	Custo de operação e manutenção	Intrusão visual e poluição	Capacidade	Rapidez	Conforto
Espaço p/ implantação	1	2,193502773	2,074130204	2,538924919	0,969054657	1,7226943	2,002754
Custo e prazo de implantação	0,455891833	1	0,58705682	1,357278593	0,379892064	1,12165667	1,14353
Custo de operação e manutenção	0,48212981	1,703412628	1	1,758787421	0,516930609	1,5454366	1,785516
Intrusão visual e poluição	0,393867496	0,736768417	0,568573546	1	0,208337792	0,26850442	0,634158
Capacidade	1,031933537	2,632326638	1,934495622	4,79989728	1	1,56775897	1,743159
Rapidez	0,580486045	0,891538406	0,647066338	3,724333495	0,637853153	1	1,746253
Conforto	0,499312495	0,874485272	0,560062311	1,576894878	0,573671203	0,57265474	1
<b>SOMA</b>	<b>4,443621216</b>	<b>10,03203413</b>	<b>7,371384841</b>	<b>16,75611658</b>	<b>4,285739478</b>	<b>7,7987057</b>	<b>10,0554</b>



3. Multiplicar a matriz inicial pela média (cálculo da coerência em relação aos critérios)

Decisão	Espaço p/ implantação	Custo e prazo de implantação	Custo de operação e manutenção	Intrusão visual e poluição	Capacidade	Rapidez	Conforto	MÉDIA	Z
Espaço p/ implantação	1	2,193502773	2,074130204	2,538924919	0,969054657	1,7226943	2,002754	0,217538	1,56531891
Custo e prazo de implantação	0,455891833	1	0,58705682	1,357278593	0,379892064	1,1216567	1,14353	0,101301	0,72908344
Custo de operação e manutenção	0,48212981	1,703412628	1	1,758787421	0,516930609	1,5454366	1,785516	0,145039	1,045166595
Intrusão visual e poluição	0,393867496	0,736768417	0,568573546	1	0,208337792	0,2685044	0,634158	0,063571	0,454372629
Capacidade	1,031933537	2,632326638	1,934495622	4,79989728	1	1,567759	1,743159	0,235889	1,700719279
Rapidez	0,580486045	0,891538406	0,647066338	3,724333495	0,637853153	1	1,746253	0,140039	1,006430494
Conforto	0,499312495	0,874485272	0,560062311	1,576894878	0,573671203	0,5726547	1	0,096622	0,690820963

X

=

4. Determinar o  $\lambda$  máximo (cálculo da coerência em relação aos critérios)

Z	MÉDIA	$\lambda$
1,56531891	0,217538378	7,195598895
0,72908344	0,101301081	7,197193092
1,045166595	0,145038695	7,20612246
0,454372629	0,063571173	7,147463379
1,700719279	0,235889403	7,209816356
1,006430494	0,140038904	7,186792154
0,690820963	0,096622367	7,149700264

/

=

$\lambda$ máx =	<b>7,18467</b>
-----------------	----------------

$\lambda$  máximo é a média dos  $\lambda$ s

5. Determinar o Índice de Consistência – IC (cálculo da coerência em relação aos critérios)

$$IC = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} = \frac{7,18467 - 7}{7 - 1} = 0,030778252$$

n = nº de critérios = 7

6. Determinar o Índice de Randômico – IR (cálculo da coerência em relação aos critérios)

Ordem da matriz (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>IR</b>	0,00	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

IR = 1,35

7. Determinar a Taxa de Consistência –TC (cálculo da coerência em relação aos critérios)

$$TC = \frac{IC}{IR} = \frac{0,030778252}{1,35} = 0,02279805$$

n	TC	<b>VERIFICA</b>
≥ 5	<0,1	
4	<0,08	
3	<0,05	

8. Calcular a média geométrica das respostas de todo o grupo para as alternativas em relação ao Critério 1 e, em seguida somar os pesos

