

Guilherme Pedroso

**Avaliação energética,
econômica e socioambiental de
alternativas para sistemas de
transportes urbanos coletivos**

a partir do modelo de apoio
multicritério à decisão

Guilherme Pedroso

**Avaliação energética,
econômica e socioambiental de
alternativas para sistemas de
transportes urbanos coletivos**

**a partir do modelo de apoio
multicritério à decisão**

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo do texto e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva do autor, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos ao autor, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Avaliação energética, econômica e socioambiental de alternativas para sistemas de transportes urbanos coletivos a partir do modelo de apoio multicritério à decisão

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Maiara Ferreira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: O autor
Autor: Guilherme Pedroso

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P372 Pedroso, Guilherme
Avaliação energética, econômica e socioambiental de alternativas para sistemas de transportes urbanos coletivos a partir do modelo de apoio multicritério à decisão / Guilherme Pedroso. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-0428-6
DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.286220109>

1. Transporte urbano. I. Pedroso, Guilherme. II. Título.
CDD 338.41322

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br



DECLARAÇÃO DO AUTOR

O autor desta obra: 1. Atesta não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao conteúdo publicado; 2. Declara que participou ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certifica que o texto publicado está completamente isento de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirma a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhece ter informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autoriza a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Alcides e Anna Maria.

À minha esposa e filhos, Benedita, Felipe e Henrique.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Célio Bermann pela orientação e atenção recebidas em valiosas discussões e revisões efetuadas ao longo da realização da pesquisa.

Agradeço a todos os convidados que participaram da pesquisa de preferência pelos critérios e subcritérios.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (IEE-USP) pelo apoio recebido.

Agradeço às Sras. Maria de Fátima, Maria da Penha, Juliana, Julia e Adriana pela atenção recebida junto ao serviço de Biblioteca e à Secretária do Programa de Pós Graduação em Energia do IEE-USP.

Agradeço à Sra. Andressa Mariano Gonzalez pela revisão e formatação do texto final.

Agradeço, enfim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa.

EPIGRAFE

Regra I: Os estudos devem ter por finalidade a orientação do espírito, para que possamos formular juízos firmes e verdadeiros sobre todas as coisas que se lhe apresentam.

Regra II: Convém lidar exclusivamente com aqueles objetos de cujo conhecimento certo e indubitável o nosso espírito é capaz de alcançar.

Regra III: Acerca dos objetos considerados, deve-se investigar não o que os outros pensaram ou o que nós próprios suspeitamos, mas aquilo do que podemos ter uma intuição clara e evidente, ou que podemos deduzir com certeza, pois de outro modo não se adquire ciência.

Regra IV: O método é necessário para a procura da verdade.

Regra V: Todo método consiste na ordem e disposição das coisas, para as quais é necessário dirigir a agudeza do espírito para descobrir a verdade. Observaremos isso fielmente, se reduzirmos gradualmente as proposições complicadas e obscuras a outras mais simples, e se depois, partindo da intuição das mais simples, tentar nos elevar pelos mesmos graus ao conhecimento de todas as outras.

Regra VI: Para distinguir as coisas mais simples das mais complicadas e prosseguir ordenadamente na investigação, convém, em cada série de coisas em que deduzirmos diretamente algumas verdades de outras, observar qual a mais simples e como todas as outras estão mais, menos, ou igualmente afastadas.

Regra VII: para completar a ciência, é preciso examinar com um movimento contínuo e jamais interrompido do pensamento todas e cada uma das coisas que se relacionam com o nosso propósito e reuni-las em uma enumeração suficiente e ordenada.

Regra VIII: se na série das coisas a investigar alguma coisa que nosso entendimento não possa intuir suficientemente bem, é preciso deter-se ali, sem examinar as demais que se seguem, evitando assim um trabalho supérfluo.

Regra IX: é necessário dirigir toda a força do espírito às coisas menos importantes e fáceis e deter-se nelas tempo suficiente, até acostumar-se a ver a verdade por intuição de modo claro e distinto.

Regra X: Para que o espírito se torne sagaz, deve exercitar-se em investigar as mesmas coisas que já foram encontradas por outros e em percorrer com método todos os artificios dos homens, e, sobretudo aqueles que manifestam ou supõem.

Discurso do Método para Bem Dirigir a Própria Razão e Buscar a Verdade nas Ciências

Extrato da Segunda Parte - Regras para a Direção do Espírito

René Descartes (1596 – 1650)

SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES	1
LISTA DE SÍMBOLOS.....	4
RESUMO	5
ABSTRACT	6
INTRODUÇÃO.....	7
Tema e Cenário.....	7
Justificativa.....	9
Relevância.....	9
Originalidade	9
Interesse Pessoal.....	10
Hipóteses	10
Objetivos	11
Objetivo Geral.....	11
Objetivos Específicos	11
Premissas do Estudo de Caso	12
Contribuições do Estudo.....	12
Estrutura.....	13
Anexos	14
REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
Transporte, Energia e Eficiência Energética	18
Transporte Urbano Coletivo.....	21
BRT.....	25
VLT.....	31
Monotrilho.....	38
Comentários	47
Apoio a Tomada de Decisão em Cenários Complexos.....	49
Critérios	49
Agentes de Decisão	50

Métodos de Apoio à Tomada de Decisão	51
Método AHP	52
Método AHP – Exemplo de Aplicação	57
Aplicações do Método AHP em Transportes Urbanos Coletivos	64
Unidade Funcional.....	66
MÉTODO	69
Natureza da Pesquisa.....	69
Macroestrutura do Modelo de Apoio à Decisão	69
Levantamento de Dados do Estudo de Caso.....	71
Preferências dos Agentes de Decisão	71
Desempenho das Alternativas	71
Estudo de Caso	72
Procedimento de Execução	72
Definição da Unidade Funcional	72
Aplicação do Modelo de Apoio à Decisão.....	75
RESULTADOS.....	80
Preferências dos Agentes de Decisão.....	80
Vetores Prioridade de Critério (VPC) e Prioridade de Subcritério (VPSC).....	85
Desempenhos das Alternativas (VPA).....	91
VPA - Infraestruturas Elevadas	92
Custo - Matriz de Comparação Par a Par.....	94
Viabilidade Econômica e Financeira – Matriz de Comparação Par a Par	96
Eficiência Energética – Matriz de Comparação Par a Par	98
Qualidade da Viagem – Matriz de Comparação par a par.....	98
Impacto Ambiental – Matriz de Comparação Par a Par.....	102
VPA - Infraestrutura Elevada para MNT e em nível para BRT e VLT	105
Índice Global (IG).....	106
IG - Infraestruturas Elevadas	107
IG - Infraestrutura Elevada para MNT e em nível para BRT e VLT	107
Análise dos Resultados quanto às Preferências dos Stakeholders	108
Preferências pelos Critérios - Stakeholders Agregados	108

Preferências pelos Critérios - Stakeholders Individualizados	110
Preferências pelos Critérios – Cenários atribuídos pelo autor	120
Resultados quanto aos desempenhos das alternativas.....	123
Resultados face ao Referencial Teórico	124
Eficácia e Eficiência do Modelo de Decisão Proposto	124
DISCUSSÃO GLOBAL	126
Resultados Face aos Objetivos Gerais e Específicos	126
Resultados Face às Hipóteses	126
Resultados Face aos Limites da Análise.....	126
Lições Aprendidas.....	127
Procedimento - Anexo I.....	127
Preferências dos Agentes de Decisão - Agregadas e Individualizadas	127
Planejamento e Empenho.....	127
Sugestões de Novas Pesquisas.....	127
CONCLUSÃO.....	131
REFERÊNCIAS	132
ANEXO I – PROCEDIMENTO - PREFERÊNCIAS DOS AGENTES DE DECISÃO.....	145
ANEXO II – TABELAS – PREFERÊNCIAS DOS AGENTES DE DECISÃO	155
ANEXO III - DESEMPENHOS - ALTERNATIVAS BRT, VLT E MNT.....	178
ANEXO IV – ITDP – BRT STANDARD SCORECARD 2014.....	210
ANEXO V – COMPARAÇÃO DE DESEMPENHOS – GLT/LRT	215
ANEXO VI – EXTRATO DA PLATAFORMA EXCEL DO ESTUDO DE CASO.....	229
SOBRE O AUTOR.....	236

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AEAMESP	Associação dos Engenheiros e Arquitetos do Metrô de São Paulo
AHP	Analytic Hierarchy Process
AMD	Apoio Multicritério à Decisão
ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos
BRT	Bus Rapid Transit
Btu	British Thermal Unit
CBTU	Companhia Brasileira de Trens Urbanos
CICLA	V th International Conference on Life Cycle Assessment
CNT	Confederação Nacional de Transportes
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura
CS	Critério Custo do Sistema
CSCE	Subcritério Custo da Energia para operar veículos
CSCR	Subcritério Custo para Renovação do Sistema
CSII	Subcritério Investimento em Infraestrutura de Via
CSIV	Subcritério Investimento em Veículos
CSOMI	Subcritério Custo de Operação e Manutenção da Infraestrutura de Via
CSOMV	Subcritério Custo de Operação e Manutenção de Veículos
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
DETRAN	Departamento Estadual de Transportes
EE	Eficiência Energética
EnANPAD	Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração
GEE	Gás de Efeito Estufa
GLT	Guided Light Transit
HCT	Estação Hospital Cidade Tiradentes
IE	Intensidade Energética
IAGEE	Subcritério IA Gás de Efeito Estufa
IADV	Subcritério IA Divisão do Sistema Viário causado pela infraestrutura de via
IARE	Subcritério IA Ruído Externo ao veículo
IASO	Subcritério IA Área Ocupada no viário pela infraestrutura de via
IATI	Subcritério IA Tempo de Instalação do sistema