Decisão	BRT	VLT	Monotrilho	Metrô	Ônibus comum em faixa exclusiva
BRT	1	0,543389641	0,886072834	0,142670001	0,295551662
VLT	1,84030008	1	1,052067332	0,362666429	0,27154375
Monotrilho	1,128575396	0,950509506	1	0,162137214	0,265075864
Metrô	7,009181967	2,757354747	6,167615552	1	1,922901535
Ônibus comum em faixa exclusiva	3,383503218	3,682647826	3,772504919	0,520047429	1
<b>SOMA</b>	<b>14,36156066</b>	<b>8,93390172</b>	<b>12,87826064</b>	<b>2,187521073</b>	<b>3,755072811</b>

9. Normalizar a matriz (pesos escolhidos para as alternativas divididos pela soma) e calcular a média

Decisão	BRT	VLT	Monotrilho	Metrô	Ônibus comum em faixa exclusiva	<b>MÉDIA</b>
BRT	0,069630316	0,060823329	0,068803766	0,065219944	0,078707305	<b>0,068637</b>
VLT	0,128140675	0,111933177	0,081693278	0,16578877	0,072313844	<b>0,111974</b>
Monotrilho	0,078583061	0,106393548	0,077650238	0,074119155	0,070591405	<b>0,081467</b>
Metrô	0,488051552	0,308639476	0,478916814	0,457138453	0,512081025	<b>0,448965</b>
Ônibus comum em faixa exclusiva	0,235594397	0,41221047	0,292935904	0,237733677	0,266306421	<b>0,288956</b>
<b>SOMA <math>\approx</math> 1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	

10. Multiplicar a matriz inicial pela média (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 1)

Decisão	BRT	VLT	Monotrilho	Metrô	Ônibus comum em faixa exclusiva	X	=	MÉDIA	Z
BRT	1	0,543389641	0,886072834	0,142670001	0,295551662			0,068637	0,351124
VLT	1,84030008	1	1,052067332	0,362666429	0,27154375			0,111974	0,565285
Monotrilho	1,128575396	0,950509506	1	0,162137214	0,265075864			0,081467	0,414751
Metrô	7,009181967	2,757354747	6,167615552	1	1,922901535			0,448965	2,2969
Ônibus comum em faixa exclusiva	3,383503218	3,682647826	3,772504919	0,520047429	1			0,288956	1,47437

11. Determinar o  $\lambda$  máximo (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 1)

Z	MÉDIA	$\lambda$
0,351123919	0,068636932	5,115670369
0,565284721	0,111973949	5,048359245
0,414751054	0,081467481	5,091001302
2,296900484	0,448965464	5,115984787
1,474369883	0,288956174	5,102399662

/      =

$\lambda$ máx =	<b>5,09468</b>
-----------------	----------------

$\lambda$  máximo é a média dos  $\lambda$ s

12. Determinar o Índice de Consistência – IC (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 1)

$$IC = \frac{\lambda_{máx} - n}{n - 1} = \frac{5,09468 - 5}{5 - 1} = 0,023670768$$

n = nº de critérios = 5

13. Determinar o Índice de Randômico – IR (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 1)

Ordem da matriz (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0,00	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

IR = 1,11

14. Determinar a Taxa de Consistência –TC (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 1)

$$TC = \frac{IC}{IR} = \frac{0,023670768}{1,11} = 0,02132502$$

n	TC	<b>VERIFICA</b>
≥ 5	<0,1	
4	<0,08	
3	<0,05	

15. Calcular a média geométrica das respostas de todo o grupo para as alternativas em relação ao Critério 2 e, em seguida somar os pesos