IAVE	Subcritério IA Visual Estético da infraestrutura de via
IER	Infraestrutura de Rolamento
ISO	International Organization for Standardization
ITDP	Institute for Transportation & Development Policy
LCA	Life Cycle Assessment
LRT	Light Rail Transit
MCDA	Multicriteria Decision Analysis
MNT	Monotrilho (Sigla adotada neste trabalho)
MNT	Monotrilho (Sigla adotada neste trabalho)
MR	Material Rodante
O&M	Operação e Manutenção
ORT	Estação Oratório
PRT	Personal Rapid Transit
QV	Qualidade da Viagem
QVAU	Subcritério QV Acessibilidade Universal
QVPV	Subcritério QV Pontualidade da Viagem
QVRI	Subcritério QV Ruído Interno ao veículo
QVSIP	Subcritério QV Sistema de Informação aos Passageiros
QVSVS	Subcritério QV Segurança entre Veículos do Sistema
QVSVV	Subcritério QV Segurança entre Veículos do Sistema e os Veículos do Sistema Viário
QVVM	Subcritério QV Velocidade Média
RMGSP	Região Metropolitana da Grande São Paulo
SIN	Sistema Interligado Nacional
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
SMT	Estação São Mateus
STUP	Sistema de Transporte Urbano de Passageiros
TC	Transporte Coletivo
TD	Tomador de Decisão
TI	Transporte Individual (feito com automóvel)
TIR	Taxa Interna de Retorno
TPU	Transporte Público Urbano
TRI	Tempo de Retorno do Investimento
TUC	Transporte Urbano Coletivo

UITP	União Internacional de Transportes Públicos
UT	Unidade de Transporte
Vca	Voltagem corrente alternada
VEF	Viabilidade Econômica e Financeira
VEFTIR	Subcritério VEF Taxa Interna de Retorno
VEFTRI	Subcritério VEF Tempo de Retorno do Investimento
VEFVPL	Subcritério VEF Valor Presente Líquido
VLP	Veículo Leve Sobre Pneus
VLT	Veículo Leve Sobre Trilhos
VPA	Vetor Prioridade de Alternativa
VPC	Vetor Prioridade de Critério
VPL	Valor Presente Líquido
VPM	Estação Vila Prudente
VPSC	Vetor Prioridade de Subcritério

LISTA DE SÍMBOLOS

C	Agente de Decisão – Consultor / Pesquisador em TUC
CO ₂	Dióxido de Carbono (Anidrido Carbônico)
Cv	Cavalo Vapor
Db	Decibel
F	Agente de Decisão – Fornecedor de Equipamento / Serviço
j	Joule
km	Quilômetro
mi	Milhão
min	Minuto
Mj	Mega joule
O	Agente de Decisão – Operador
p	Passageiro
p/h/d	Passageiro por hora por direção
p/h/s	Passageiro por hora por sentido
p-km	Passageiro quilômetro
s	Segundo
t	Tempo
T	Tera = 10 ¹²
U	Agente de Decisão – Usuário
V	Agente de Decisão – Vizinho

RESUMO

PEDROSO, Guilherme. **Avaliação energética, econômica e socioambiental de alternativas para sistemas de transportes urbanos coletivos a partir do modelo de apoio multicritério à decisão.** 2017. 314 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

Essa pesquisa tem como foco a tomada de decisão para a escolha de modais de transporte urbano coletivo e analisa os desempenhos operacionais e funcionais dos sistemas Bus Rapid Transit (BRT), Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) e Monotrilho. Um modelo de apoio multicritério à decisão (AMD) em cenários complexos é utilizado na análise e tem como dados de entrada as preferências subjetivas de agentes de decisão (*stakeholders*) e os desempenhos objetivos e subjetivos dos três modais com relação a um sistema de cinco critérios e 22 subcritérios. Tal sistema cobre os eixos de eficiência energética, custo, viabilidade econômica e financeira, qualidade da viagem e impactos ambientais. *Stakeholders* selecionados com perfis de operador, vizinho, usuário, fornecedor de equipamentos e serviços e consultor atribuem suas preferências, pontuando-as em escala numérica de 1 a 9. Visando a aplicação do modelo na região da cidade de São Paulo, foram coletadas 138 opiniões de preferências através de formulários de avaliação e entrevistas conduzidas nessa região. Cada um dos três modais, após ser configurado para atender aos requisitos operacionais e funcionais do serviço de transporte definido por uma unidade funcional comum, tem os seus desempenhos com relação ao mesmo conjunto de critérios e subcritérios pontuados em uma escala numérica. Um índice global (IG), que define a prioridade de cada alternativa, é obtido pela agregação das preferências e desempenhos com uma função aditiva. O modelo foi aplicado em um estudo de caso que simulou a operação dos três modais no trecho entre as estações Vila Prudente e São Mateus da Linha 15 do Metrô de São Paulo, cujos requisitos definiram a unidade funcional. Dentro dos limites e premissas estabelecidas para este estudo de caso, os índices globais calculados indicaram a preferência pelo modal Monotrilho, seguido, na ordem, pelo VLT e BRT.

PALAVRAS-CHAVE: Transporte Urbano Coletivo. Modais BRT, VLT e Monotrilho. Apoio Multicritério à Decisão. Critérios - eficiência energética e aspectos socioambientais.

ABSTRACT

PEDROSO, Guilherme. **Energy, economic and socio-environmental evaluation of alternatives for urban transport systems based on the multicriteria decision support model.** 2017. 314 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Energia – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

This research focuses on decision-making support methods to choose public urban transport modes and analyzes the operational and functional performances of the Bus Rapid Transit (BRT), Light Rail Transit (LRT) and Monorail systems. A multicriteria decision aided model (MDAM) in complex scenarios is used in the analysis and has as input data the subjective preferences of stakeholders and the objective and subjective performances of the three modalities in relation to a set of five criteria and 22 subcriteria. This system covers the axes of energy efficiency, cost, economic and financial feasibility, travel quality and environmental impacts. Stakeholders selected with profiles of operator, neighbor, user, equipment and service provider and consultant assign their preferences, scoring them on a numerical scale from 1 to 9. In order to apply the model in the region of the city of São Paulo, 138 opinions were collected through evaluation forms and interviews conducted in that region. Each of the three modes, once configured to meet the operational and functional requirements of the transport service defined by a common functional unit, has its performances against the same set of criteria and subcriteria scored on a numerical scale. A global index (GI), which defines the priority of each alternative, is obtained by aggregating the preferences and performances according to an additive function. The MDAM model was applied in a case study that has simulated the operation of the three transport modalities in the stretch between the stations Vila Prudente and São Mateus of the Line 15 of the São Paulo Metro, whose general requirements did define the functional unit of the case. Within the limits and assumptions established for this case study, the calculated global indices indicated the first preference for the Monorail modal, followed, in sequence, by the LRT and BRT.

KEYWORDS: Public Urban Transport. Modes – BRT, LRT and Monorail. Multicriteria Decision Aid Model. Criteria – energy efficiency and social-environmental aspects.

INTRODUÇÃO

1 | TEMA E CENÁRIO

A migração de pessoas para as áreas urbanas nos últimos anos aumentou a dispersão e o movimento dessas pessoas nas cidades, o que resultou na consequente demanda por transporte motorizado público e individual.

O modelo atual de transporte urbano, que favorece o transporte individual, somado aos baixos níveis de investimentos em transporte público de boa qualidade, saturou as vias urbanas nas grandes cidades a ponto de prejudicar o fluxo de tráfego, especialmente nos horários de pico. Esses fatos provocam externalidades negativas na mobilidade, ocasionando congestionamentos, aumento no tempo de viagem, e consequente desconforto, desperdícios de energia e impactos ambientais. Para minimizar os impactos causados por essas crescentes mudanças no cenário quase que diário dos grandes centros urbanos, as autoridades responsáveis pelos meios de transporte precisam tratar a mobilidade urbana com políticas públicas destinadas a encorajar e modernizar o transporte urbano coletivo, priorizando requisitos de qualidade para as viagens como conforto, confiabilidade, segurança, acessibilidade universal e conectividade entre as diferentes modalidades. Além disso, devem também priorizar o transporte coletivo ambientalmente correto com incentivos à produção de equipamentos de propulsão, que empreguem motores de baixa emissão de poluentes atmosféricos. Dotado dessas características, o transporte urbano coletivo pode atrair usuários de veículos particulares, com efeitos diretos na liberação de espaço nas vias urbanas, melhoria na fluidez do trânsito e reduções em outras externalidades negativas do tráfego urbano (BOARETO, 2008; MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008).

No Brasil, o indicador diário de viagem per capita do Sistema de Informação de Mobilidade Urbana da Associação Nacional de Transporte Público (ANTP) registra que, entre os anos de 2003 e 2012, em Municípios com 60 mil habitantes ou mais (438 municípios), os modais de transportes individuais (carro e moto) aumentaram 18%, enquanto que os de transporte coletivo (ônibus e veículos sobre trilhos), 6%. Ainda no mesmo período, outros indicadores apontam que, enquanto a população aumentou 16%, o número de carros aumentou 70% e as motocicletas 29% (ANTP, 2014).

A mobilidade das pessoas pelas vias urbanas é realizada por meio de diferentes modos de transporte que se complementam formando uma rede integrada. Entre os modos disponíveis para transporte individual e coletivo, encontram-se: bicicletas, motocicletas, carros, vans, ônibus, trens suburbanos, metrô, veículo leve sobre trilhos (*tramways*) e os denominados Personal Rapid Transit (PRT), Guided Light Transit (GLT), Bus Rapid Transit (BRT), Light Rail Transit (LRT) e Monotrilho (BRASIL, 2012; MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008; SENADO, 2013; VUCHIC, 2007).

Considerando o contexto acima descrito, esta pesquisa analisa os desempenhos de algumas alternativas motorizadas dedicadas e atrativas à mobilidade urbana coletiva

desenvolvida no espaço urbano. O tema foca o deslocamento de pessoas em vias urbanas de trânsito rápido e desenvolve um estudo de caso que compara os desempenhos funcionais e operacionais dos modais BRT, VLT e Monotrilho, prestando serviço nesse tipo de via.

A questão que se propõe a ser respondida neste trabalho, a partir da técnica AMD (Apoio Multicritério à Decisão) e um estudo de caso prático, diz respeito à eficiência dos modais. Entre os modais BRT, LRT e Monotrilho, qual deles seria o mais eficiente para equipar corredores de transporte coletivo de média capacidade de transporte? O estudo de caso compara os desempenhos dos três sistemas seguindo um modelo que processa as preferências dos *stakeholders* (partes interessadas; também referenciados como agentes de decisão neste trabalho) e os desempenhos dos modais em relação a um conjunto de múltiplos critérios e subcritérios.

Cinco critérios e 22 subcritérios cobrem os aspectos de custo, viabilidade econômica e financeira, eficiência energética, qualidade de viagem e impactos ambientais.

Os *stakeholders* atribuem preferências (níveis de importância) a cada critério e subcritério, pontuando-os em uma escala numérica. Uma investigação é conduzida para coletar as preferências por transporte urbano coletivo de *stakeholders* atuantes na cidade de São Paulo.

As três alternativas em análise são configuradas para atender aos requisitos funcionais e operacionais de um cenário operacional comum definido por uma unidade funcional (ISO NBR 14040/14044). Após a configuração, os desempenhos de cada modal em relação ao mesmo conjunto de critérios e subcritérios são também pontuados com uma escala numérica.

Um índice global de importância para cada alternativa é calculado, fazendo-se a correlação entre as preferências e os desempenhos, com uma função aditiva conforme o método Análise Hierárquica de Processo (AHP). Este método foi escolhido por ser amplamente utilizado em apoio à tomada de decisão em problemas inseridos no contexto de cenários complexos, como o aqui abordado, em que coexistem múltiplos critérios, múltiplos *stakeholders* e mais de uma possível alternativa de solução (GOMES, 2004; MACHARIS, 2015; SAATY, 1991; SAATY, 2008; SOLTANI, 2015).

Embora o Monotrilho seja o modal que já opera no corredor de trânsito, objeto do estudo de caso, o trabalho investiga, com o modelo de apoio à tomada de decisão proposto e as premissas estabelecidas, se esta teria sido a solução preferencial quando comparada com as tecnologias BRT e VLT.

2 | JUSTIFICATIVA

2.1 Relevância

Justifica-se a realização dessa pesquisa em função dos importantes temas com os quais dialoga, assim como: a relevância socioambiental do transporte urbano coletivo; a mobilidade urbana sustentável; a busca por modais de transportes urbanos coletivos com qualidade suficiente para atrair usuários do transporte individual; e os métodos de apoio à tomada de decisão por agentes responsáveis em planejamento e implantação de infraestrutura urbana eficiente. Frente a esses temas, o trabalho realizou em um estudo de caso prático a avaliação dos desempenhos de três modais próprios para o transporte urbano coletivo de média capacidade de transporte considerados correntemente como atrativos para usuários do transporte individual.

2.2 Originalidade

Pensando na questão da originalidade da pesquisa, destacam-se sete elementos:

- Adoção de um conjunto específico de Critérios (5) e Subcritérios (22). Tal conjunto constitui a referência para a avaliação das preferências de agentes de decisão (*stakeholders*) e os desempenhos dos modais;
- Emprego do conceito de unidade funcional (item 2. 4) para definir a base de requisitos funcionais e operacionais aos quais os modais em comparação devem igualmente atender para se homogeneizar as aplicações. Quando analisado individualmente, a partir da bibliografia consultada, é possível inferir que o BRT é um sistema que foi originalmente concebido para operar em corredores segregados construídos ao nível do sistema viário. Por sua vez, o VLT foi concebido para operar em corredores híbridos, com trechos parcialmente segregados e ou com tráfego compartilhado com outros veículos, mas pode também operar em via segregada. Enquanto que o Monotrilho foi desenhado para operações em corredores segregados, com via preferencialmente elevada em relação ao sistema viário. A unidade funcional serve então como referência para as equalizações estruturais dos três sistemas para que eles possam ser em seguida comparados. Para viabilizar a comparação destes três modais, a unidade funcional poderia equalizar a operação em: via segregada ao nível do viário, via segregada acima do viário e, ou, semisegregada ao nível do viário. Neste trabalho a unidade funcional do estudo de caso dá abertura para que sejam feitas duas análises: uma com as infraestruturas dos três modais totalmente segregadas e elevadas em relação ao sistema viário e outra se considerando elevada para o Monotrilho, modelo já em operação, e em nível com faixas exclusivas e prioridade semafórica para o BRT e VLT;
- Adoção de cinco classes de Agentes de Decisão: Operador, Vizinho, Usuário, Fornecedor e Consultor;
- Elaboração e aplicação do Anexo I (Procedimento - Preferência dos Agentes

de Decisão pelos critérios e subcritérios) e processamento e registro das Preferências no Anexo II (Tabelas – Preferências dos Agentes de Decisão) que documenta a pesquisa de preferências;

- Elaboração do Anexo III, que documenta os cálculos para a obtenção dos Desempenhos das Alternativas;
- Elaboração dos vetores de prioridade de preferências (VPC e VPSC) e de prioridade de alternativa (VPA) para o estudo de caso. Esses vetores são construídos com os dados presentes nos anexos II e III;
- Cálculo dos Índices Globais que caracterizam as prioridades de cada Alternativa (IG) para o estudo de caso.

2.3 Interesse Pessoal

O interesse na realização desse estudo ocorreu após o desenvolvimento de uma dissertação de Mestrado (PEDROSO, 2012) e publicação de artigos (PEDROSO, 2013a e 2013b) nos quais foram feitos estudos sobre indicadores de sustentabilidade em transportes e comparações entre os modais BRT e VLT nos eixos ambiental, econômico e social. Este trabalho tem uma abrangência maior, pois introduz a análise de desempenho do Monotrilho e os critérios de viabilidade econômica e financeira, de eficiência energética e de qualidade da viagem. Além dessas novidades, a pesquisa desenvolveu um modelo de análise que usou como guia o método AHP.

3 | HIPÓTESES

Primeira questão – Seria possível comparar os desempenhos funcional e operacional de modais para transporte urbano coletivo que são originalmente concebidos para serem empregados em nichos aparentemente específicos de aplicação?

Em resposta a essa questão, a hipótese é que: modais podem ser diretamente comparados desde que o estudo seja feito sobre uma base de requisitos comuns, definidos por uma unidade funcional.

Segunda questão – Seria possível elaborar um modelo capaz de combinar as preferências subjetivas de agentes de decisão por critérios e subcritérios com os desempenhos funcionais e operacionais objetivos e subjetivos de modais de transportes e processar essas informações com o objetivo de se ordenar os modais em ordem de prioridade?

Em resposta a essa questão, a hipótese é que: as preferências dos agentes de decisão podem ser capturadas e quantificadas com procedimentos e entrevistas específicas; os desempenhos das alternativas estão presentes na bibliografia e podem ser complementados com observações em sistemas instalados; e o método AHP pode

ser utilizado para resolver o problema de agregação do conjunto das preferências e desempenhos com uma função aditiva e estabelecer a ordenação dos modais em ordem de prioridade.

Ainda uma terceira e última questão, que deu origem à definição do cenário da unidade funcional do estudo de caso – Teria sido o Monotrilho a melhor opção para equipar a Linha 15 – Prata do Metro de São Paulo, quando confrontado com os desempenhos dos modais BRT e VLT?

Em resposta a essa questão, a hipótese é que um modelo de apoio à tomada de decisão em cenários complexos em que estão presentes múltiplos critérios, múltiplos agentes de decisão e várias alternativas viáveis pode ratificar ou retificar objetivamente a decisão pelo modal selecionado.

4 | OBJETIVOS

Os objetivos da pesquisa estão classificados em geral e específicos.

4.1 Objetivo Geral

O Objetivo Geral da pesquisa é comparar os desempenhos funcionais e operacionais dos modais BRT, VLT e Monotrilho e priorizá-los segundo as preferências de *stakeholders* e os seus desempenhos individuais na prestação de serviço em um cenário comum definido por uma unidade funcional e múltiplos critérios e subcritérios.