Decisão	BRT	VLT	Monotrilho	Metrô	Ônibus comum em faixa exclusiva
BRT	1	4,644181615	5,026618248	7,7310907	0,186054499
VLT	0,21532319	1	2,776698394	5,74397795	0,148350206
Monotrilho	0,198940908	0,360139942	1	4,78894734	0,140373839
Metrô	0,129347855	0,174095376	0,208814157	1	0,111111111
Ônibus comum em faixa exclusiva	5,37476925	6,740806278	7,123834502	9	1
<b>SOMA</b>	<b>6,918381203</b>	<b>12,91922321</b>	<b>16,1359653</b>	<b>28,264016</b>	<b>1,585889655</b>

16. Normalizar a matriz (pesos escolhidos para as alternativas divididos pela soma) e calcular a média

Decisão	BRT	VLT	Monotrilho	Metrô	Ônibus comum em faixa exclusiva	MÉDIA
BRT	0,144542483	0,359478394	0,311516426	0,27353122	0,117318691	<b>0,2412774</b>
VLT	0,031123349	0,077404035	0,172081332	0,20322582	0,093543839	<b>0,1154757</b>
Monotrilho	0,028755413	0,027876285	0,061973361	0,1694362	0,088514254	<b>0,0753111</b>
Metrô	0,01869626	0,013475684	0,012940915	0,03538068	0,070062322	<b>0,0301112</b>
Ônibus comum em faixa exclusiva	0,776882495	0,521765602	0,441487966	0,31842609	0,630560895	<b>0,5378246</b>
<b>SOMA <math>\approx</math> 1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	

17. Multiplicar a matriz inicial pela média (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 2)

Decisão	BRT	VLT	Monotrilho	Metrô	Ônibus comum em faixa exclusiva	MÉDIA	Z
BRT	1	4,644181615	5,026618248	7,7310907	0,186054499	0,241277	1,488984
VLT	0,21532319	1	2,776698394	5,7439779	0,148350206	0,115476	0,629289
Monotrilho	0,198940908	0,360139942	1	4,7889473	0,140373839	0,075311	0,384596
Metrô	0,129347855	0,174095376	0,208814157	1	0,111111111	0,030111	0,156908
Ônibus comum em faixa exclusiva	5,37476925	6,740806278	7,123834502	9	1	0,537825	3,420539

X =

18. Determinar o  $\lambda$  máximo (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 2)

Z	MÉDIA	$\lambda$
1,488984495	0,241277443	6,1712545
0,629288816	0,115475676	5,4495357
0,384595778	0,075311102	5,1067608
0,156907986	0,030111172	5,2109559
3,420538713	0,537824609	6,359952

/ =

<b><math>\lambda</math> máx =</b>	<b>5,65969</b>
-----------------------------------	----------------

$\lambda$  máximo é a média dos  $\lambda$ s

19. Determinar o Índice de Consistência – IC (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 2)

$$IC = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} = \frac{5,65969 - 5}{5 - 1} = 0,164922942$$

n = nº de critérios = 5

20. Determinar o Índice de Randômico – IR (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 2)

Ordem da matriz (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>IR</b>	0,00	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

$$IR = 1,11$$

21. Determinar a Taxa de Consistência –TC (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 1)

$$TC = \frac{IC}{IR} = \frac{0,164922942}{1,11} = 0,1485792$$

n	TC	<b>REFAZER</b>
≥ 5	<0,1	
4	<0,08	
3	<0,05	



24. Multiplicar a matriz inicial pela média (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 3)

Decisão	BRT	VLT	Monotrilho	Metrô	Ônibus comum em faixa exclusiva	MÉDIA	Z
BRT	1	1,054822223	1,888542945	2,1581585	0,251780394	0,143682	0,725898
VLT	0,94802705	1	2,3124687	2,3313169	0,180370934	0,142131	0,715239
Monotrilho	0,529508742	0,432438286	1	1,4187185	0,173155579	0,081335	0,406439
Metrô	0,463358005	0,428942119	0,704861448	1	0,119749263	0,062605	0,315764
Ônibus comum em faixa exclusiva	3,971715132	5,544130531	5,775153231	8,3507821	1	0,570247	2,921427