4.2 Objetivos Específicos

Para a realização do objetivo geral, foram desenvolvidos os seguintes objetivos específicos:

- Definição do modelo para a realização da comparação;
- Definição dos múltiplos critérios e subcritérios;
- Definição dos *stakeholders*;
- Levantamento das preferências dos *stakeholders* (Anexos I e II);
- Aplicação do modelo a um estudo de caso prático:
- Definição da unidade funcional;
- Definição das alternativas (modais);
- Configuração de cada alternativa para atender aos requisitos da unidade funcional;
- Levantamento dos desempenhos de cada alternativa (Anexo III);
- Cálculo do Índice Global (IG) de cada alternativa;
- Ordenação das alternativas em ordem de prioridade, segundo os seus IGs.

5 | PREMISSAS DO ESTUDO DE CASO

A seguir as premissas adotadas para a elaboração do estudo de caso.

- O cenário geográfico e os requisitos funcionais e operacionais comuns aos três modais em comparação conforme definidos pela unidade funcional;
- Os critérios e subcritérios limitados ao conjunto selecionado;
- As preferências de *stakeholders* pelos critérios e subcritérios restritas à pesquisa de opinião documentada nos Anexos I (procedimento) e II (dados coletados);
- Os desempenhos funcionais e operacionais dos três modais em comparação conforme registrados no memorial de cálculo descrito pelo Anexo III;
- Como o objetivo do problema de decisão é comparar os desempenhos dos três modais, há elementos considerados comuns entre eles e, dentro de uma margem de erro aceitável, são excluídos da análise: custos dos sistemas auxiliares (escadas rolantes, elevadores, ventilação, iluminação e demais equipamentos de vias e estações), Centro de Controle Operacional, sistema de telecomunicações e também os pátios de estacionamento e manutenção de veículos;
- A atualização de custos de construção civil feita pelo Índice Nacional da Construção Civil da Fundação Getúlio Vargas (FGV, 2017);
- A atualização da taxa de conversão do dólar americano com base na tabela do Banco Central do Brasil;
- Custo médio de R\$ 2,936 para 1,0 litro de óleo Diesel (ANP, 2017) e o custo médio de R\$ 0,324 para 1,0 kWh de energia elétrica (AES, 2017);
- A métrica de 1/IE (1/Intensidade Energética) por passageiro transportado por dia para caracterizar o critério de Eficiência Energética;
- A utilização do fator médio de emissão de 2,67 kgCO₂eq por litro de óleo diesel queimado na combustão do motor de combustão interna do veículo BRT e de 0,5 kgCO₂eq para produzir e distribuir um litro de óleo diesel (CARVALHO, 2011; EMBRAPA, 2009);
- A adoção do fator médio de emissão de 81,7 kgCO₂eq por MWh consumido da rede do Sistema Interligado Nacional (SIN), publicado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, 2017) para 2016.

6 | CONTRIBUIÇÕES DO ESTUDO

A primeira contribuição da pesquisa foi a produção de uma base de dados com informações sobre o nível de importância que os agentes de decisão (*stakeholders*) definidos como: operador, usuário, vizinho, fornecedor de equipamentos e serviços e consultores e pesquisadores envolvidos com transportes urbanos coletivos, fornecem aos critérios e subcritérios adotados neste trabalho.

Uma segunda contribuição do estudo foi a produção de outro conjunto de dados que diz respeito aos desempenhos dos modais BRT, VLT e Monotrilho em relação aos mesmos critérios e subcritérios. Entende-se que estes dados serão úteis para agentes envolvidos com sistemas de transportes urbanos coletivos que desenvolvem principalmente atividades de planejamento e gestão.

Uma terceira contribuição são as descrições detalhadas que se faz sobre as aplicações passo a passo do modelo proposto e do método AHP.

Do ponto de vista acadêmico, o trabalho desenvolveu dois materiais diferenciados: um sistema de critérios e subcritérios para avaliação de modais em transporte urbano coletivo, com viés de sustentabilidade, e um estudo de caso prático, que aplicou tal sistema para avaliar três modais específicos. Ressalta-se ainda que a pesquisa aplicou fundamentos das áreas de Transporte Urbano Coletivo, Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e Tomada de Decisão em Cenários Complexos.

7 | ESTRUTURA

O trabalho foi estruturado a partir da elaboração de 6 capítulos, incluindo nesta contagem esta **Introdução** detalhada e uma breve **Conclusão**.

O Capítulo 2, **Referencial Teórico**, apresenta a base bibliográfica que fundamenta o desenvolvimento da pesquisa. Os temas estudados abrangem: transporte, energia, eficiência energética, transporte urbano coletivo, caracterização dos modais BRT, VLT e Monotrilho, apoio à tomada de decisão em cenários complexos com ênfase no método AHP, exemplos de aplicação do método AHP em transportes urbanos coletivos e breve descrição do conceito de unidade funcional.

O Capítulo 3, **Método**, versa sobre a natureza da pesquisa, a macroestrutura do modelo de apoio à decisão desse trabalho e os passos para a execução do estudo de caso.

O Capítulo 4, **Resultados**, mostra as preferências dos agentes de decisão, os desempenhos dos três modais do estudo de caso, a classificação deles em ordem de prioridade e a análise dos resultados.

E, no Capítulo 5, **Discussão Global**, os resultados obtidos são avaliados frente aos objetivos gerais e específicos e frente às hipóteses estipuladas. Os limites da pesquisa também são nele descritos, juntamente com a descrição das principais lições aprendidas e oferta de sugestões sobre pesquisas complementares, finalizando com uma **Conclusão** sucinta do trabalho.

8 | ANEXOS

São 6 os **Anexos** contidos ao final deste trabalho.

- O **Anexo I** mostra o procedimento que foi distribuído aos agentes convidados a relatar as suas preferências em relação aos critérios e subcritérios;
- Já o **Anexo II** apresenta as tabelas com os dados levantados a partir do procedimento mostrado no Anexo I;
- O **Anexo III** constitui o memorial de cálculo dos desempenhos dos modais BRT, VLT e Monotrilho, produzido com base nas informações obtidas através de pesquisa teórica e observações de campo;
- O **Anexo IV** apresenta um extrato do documento The BRT Standard 2014, que mostra os critérios e as pontuações que definem e qualificam um sistema de transporte de ônibus do tipo BRT;
- O **Anexo V** mostra um estudo de caso que exercita o modelo de apoio à tomada de decisão (Figura 19) na comparação entre os desempenhos dos modais GLT (Guided Light Transit) e LRT (Light Rail Transit) em uma aplicação hipotética na cidade de São Paulo.
- Por fim, o **Anexo VI** mostra parte do ambiente Excel em que estão montados os Critérios, Subcritérios, vetores VPC (Vetor Prioridade de Critérios), VPSC (Vetor Prioridade de Subcritérios) e VPA (Vetor Prioridade de Alternativas) e também as equações através das quais são calculados os Índices Globais das alternativas BRT, VLT e MNT.

REFERENCIAL TEÓRICO

O Quadro 1 esquematiza de forma resumida o levantamento bibliográfico feito em obras relacionadas aos temas, que serviram de base para o desenvolvimento desse trabalho. Já a Figura 1 mostra a estrutura lógica do arcabouço teórico e sua conexão com o estudo de caso e os resultados da pesquisa.

Síntese da Bibliografia Fundamental		
Tema		Autor
1	Eficiência Energética	De la RUE du CAN, 2010; ISO 50001:2011; BAEDEKER e HÜGING, 2012; BANAR 2013; METRÔ, 2014b ; KATO, 2006; KLIUCININKAS 2012; KUMAR, 2014 ;PATTERSON, 1996; SCHILLER. 2010; VUCHIC, 2007.
1	Transporte e Transporte Urbano Coletivo	ALOUICHE, 2012; ANTP, 2014; BOARETO, 2008; BRASIL, 2012; FARJERSTAJIN, 2012; RODRIGUES, 2008; MAGALHÃES, 2010; McLEOD, 2007; MICHAELIS, 1996; MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008; RODRIGUES, 2008; VUCHIC, 2007.
2	BRT	ABNT NBR 9079; ALOUCHE, 2012; AGRO ANALYSIS, 2009; BRTBRASIL, 2014; BRT Sunway, 2015; BRT Xianen, 2008; CARVALHO, 2011; CINQUINA, 2008; GRANVILLE, 2014; LASCALA, 2011; Site da Mercedes-Benz; Site da Scannia; Site da Novabus; ISO 2001:2011; ITDP, 2014; ITDP, 2016; LERNER, 2009; MADISON, 2013; MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008; PATERSON, 1996; SPTRANS, 2013; VUCHIC, 2007
3	VLT	ABNT NBR, 1994; ALOUCHE, 2006; ALOUCHE, 2012; ALSTOM, 2017; BOORSE, 2000; EMTU (A), (B), 2013; Site da Rio I Go; Site da Viatrolebus; LERNER, 2009; MCT, 2017; MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008; PLANUS, 2015; PREFEITURA-RIO-SECPAR, 2016; RAILWAY-TECHNOLOGY, 2017; REVOLVY, 2017; REVISTA FERROVIÁRIA, 2015; SYSTRA, 2017; VOSSLOH, 2016; VTA, 2007; VUCHIC, 2007
4	Monotrilho	ABNT NBR 1308; ALOUCHE, 2012; BOMBARDIER TRANSPORTATION, 2017; CICHINELLI, 2013; MECA, 2011; MECA 2013; METRO DE SP (2014b, 2015, 2016); JAPAN MONORAIL ASSOCIATION, 2016; MONORAILS AUSTRALIA (a) (b), 2017; PLANUS, 2015; SCOMIRAIL, 2017; SEKITANI et al, 2005; MCT, 2017; MITSUBICHI HEAVY INDUSTRIES, 2017; REVISTA FERROVIÁRIA, 2015; ROCHA, 2016; STRUKTONRAIL,2017; SKYTRAINCORP, 2017; THE MONORAIL SOCIETY, 2017; WIKIPEDIA.ORG, 2017
5	Apoio à tomada de decisão em cenários complexos; Métodos Multicritérios de Apoio à Decisão	BALALI, 2014; BARAN, 2014; GOMES et al, 2004; MACHARIS et al, 2009; MACHARIS, 2015; SOLTANI, 2015; TERRADOS, 2010; VELASQUES, 2013; YU, 2011