X

MÉDIA	Z
0,143682	0,725898
0,142131	0,715239
0,081335	0,406439
0,062605	0,315764
0,570247	2,921427

=

25. Determinar o  $\lambda$  máximo (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 3)

Z
0,725898446
0,715238617
0,406439378
0,315763888
2,921427356

/

MÉDIA
0,14368162
0,14213079
0,08133515
0,06260529
0,57024715

=

$\lambda$
5,052132
5,032257
4,997094
5,043725
5,12309

$\lambda$ máx =	<b>5,04966</b>
-----------------	----------------

$\lambda$  máximo é a média dos  $\lambda$ s

26. Determinar o Índice de Consistência – IC (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 3)

$$IC = \frac{\lambda_{máx} - n}{n - 1} = \frac{5,04966 - 5}{5 - 1} = 0,012414865$$

$n = \text{n}^\circ \text{ de critérios} = 5$

27. Determinar o Índice de Randômico – IR (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 3)

Ordem da matriz (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>IR</b>	0,00	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

IR = 1,11

28. Determinar a Taxa de Consistência –TC (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 3)

$$TC = \frac{IC}{IR} = \frac{0,012414865}{1,11} = 0,0111846$$

n	TC	<b>VERIFICA</b>
$\geq 5$	<0,1	
4	<0,08	
3	<0,05	

29. Calcular a média geométrica das respostas de todo o grupo para as alternativas em relação ao Critério 4 e, em seguida somar os pesos

Decisão	BRT	VLT	Monotrilho	Metrô	Ônibus comum em faixa exclusiva
BRT	1	0,214805215	2,141447912	0,1581779	0,798607623
VLT	4,655380457	1	3,848435341	0,1793019	1,951779142
Monotrilho	0,466973768	0,259845862	1	0,1372887	0,549096432
Metrô	6,321994347	5,577185254	7,283921218	1	4,172845476
Ônibus comum em faixa exclusiva	1,252179383	0,512353052	1,821173735	0,2396446	1
<b>SOMA</b>	<b>13,69652795</b>	<b>7,56418938</b>	<b>16,09497821</b>	<b>1,714413</b>	<b>8,472328673</b>

30. Normalizar a matriz (pesos escolhidos para as alternativas divididos pela soma) e calcular a média

Decisão	BRT	VLT	Monotrilho	Metrô	Ônibus comum em faixa exclusiva	<b>MÉDIA</b>
BRT	0,073011204	0,028397652	0,133050687	0,0922636	0,094260699	<b>0,0841968</b>
VLT	0,339894933	0,132201872	0,239107832	0,104585	0,230371037	<b>0,2092321</b>
Monotrilho	0,034094317	0,03435211	0,062131181	0,0800791	0,064810568	<b>0,0550935</b>
Metrô	0,461576421	0,737314334	0,452558626	0,58329	0,492526392	<b>0,5454531</b>
Ônibus comum em faixa exclusiva	0,091423125	0,067734033	0,113151675	0,1397823	0,118031304	<b>0,1060245</b>
<b>SOMA <math>\approx</math> 1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	

31. Multiplicar a matriz inicial pela média (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 4)

Decisão	BRT	VLT	Monotrilho	Metrô	Ônibus comum em faixa exclusiva	MÉDIA	Z
BRT	1	0,214805215	2,141447912	0,1581779	0,798607623	0,084197	0,418071
VLT	4,655380457	1	3,848435341	0,1793019	1,951779142	0,209232	1,117961
Monotrilho	0,466973768	0,259845862	1	0,1372887	0,549096432	0,055093	0,281881
Metrô	6,321994347	5,577185254	7,283921218	1	4,172845476	0,545453	3,088391
Ônibus comum em faixa exclusiva	1,252179383	0,512353052	1,821173735	0,2396446	1	0,106024	0,549704