6	Método AHP	BARAN, 2014; CARREIRA et al, 2014; GOMES et al, 2004; LUCA, 2014; MACHARIS, 2015; MU, 2017; SAATY, 1991; SAATY, 2008; SAATY, 2011; YU GOMES et al, 2004, 2011
7	Aplicação do Método AHP em Transportes Urbanos	BANAI, R., 2006; BOUJELBENE, Y., 2015; LONGO, G., 2015; MACHARIS et al, 2009; MANOEL, M. V., 2014; MORADIN, M., 2004; OLIVEIRA, G. T., 2016
8	Critérios; <i>Stakeholders</i> ; Indicadores em Transp. Urbanos	BAEDEKER, 2012; BRYSON, 2011; DELL'OLIO et al., 2011; DE LA RUE DU CAN, 2010; FREEMAN, 1984; FREEMAN, 2017; GOMES et al., 2004; GOMES, 2014; HOLLINGWORTH, 2010; ITDP, 2016; KUMAR, 2014; LUPO, 2013; MANOEL, 2014; MUNIER, 2011; MORAIS, 2011; PEDROSO et al., 2013B; RODRIGUES, 2008; SCHILLER et al, 2010.
9	Unidade Funcional; Lyfe Cycle Assessment	BUO, 2015; CARVALHO, 2011; CHEHEBE, 2002; CHESTER, 2010; DAVE, 2010; EMBRAPA, 2009; CADES, 02 fev, 2011; CADES, 24 fev 2011; EPAMINONDAS, 2011; MANZZINI e VELOZZI, 2008; MECA, 2011; MECA, 2013; METRO, 2017; PEDROSO et al, 2013a

Quadro 1 - Síntese da bibliografia fundamental

Fonte: Elaborado pelo autor.

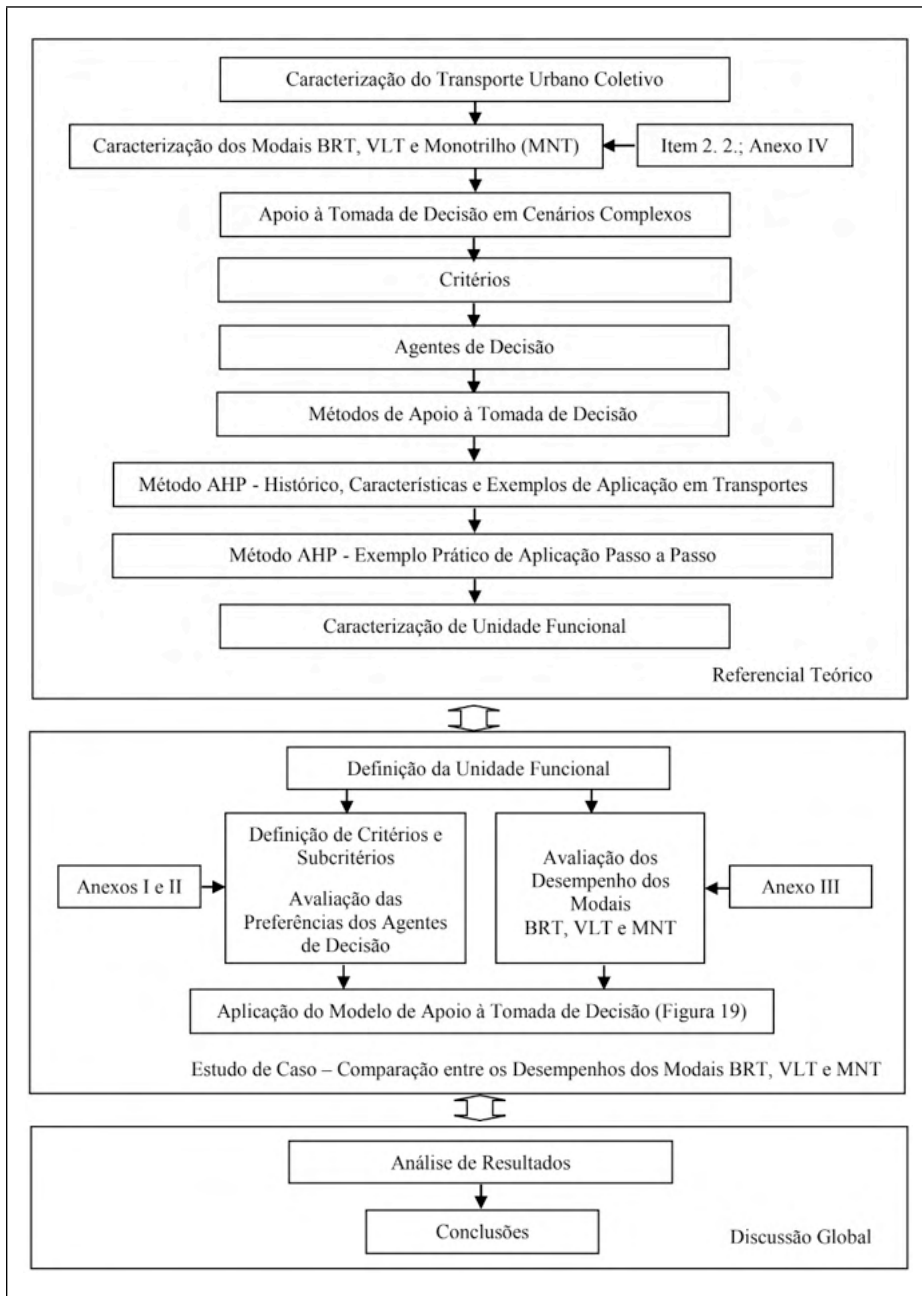


Figura 1 - Estrutura lógica do estudo bibliográfico e conexão com o estudo de caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

1 | TRANSPORTE, ENERGIA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Magalhães (2010) define transporte como um sistema, fazendo distinção entre entradas e saídas. As entradas constituem as pessoas ou itens a serem transportados. São também consideradas entradas neste sistema: energia, artefatos (equipamentos em geral) e ações econômicas, políticas, culturais e familiares. E as saídas úteis, pessoas e outros itens transportados, são também gerados os resíduos oriundos das atividades realizadas para os deslocamentos de pessoas e cargas.

As necessidades dos deslocamentos das pessoas pelo espaço urbano das cidades, objeto dos deslocamentos e cenário do estudo deste trabalho, estão relacionadas ao desenvolvimento de atividades de acesso ao trabalho, saúde, escola, lazer, compras e busca de outros serviços (MAGALHÃES, 2010; RODRIGUES, 2008; McLEOD, 2007; MICHAELIS, 1996).

Além das pessoas, outra entrada importante, também objeto de atenção dessa pesquisa, é o consumo e a eficiência energética dos sistemas de transporte urbano.

Intensidade Energética (IE) ou consumo energético de um sistema são termos genéricos que definem a relação entre a energia consumida (entrada do sistema) e uma unidade de produção (saída útil). Essa relação é também chamada de taxa de consumo. A relação inversa da taxa de consumo define a taxa de Eficiência Energética (EE). Um aumento no consumo necessário para produzir a mesma saída útil reduz a eficiência energética do sistema e vice-versa (De la RUE du CAN, 2010; ISO 50001:2011; PATTERSON, 1996; VUCHIC, 2007).

O consumo energético, como termo genérico, pode, no entanto, ser interpretado de formas diferentes. Por exemplo, um técnico em automobilismo pode considerar um veículo como sendo eficiente quando ele requer menos energia que outro para percorrer a mesma distância com a mesma velocidade. Em outro exemplo, a visão de um técnico ambiental pode considerar um veículo como eficiente quando ele opera em um sistema de pool com um alto fator de carga. Para que a eficiência energética possa ser inserida no processo de decisão dos diversos níveis organizacionais, ela precisa ser mensurável e gerenciável. A mensuração das energias de entrada e os produtos e serviços que são produzidos em um sistema é feita por meio de indicadores associados a parâmetros e métricas. São exemplos de aplicações de indicadores de eficiência energética: indicadores para acompanhamento de metas de redução de consumo energético em produtos manufaturados; indicadores para difusão de sistemas e equipamentos mais eficientes; indicadores para difusão de sistemas e equipamentos menos poluentes; indicadores para acompanhamento da utilização de incentivos ao desenvolvimento tecnológico de sistemas e equipamentos menos energointensivos e indicadores de etiquetagem de produtos manufaturados mais eficientes (De la RUE du CAN, 2010).