X =

32. Determinar o  $\lambda$  máximo (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 4)

Z	MÉDIA	$\lambda$
0,41807131	0,084196769	4,965408
1,117960919	0,209232137	5,3431607
0,281881462	0,055093458	5,1164235
3,088391247	0,545453148	5,6620651
0,549704346	0,106024489	5,1846923

/ =

$\lambda$ máx =	<b>5,25435</b>
-----------------	----------------

$\lambda$  máximo é a média dos  $\lambda$ s

33. Determinar o Índice de Consistência – IC (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 4)

$$IC = \frac{\lambda_{máx} - n}{n - 1} = \frac{5,25435 - 5}{5 - 1} = 0,063587476$$

n = nº de critérios = 5

34. Determinar o Índice de Randômico – IR (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 4)

Ordem da matriz (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>IR</b>	0,00	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

IR = 1,11

35. Determinar a Taxa de Consistência – TC (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 4)

$$TC = \frac{IC}{IR} = \frac{0,063587476}{1,11} = 0,057286$$

n	TC	<b>VERIFICA</b>
≥ 5	<0,1	
4	<0,08	
3	<0,05	

36. Calcular a média geométrica das respostas de todo o grupo para as alternativas em relação ao Critério 5 e, em seguida somar os pesos

Decisão	BRT	VLT	Monotrilho	Metrô	Ônibus comum em faixa exclusiva
BRT	1	0,679657152	1,890689509	0,1321776	3,586307483
VLT	1,471330062	1	2,235407953	0,1514728	2,522513884
Monotrilho	0,528907573	0,447345639	1	0,1505417	1,244715301
Metrô	7,565579984	6,601845801	6,642678721	1	7,901976854
Ônibus comum em faixa exclusiva	0,278838333	0,396429929	0,803396567	0,1265506	1
<b>SOMA</b>	<b>10,84465595</b>	<b>9,12527852</b>	<b>12,57217275</b>	<b>1,560743</b>	<b>16,25551352</b>

37. Normalizar a matriz (pesos escolhidos para as alternativas divididos pela soma) e calcular a média

Decisão	BRT	VLT	Monotrilho	Metrô	Ônibus comum em faixa exclusiva	MÉDIA
BRT	0,092211316	0,074480702	0,150386854	0,0846889	0,22062099	<b>0,124478</b>
VLT	0,135673282	0,109585696	0,177806016	0,0970517	0,155178972	<b>0,135059</b>
Monotrilho	0,048771264	0,049022683	0,079540746	0,0964552	0,076571884	<b>0,070072</b>
Metrô	0,697632089	0,723467868	0,528363621	0,6407206	0,486110564	<b>0,615259</b>
Ônibus comum em faixa exclusiva	0,02571205	0,04344305	0,063902762	0,0810836	0,061517589	<b>0,055132</b>
<b>SOMA <math>\approx</math> 1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	

38. Multiplicar a matriz inicial pela média (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 5)

Decisão	BRT	VLT	Monotrilho	Metrô	Ônibus comum em faixa exclusiva	MÉDIA	Z
BRT	1	0,679657152	1,890689509	0,1321776	3,586307483	0,124478	0,6278
VLT	1,471330062	1	2,235407953	0,1514728	2,522513884	0,135059	0,707113
Monotrilho	0,528907573	0,447345639	1	0,1505417	1,244715301	0,070072	0,357573
Metrô	7,565579984	6,601845801	6,642678721	1	7,901976854	0,615259	3,349763
Ônibus comum em faixa exclusiva	0,278838333	0,396429929	0,803396567	0,1265506	1	0,055132	0,27754

X =

39. Determinar o  $\lambda$  máximo (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 5)

Z	MÉDIA	$\lambda$
0,627799763	0,12447775	5,04347
0,70711302	0,13505914	5,235581
0,35757321	0,07007235	5,102915
3,349763318	0,61525895	5,444477
0,277539741	0,05513181	5,034113