Kumar (2014) desenvolveu um extenso trabalho dedicado ao estudo de indicadores de sustentabilidade em transportes urbanos. Dentre esses indicadores há aqueles especificamente citados como relacionados com eficiência energética em transportes públicos. Todos eles são apresentados como relacionados ao meio ambiente. Em sua lógica, um sistema de transporte, que tem uma frota de veículos energeticamente eficiente, traz o benefício de reduzir as emissões de gases poluentes na ponta de consumo de energia. Esse benefício, segundo a autora, poderá atrair usuários de transporte individual, principalmente aqueles que utilizam automóveis particulares, criando assim uma capacidade ainda maior de reduzir as emissões de gases, além de melhorar a saúde ambiental. Ela define que a eficiência energética em transporte público pode ser medida de acordo com a distância percorrida por um veículo através da unidade de volume de combustível consumido, que é geralmente expressa em km/l (quilômetro percorrido com um litro de combustível). Outro indicador, por ela citado, mede a porcentagem da frota que utiliza combustível ecológico. E, um terceiro, mede a idade da frota de veículos (mais antigos, menos eficientes, portanto mais poluentes). Por fim, ela menciona um indicador que diz respeito à quantidade de veículos que atendem às normas de poluição ambiental. Fazendo uma classificação nesses indicadores, eles podem ser entendidos como relacionados com: veículos (indicador de eficiência energética; indicador de idade da frota, que também está relacionado com o indicador de eficiência veicular; indicador de redução de emissões, que também tem a ver com a eficiência veicular); viagens (indicador da porcentagem entre transporte individual e coletivo; conforme descrito, há uma possibilidade da frota moderna atrair usuários do transporte individual) e combustível (indicador de porcentagem de uso de combustível não poluente). A partir da perspectiva da autora, pode-se compreender melhor como os indicadores se encaixam no conceito de eficiência energética.

No estudo realizado por Banar (2013), para identificar os níveis de emissões atmosféricas associadas ao consumo e a qualidade de combustíveis em transportes urbanos, o autor distribuiu o foco de atenção em três subsistemas: infraestrutura, veículos e energia.

Já Kato (2006), também analisando emissões atmosféricas associadas a consumo energético em sistemas de transportes urbanos, voltou o seu olhar para dois subsistemas componentes do sistema: infraestrutura, composta de duas partes que são a via de rolamento e outros elementos componentes como estações, pontes, túneis, e estacionamentos para o material rodante (veículos) e o material rodante.

Kliucininkas (2012) fez uma análise comparativa de alternativas de transportes públicos para a cidade de Kaunas, localizada na Lituânia. As modalidades de transportes foram ônibus de porte médio, consumindo óleo diesel, e trólebus, usando energia elétrica. A análise teve como foco a cadeia de combustíveis utilizados nos dois sistemas e o óleo diesel. O desempenho do óleo diesel foi analisado levando em conta as etapas de mineração

do petróleo, o transporte até a usina de produção, o refino e o transporte do diesel até o local de consumo pelos veículos. A cadeia de geração de eletricidade também considerou as etapas de geração, utilizando óleo, gás e transmissão de energia elétrica até o local de consumo. Em todas essas etapas foram utilizados indicadores físico-termodinâmicos.

Vuchic (2007) decompõe a análise do consumo de energia em sistemas de transporte urbano de passageiros nas categorias gerais de características dos veículos, infraestrutura de rolamento e aspectos operacionais. Com relação aos veículos, ele considera relevante a avaliação de: tipo de controle de propulsão; forma como ele é guiado na via (com ou sem trilho guia), peso específico em kg/m²; relação de passageiros sentados e de passageiros em pé; sistemas auxiliares disponíveis (ar condicionado e outros); capacidade e taxa de ocupação e os desempenhos dinâmicos em relação às taxas de aceleração, frenagem e velocidade máxima. Na infraestrutura de via, a atenção deve ser dada às características de curvas e rampas e ao tipo de contato roda/piso (roda de aço/ trilho; pneu/concreto). E quanto aos aspectos operacionais, ele os considera importantes na otimização do consumo energético e no cumprimento do programa de circulação com atenção em pontos de retorno, distanciamento entre veículos, utilização de veículos expressos e paradores e uniformidade nos regimes de aceleração, desaceleração e *coasting* (movimento sem aplicação forçada de aceleração ou frenagem).

Também analisando o tema da eficiência energética em transportes de passageiros, Schiller (2010) questiona se essa é uma questão restrita a combustíveis, veículos ou ao modelo viário das cidades. Segundo ele, do ponto de vista do combustível, a eficiência energética depende da tecnologia do veículo e da eficiência de todo o ciclo de vida da produção do combustível, desde a industrialização até a distribuição. Além da evolução tecnológica dos veículos e dos combustíveis, ele cita que essas ações devem ser complementadas com outras, visando a redução da quantidade de automóveis – índice que continua a aumentar nas grandes cidades. Fora os países do norte da Europa, o autor considera insuficientes, ou até mesmo inexistentes, ações em termos de aplicação de políticas e mecanismos de planejamento voltadas a modelos de mobilidade, que incentivem a redução do uso de automóveis e o deslocamento não motorizado nas cidades.

Baedeker e Hügging (2012) ratificam a abordagem de Schiller (2010) e discutem que a eficiência energética em transportes deve ser analisada quanto ao desempenho dos veículos, quanto aos modais que são utilizados para realizar as viagens e quanto ao desempenho do sistema como um todo. Em cada um desses níveis, a eficiência energética pode ser incrementada por meio de tratamentos diferenciados. Os veículos podem se tornar mais eficientes graças a tecnologias que desenvolvam novos combustíveis, reduzam o consumo dos motores, reduzam o peso, diminuam as perdas por atrito e melhorem a aerodinâmica, para citar algumas variáveis que devem ser consideradas. Quanto aos modais, as viagens feitas com transportes coletivos e não motorizados são mais

energoeficientes que os modais individuais. E, quanto ao sistema como um todo, atenção deve ser dada à redução da quantidade de viagens com ações voltadas para a organização do uso do solo e as interações entre as atividades econômicas e sociais com os sistemas de transportes.

Em transporte urbano de passageiros, o consumo energético é usualmente medido pela relação entre a energia consumida e o número de passageiros (p) transportados entre pontos de origens e destinos. As métricas da relação podem ser, por exemplo, kWh/ p -km, ou joules- p -km e, ou, litros de combustível por passageiro transportado por km (l/ p -km). Figuras precisas sobre eficiência energética são difíceis de serem estimadas devido à quantidade de fatores que afetam os cálculos. Esses fatores são, por exemplo: a abrangência da avaliação (Todo o sistema? Somente veículos? Veículos mais a infraestrutura de via? etc); tipos de energia; características dos veículos; características da via de rolamento (tecnologia e traçado); aspectos operacionais (vias expressas, locais e regimes de operação); energia consumida pelos veículos fora do cenário normal de operação (por exemplo, quando estão nas oficinas de manutenção); conhecimento da energia consumida por veículo/km para as diferentes cargas e influências devidas a fatores externos à operação direta dos veículos de transporte de pessoas (por exemplo, energia consumida no sistema por equipes de manutenção com veículos especiais) (VUCHIC, 2007).

Como exemplo de aplicação desse tipo de métrica, citam-se dados sobre o Metrô de São Paulo que transportou no ano de 2014 uma média de 1.110.432.599 passageiros em dias úteis, seus trens percorreram o equivalente a 18.065.234 km e foram consumidos no ano da ordem de 540.000 MWh na operação dos serviços de transporte (METRÔ, 2014b). A partir desses dados, a distribuição do consumo por passageiro no ano foi de 0,486 kWh/passageiro e o consumo por km foi de 29,9 kWh/km.

De forma geral, os autores citados entendem que análises abrangentes do consumo e, por consequência, eficiência energética, em sistemas de transportes em geral ou em transportes urbanos coletivos, devem considerar veículos, infraestrutura de estações e vias e estratégias operacionais. Análises individuais desses subsistemas podem ser conduzidas com as devidas delimitações de fronteiras bem identificadas.

2 | TRANSPORTE URBANO COLETIVO

Segundo a União Internacional de Transportes Urbanos (UITP), o processo de mobilidade urbana é um grande desafio que as cidades enfrentam para superar as dificuldades com sistemas de transportes, em face do aumento da população mundial que está cada vez mais urbanizada. Atualmente, 53% da população reside em áreas urbanas e, em 2050, este número deverá chegar em 67%. Hoje, 64% das viagens são feitas dentro do ambiente urbano e o total de quilômetros percorridos deverá aumentar três vezes mais

até 2050. Para dar conta dessa previsão de crescimento, o transporte urbano coletivo deverá aumentar sua participação em relação ao transporte privado e, para tanto, grandes investimentos precisarão ser alocados em mobilidade urbana. A UITP tem como objetivo fomentar a duplicação da parcela de participação do transporte público no mercado mundial até 2025 em comparação com o nível de 2005. Para tanto, os agentes de decisões em transporte público estão focando em ações que objetivam melhorar os sistemas em quesitos de atratividade, capacidade e eficiência (AUDENHOVE, 2014).

A Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP) também discute sobre o processo de urbanização. Para essa entidade, o processo de urbanização ocorrido nas últimas décadas e a separação geográfica entre as residências e os locais das atividades sociais de trabalho, educação, saúde, segurança, comércio e lazer aumentaram as demandas por deslocamentos diários de pessoas e coisas nas cidades. No entanto, o contexto moderno de mobilidade, que agrega a questão da sustentabilidade, não é reduzido apenas à compreensão e ao equacionamento das necessidades de deslocamentos de pessoas e coisas. Ele influencia os estudiosos em transportes urbanos a focar, além da fluidez em tráfego de veículos, numa maior eficiência no modelo atual dos transportes de pessoas, tanto individual quanto coletivo. No último, a tecnologia deve incorporar soluções para melhorar a qualidade das viagens das pessoas que não utilizam ou não têm carros assim como para atrair os usuários do transporte individual (ANTP, 2014).

A Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (ANTU) entende que, de forma superficial, no que tange a mobilidade sustentável, esta está relacionada a deslocar pessoas e bens de maneiras mais limpas, verdes, seguras, saudáveis, inclusivas e equitativas. Ampliando esta questão, significa entender o transporte como algo que visa atender as necessidades básicas das pessoas e do planeta como um todo, independentemente do fato de essas necessidades serem de cunho social, ambiental ou econômico. Esta concepção amplia a visão tradicional sobre mobilidade, focando mais especificamente a infraestrutura de transporte (ZIELINSKI, 2015).

As ações de mobilidade urbana sustentável, além de tratar do equacionamento do uso do espaço urbano, devem também focar na redução da poluição causada pelos veículos, no aumento da eficiência no consumo energético, na substituição das fontes fósseis de energia por fontes renováveis e na eficiência e acesso ao transporte coletivo (EPE-MME-DEA NT 10/14, 2014; MME-EPE NT 10/14, 2014; MME- EPE BEN 2014/2013; MME - EPE - NT 13/14, 2014).

No Brasil, a Lei N° 12.587 de 3 de Janeiro de 2012 (BRASIL, 2012) institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana, definindo-a como um conjunto organizado e coordenado dos modos de transporte, de serviços e de infraestruturas que garantem os deslocamentos de pessoas e cargas no território do Município. O mesmo instituto classifica os “modos de transporte Urbano” em motorizados, que emprega veículos

com propulsão própria e em não motorizados, que são as modalidades “que se utilizam do esforço de tração humana ou animal”. A infraestrutura urbana, segundo a mesma lei, é formada por: vias (rodovias, metrovias, hidrovias e ciclovias); estacionamentos; terminais; estações e conexões entre modais; pontos de embarque e desembarque; dispositivos de sinalização; equipamentos e sistemas de controle de tráfego, de difusão de informações e de arrecadação de taxas e tarifas. E toda essa infraestrutura é construída de acordo com as características específicas de cada aglomerado urbano.

As vias de trânsito são definidas no Código de Trânsito Brasileiro (BRASIL, 1997) como uma superfície por onde transitam veículos, pessoas e animais, compreendendo a pista, a calçada, o acostamento, a ilha e o canteiro central e as classificando em Vias Urbanas, Vias de Trânsito Rápido, Vias Arteriais, Vias Coletoras, Vias Locais, Vias Rurais, Rodovias e Estradas.

Há ainda outras classificações para as vias de trânsito presentes em documentos como: o Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes; o Plano Diretor do Município de São Paulo; o Plano Regional Estratégico do Município de São Paulo e a Portaria 21/02-DSV/SMT da Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (FAJERSZTAJIN, 2012).

Com relação ao tipo de transporte coletivo dedicado a pessoas que transitam pelas vias urbanas, não há um único e ótimo modal que possa sozinho cuidar da carga de transporte na malha viária. O transporte das pessoas nas grandes cidades é feita por uma combinação de modais dedicados aos transportes individual e coletivo, que se complementam e funcionam como um único sistema multimodal integrado (VUCHIC, 2007).

Dentre os sistemas dedicados ao transporte urbano coletivo encontram-se as peruas, ônibus comuns e elétricos, metrô pesado, trens suburbanos e as modalidades de média capacidade de transporte denominadas Bus Rapid Transit (BRT), metrô leve, PRT (Personal Rapid Transit), VLP (Veículo Leve Sobre Pneus ou GLT, Guided Light Transit) e Veículos Leves sobre Trilhos (VLT). Os diferentes sistemas disponíveis podem ser classificados por tipo de uso, pela segregação dos diferentes modais na infraestrutura de rolamento, pela tecnologia empregada e pelos tipos de serviços oferecidos. Por tipo de uso, os transportes podem ser classificados em privados, alugados e públicos. Os privados são aqueles operados pelos próprios donos e compostos por automóveis, motocicletas ou bicicletas. Os alugados, também denominados pelos autores em referência de *paratransit*, são os sistemas colocados à disposição dos usuários por provedores de serviço de transporte como táxis ou ônibus. Estes operam sem itinerários fixos, que são designados pelos usuários. Os transportes públicos, ou transportes de massa, operam com rotas e horários preestabelecidos e são colocados à disposição do público mediante o pagamento de tarifas. Quanto à segregação da circulação dos diferentes modais nas vias de rolamento, o mesmo especialista os classifica em categorias. A categoria A define um

tráfego misto, com veículos rodoviários e ferroviários. Na categoria B estão os corredores longitudinais para tráfegos exclusivos, com cruzamentos em nível. E na categoria C estão os corredores longitudinais para tráfegos exclusivos sem cruzamentos em nível. E, pela tecnologia empregada, os sistemas diferem quanto: ao tipo de contato entre o veículo e a via de rolamento (pneus e vias rodoviárias; rodas de ferro e trilhos e veículos guiados por dispositivos na via de rolamento ou dirigidos manualmente); ao tipo de propulsão (elétrica ou motor de combustão interna) e ao tipo de controle que regula o plano de circulação. Outra diferenciação indicada pelo autor diz respeito ao tipo de serviço de transporte oferecido: transporte em rotas curtas e densas; linhas mais longas, com poucas paradas e velocidades mais altas; interligação expressa entre pontos distantes, sem paradas intermediárias e linhas que interligam aglomerados urbanos (subúrbios) (ALOUICHE, 2012; VUCHIC, 2007).

O Manual de BRT (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008, p. 53) classifica as tecnologias disponíveis para transporte urbano coletivo em: Bus Rapid Transit (BRT), sistema de ônibus operando em faixa exclusiva; Light Rail Transit (LRT), tecnologia também conhecida no Brasil como Veículo Leve sobre Trilhos (VLT), que opera com trens elétricos; Bondes, que também operam com carros elétricos, mas menores que os do VLT e circulam em tráfego compartilhado com os veículos do sistema viário; Metrô, que é um sistema pesado com trens que circulam em vias segregadas e tipicamente enterradas; Trens suburbanos e o denominado Personal Rapid Transit (PRT), que é um sistema em que os carros correm sobre pneus ou trilhos transportando pessoas em pequenos veículos guiados automaticamente. Quanto à viabilidade dessas tecnologias, o manual informa que todas elas são viáveis e que as escolhas são inerentes às condições e preferências locais dos agentes de decisão. O Monotrilho é outra tecnologia para transporte urbano que existe há mais de 40 anos com várias aplicações no Japão e também fora dele (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008).

Essa breve introdução cobriu aspectos gerais sobre a definição sistêmica de transporte, intensidade e eficiência energética em transportes urbanos, o recente processo de urbanização, mobilidade urbana sustentável, a necessidade em se incrementar o transporte urbano coletivo e as vias de trânsito e modais de transporte urbano.

São a seguir descritas as características gerais dos três modais focados neste trabalho – BRT, VLT e Monotrilho. Ao último é atribuída a sigla MNT. O material cobre os aspectos de definição, custo (investimentos e operação e manutenção), desempenho operacional (eficiência energética, capacidade de transporte, e velocidade média operacional), qualidade de serviço (intervalo entre veículos e segurança), impactos ambientais (nível de ruído, visual estético da infraestrutura e tempo de implantação) e características gerais dos veículos. Os casos específicos citados não esgotam o universo de aplicações dos três modais em foco, mas foram selecionados aqueles que pudessem

fornecer dados suficientes para o desenvolvimento deste trabalho. São citados exemplos de aplicações internacionais e também projetos que empregam os três sistemas no Brasil.

2.1 BRT

Definição

Segundo o Manual de BRT (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008, p. 1), essa é uma solução nacional que se tornou referência para aplicações em outras cidades. O documento define o BRT como “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”. A mesma fonte informa que a aceitabilidade do BRT pelos usuários está ligada a outras características que ele tem como acessibilidade, segurança, integração com outros modais, imagem de proporcionar um ambiente seguro em todo o sistema e acesso ao estado do sistema via painéis de informações.

O BRT é um sistema de transporte com ônibus que tem infraestrutura, veículos e procedimento operacional, que proporcionam um serviço de boa qualidade, atrativo aos usuários. A sigla BRT foi adotada na América do Norte e ganhou aceitação mundial. No Brasil, o BRT foi desenvolvido na cidade de Curitiba, a partir dos anos 70, para equipar os eixos de Ônibus Expressos e a Rede Integrada de Transportes, iniciando operação em pista exclusiva em 1974 com a implantação dos primeiros 20 km de vias exclusivas para Ônibus Expressos na cidade de Curitiba (LERNER, 2009).