/ =

$\lambda$ máx =	<b>5,17211</b>
-----------------	----------------

$\lambda$  máximo é a média dos  $\lambda$ s

40. Determinar o Índice de Consistência – IC (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 5)

$$IC = \frac{\lambda_{máx} - n}{n - 1} = \frac{5,17211 - 5}{5 - 1} = 0,04302775$$

n = nº de critérios = 5

41. Determinar o Índice de Randômico – IR (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 5)

<b>Ordem da matriz (n)</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>IR</b>	0,00	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

$$IR = 1,11$$

42. Determinar a Taxa de Consistência – TC (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 5)

$$TC = \frac{IC}{IR} = \frac{0,04302775}{1,11} = 0,0387637$$



45. Multiplicar a matriz inicial pela média (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 6)

Decisão	BRT	VLT	Monotrilho	Metrô	Ônibus comum em faixa exclusiva	MÉDIA	Z
BRT	1	0,546731936	1,371004087	0,1891623	2,553488205	0,123676	0,619008
VLT	1,829049912	1	1,509424077	0,1997751	2,097447856	0,15062	0,778353
Monotrilho	0,729392428	0,662504339	1	0,1883381	1,513808165	0,097642	0,495797
Metrô	5,286465156	5,00562853	5,309599424	1	6,201092577	0,560258	2,906912
Ônibus comum em faixa exclusiva	0,391621155	0,476769898	0,660585682	0,1612619	1	0,067804	0,342898

X =

46. Determinar o  $\lambda$  máximo (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 6)

Z	MÉDIA	$\lambda$
0,619008249	0,123675608	5,0050957
0,778353071	0,150620457	5,1676451
0,495796698	0,097641747	5,0777123
2,906912356	0,560258212	5,1885225
0,342898306	0,067803975	5,0572006

/ =

$\lambda$ máx =	<b>5,09924</b>
-----------------	----------------

$\lambda$  máximo é a média dos  $\lambda$ s

47. Determinar o Índice de Consistência – IC (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 6)

$$IC = \frac{\lambda_{máx} - n}{n - 1} = \frac{5,09924 - 5}{5 - 1} = 0,024808811$$

$n = n^\circ$  de critérios = 5

48. Determinar o Índice de Randômico – IR (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 6)

Ordem da matriz (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0,00	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

IR = 1,11

49. Determinar a Taxa de Consistência – TC (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 6)

$$TC = \frac{IC}{IR} = \frac{0,024808811}{1,11} = 0,0223503$$

n	TC	<b>VERIFICA</b>
$\geq 5$	<0,1	
4	<0,08	
3	<0,05	

50. Calcular a média geométrica das respostas de todo o grupo para as alternativas em relação ao Critério 7 e, em seguida somar os pesos

Decisão	BRT	VLT	Monotrilho	Metrô	Ônibus comum em faixa exclusiva
BRT	1	0,338673381	0,976442575	0,2086306	3,640159751
VLT	2,952697365	1	2,302398804	0,5788146	4,167333985
Monotrilho	1,024125766	0,434329621	1	0,229993	2,054004646
Metrô	4,793161689	1,727669036	4,347958834	1	4,936026067
Ônibus comum em faixa exclusiva	0,274713218	0,239961569	0,486853816	0,2025921	1
<b>SOMA</b>	<b>10,04469804</b>	<b>3,74063361</b>	<b>9,11365403</b>	<b>2,22003</b>	<b>15,79752445</b>

51. Normalizar a matriz (pesos escolhidos para as alternativas divididos pela soma) e calcular a média

Decisão	BRT	VLT	Monotrilho	Metrô	Ônibus comum em faixa exclusiva	<b>MÉDIA</b>
BRT	0,099555009	0,090539041	0,107140623	0,0939764	0,230425961	<b>0,12433</b>
VLT	0,293955812	0,267334389	0,252631798	0,2607237	0,263796647	<b>0,26769</b>
Monotrilho	0,101956849	0,116111244	0,109725473	0,103599	0,130020666	<b>0,11228</b>
Metrô	0,477183253	0,461865346	0,47708184	0,4504443	0,312455669	<b>0,43581</b>
Ônibus comum em faixa exclusiva	0,027349077	0,064149979	0,053420265	0,0912565	0,063301057	<b>0,0599</b>
<b>SOMA ≈ 1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	

52. Multiplicar a matriz inicial pela média (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 7)

Decisão	BRT	VLT	Monotrilho	Metrô	Ônibus comum em faixa exclusiva	X	=	MÉDIA	Z
BRT	1	0,338673381	0,976442575	0,2086306	3,640159751			0,124327	0,633575
VLT	2,952697365	1	2,302398804	0,5788146	4,167333985			0,267688	1,395164
Monotrilho	1,024125766	0,434329621	1	0,229993	2,054004646			0,112283	0,579132
Metrô	4,793161689	1,727669036	4,347958834	1	4,936026067			0,435806	2,27805
Ônibus comum em faixa exclusiva	0,274713218	0,239961569	0,486853816	0,2025921	1			0,059895	0,301241

53. Determinar o  $\lambda$  máximo (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 7)

Z	MÉDIA	$\lambda$
0,633575122	0,124327417	5,096021
1,395164076	0,267688476	5,2118944
0,579132305	0,112282652	5,1578075
2,278050045	0,435806085	5,2272103
0,301240819	0,05989537	5,0294509

/ =

<b><math>\lambda</math> máximo =</b>	<b>5,14448</b>
--------------------------------------	----------------

$\lambda$  máximo é a média dos  $\lambda$ s

54. Determinar o Índice de Consistência – IC (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 7)

$$IC = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} = \frac{5,14448 - 5}{5 - 1} = 0,0361192$$

n = nº de critérios = 5

55. Determinar o Índice de Randômico – IR (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 7)

Ordem da matriz (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>IR</b>	0,00	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

IR = 1,11

56. Determinar a Taxa de Consistência – TC (cálculo da coerência das alternativas em relação ao Critério 7)

$$TC = \frac{IC}{IR} = \frac{0,0361192}{1,11} = 0,0325398$$

n	TC	<b>VERIFICA</b>
≥ 5	<0,1	
4	<0,08	
3	<0,05	

57. Calcular o resultado (multiplicar matriz média das alternativas pela matriz dos critérios)

0,068636932	0,241277443	0,14368162	0,084196769	0,124477752	0,123675608	0,124327417	X	0,217538378	=	0,124259903	BRT
0,111973949	0,115475676	0,142130794	0,209232137	0,135059141	0,150620457	0,267688476		0,101301081		0,148788477	VLT
0,081467481	0,075311102	0,081335147	0,055093458	0,070072347	0,097641747	0,112282652		0,145038695		0,081702482	Monotrilho
0,448965464	0,030111172	0,06260529	0,545453148	0,615258953	0,560258212	0,435806085		0,063571173		0,410172427	Metrô subterrâneo
0,288956174	0,537824609	0,570247149	0,106024489	0,055131807	0,067803975	0,05989537		0,235889403		0,235076711	Ônibus comum em faixa exclusiva
								0,140038904			
								0,096622367			

58. Os cálculos devem ser realizados novamente sem o Critério 2, uma vez que a consistência para as alternativas em relação a C2 não é aceitável. Depois disso, o resultado final será obtido da mesma forma do item 57.

É importante destacar que, conforme o Método de Chauvenet, os valores discrepantes informados pelos entrevistados não devem ser levados em consideração. Dessa forma, no cálculo das médias geométricas dos critérios e das alternativas, tais valores não foram computados.