A entidade Institute for Transportation & Development Policy (ITDP) desenvolveu o documento BRT Standard (ITDP, 2014; Anexo IV), que é revisado periodicamente e no qual há uma definição comum para o modal BRT. Ele é também uma ferramenta que pode ser usada para reconhecer os sistemas de ônibus como sendo da classe BRT e incentivar os tomadores de decisão das municipalidades e fabricantes a considerarem em seus planejamentos os requisitos chave que definem o modal. Como exemplo, são cinco os critérios que qualificam o BRT na versão de 2014: Infraestrutura de Via, que pode ser pontuada em até 7 níveis; Segregação da Infraestrutura de via, até 7 pontos; Bilhetagem Externa ao Veículo, máximo de 7 pontos; Tratamentos de Interseções, até 6 pontos e Alinhamento entre os pisos do veículo e da plataforma, também em até 6 pontos. As pontuações em cada critério são obtidas na avaliação dos subcritérios a eles associados. A pontuação máxima é 100. Há três níveis de pontuação que qualificam o sistema como um modal BRT – Gold, Silver e Bronze. Em nível Gold, o sistema tem 85 pontos ou mais e o atestam como dentro dos padrões internacionais de desempenho operacional, eficiência e qualidade de serviço. Em nível Silver, o sistema tem pontuação entre 70 e 84 e é parecido ao Gold quanto ao desempenho operacional e a qualidade do serviço. Em Bronze, com pontuação entre 69 e 70, o sistema ainda é considerado um BRT, também

atingindo bom desempenho operacional e qualidade de serviço. O BRT Standard - 2014 define um corredor BRT como uma seção de via ou faixa segregada servida por uma ou até mesmo por diversas rotas de ônibus com um comprimento mínimo de 3 km (1,9 milhas) (ITDP, 2014). A segregação do tráfego é elemento essencial para que o sistema possa ser eficiente em velocidade média, desempenho operacional e qualidade de serviço. Os Sistemas brasileiros certificados pelo instituto ITDP, com a versão 2013 do BRT Standard, são: Rede Integrada de Transporte, Linha Verde, Curitiba (BRT Gold); Corredor TransOeste, Rio de Janeiro (BRT Gold); Rede Integrada de Transporte, Corredores Norte, Sul, Leste, e Boqueirão, Curitiba (BRT Silver); Expresso Tiradentes, São Paulo (BRT Silver) e Corredor Metropolitano São Mateus Jabaquara, São Paulo (BRT Bronze).

Com relação à infraestrutura, as faixas do BRT são tipicamente instaladas ao nível do sistema viário, embora existam exemplos de instalações parciais ou totalmente elevadas, como são os casos de trechos do Expresso Tiradentes em São Paulo (SPTrans, 2017), o BRT de Xiamen na China (BRT Xiamen, 2008) e o BRT Sunway Line na Malásia (BRT Sunway Line, 2015).

Custo

Investimento

Segundo o Ministério das Cidades (2008), o custo por km do BRT é da ordem de 4 a 20 vezes menor do que o VLT ou de 10 a 100 vezes menor do que o do Metrô. Em geral, o custo da infraestrutura é de 1 a 8 milhões de dólares por km, sem contar grandes desapropriações, alargamento do viário e obras de arte.

A experiência de Curitiba mostra que o custo de 20 km de BRT é de R\$ 140 milhões, considerando uma infraestrutura composta por 6 terminais de integração, 30 estações intermediárias e sistema de controle e sinalização. Neste exemplo, o custo é de R\$ 7 milhões por km. O adicional em veículos é de R\$ 80 milhões, relativos ao custo de 80 ônibus biarticulados ou 134 articulados (LERNER, 2009).

Para Alouche (2012), o custo por km do BRT está na faixa de R\$ 34 a R\$ 50 milhões. Como exemplo, o BRT da Linha TransCarioca no Rio de Janeiro, com 39 km, foi orçado em R\$ 1,83 bi, o que representa R\$ 47 milhões por km (BRTBRASIL, 2014).

Operação e manutenção

Os custos de operação e manutenção são compostos por insumos e mão de obra e são difíceis de serem generalizados. A componente de mão de obra é muito dependente de custos locais.

No Brasil, tem-se como exemplo de custo de operação e manutenção o dado do BRT de Curitiba. Esses custos são estimados por Lerner (2009) em R\$ 0,69 por passageiro transportado por dia, computando os custos fixos (salários e encargos sociais, tributos e

depreciação) e variáveis (energia de operação, materiais, serviços de terceiros e despesas gerais).

Para a grande São Paulo, tem-se a seguinte informação de custos de operação e manutenção para sistemas de transportes coletivos computados para o exercício de 2012 e 2013: R\$ 4,13 por passageiro transportado por dia para o sistema municipal de ônibus da SPTrans (66,9% são custos fixos, 25,2% variáveis e outros 7,9%); R\$ 3,31 para o sistema de ônibus intermunicipal da EMTU (74% para custos fixos e variáveis sendo 30% dos variáveis para combustíveis; 26% para outros; R\$ 2,62 para os trens suburbanos da CPTM (64,8% para custos fixos e variáveis e 35,2 para outros) e R\$ 1,95 para o sistema do metrô (56% fixos; 23% variáveis decompostos em 13% para serviços de terceiros, 7% para energia de tração e 3% para materiais e outros, 21%). Notar que os custos da energia de tração representam entre 7% e 30% dos custos variáveis da operação e manutenção dos veículos (LOPES, 2013).

Desempenho operacional

Intensidade Energética (IE) e Eficiência Energética (EE)

Faz-se a seguir uma estimativa de eficiência energética para o BRT restrita às seguintes premissas: somente atenção às características próprias e à operação dos veículos; utilização da métrica l/p-km; veículo articulado ou biarticulado, que consome 61,7 litros (l) de óleo diesel por hora (h) e tem capacidade máxima para transportar 235 passageiros (p) (MERCEDES, 2016; SCANIA, 2011; VOLVO, 2016) e operação em plena carga, velocidade constante com média de 35 km/h e uma hora de percurso. Com essas premissas, a intensidade energética (IE) desse veículo para transportar uma pessoa entre dois pontos A e B, distanciados de 35 km, é calculada com as Equações 1 e 2 e a eficiência energética (EE) com as Equações 3 e 4.

O consumo do BRT em litros de óleo diesel por hora (61,7 l/h) tem o seu cálculo detalhado no Anexo III. A capacidade média de transporte do veículo adotado neste exemplo é também desenvolvida no mesmo anexo.

- Veículo BRT – Intensidade Energética (l/p-km) – Exemplo de cálculo.

$$IE = [61,7 \text{ (l/h)} * 1 \text{ (h)} / 235 \text{ (p)}] / 35 \text{ (km)} = [0,2625 \text{ (l/p)}] / \text{km} = 0,0075 \text{ l/p-km} \quad (1)$$

- Veículo BRT – Intensidade Energética (Mj/p-km) – Exemplo de cálculo.

$$IE = 0,0075 \text{ (l/p-km)} * 36 \text{ (Mj)} = 0,27 \text{ (Mj/p-km)} \quad (2)$$

- Veículo BRT – Eficiência Energética (p-km/l) – Exemplo de cálculo.

$$EE = 1 / 0,0075 \text{ p-kn/l} = 133,33 \text{ p-km/l} \quad (3)$$

- Veículo BRT – Eficiência Energética (p-km/Mj) – Exemplo de cálculo.

$$EE = 1 / 0,27 \text{ (Mj/p-km)} = 3,703 \text{ p-km/Mj} \quad (4)$$

Capacidade de transporte

Com a adoção de veículos de grande capacidade e cuidados com itens operacionais, o BRT pode transportar um grande número de passageiros. Esses cuidados são: múltiplas posições de parada nas estações; combinação de serviços expressos e com paradas em poucas estações; embarque e desembarque em nível e bilhetes pré-adquiridos em estações. Com essas estratégias, o BRT de Curitiba pode transportar até 48.600 p/h/s, 16.200 em linha paradora e 32.400 em linha direta. Na cidade de Bogotá, o BRT TransMilenio chega a transportar 42.000 p/h/s. No Rio de Janeiro, a Linha TransCarioca tem previsão para transportar 500.000 passageiros por dia, com 50.000 p/h/s nos períodos de pico (BRTBRASIL, 2014; LERNER, 2009; MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008).

Velocidade média operacional

A Velocidade média operacional (V_m) da maioria dos BRTs fica entre 23 e 39 km/h. O tempo de parada em pontos de embarque e desembarque tem papel importante no cômputo dessa velocidade. Quanto menor esse tempo, maior será a V_m . Itens que contribuem para minimizar esse tempo são portas largas em veículos, sistema de pré-pagamento de tarifas externo ao veículo e embarque e desembarque em nível (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008). O BRT de Curitiba tem linhas expressas e paradoras. A linha expressa pode operar com V_m de até 35 km/h e a linha paradora até 20 km/h (LERNER, 2009). Para Alouche (2012), o BRT tem V_m entre 20 e 30 km/h.

Qualidade de serviço

Intervalo entre veículos (headway)

Com dados de 2009 (LERNER, 2009), o BRT pode operar com *headways* (intervalo entre veículos) de até 60 segundos de intervalo, em linhas paradoras, e 30 segundos em linhas expressas.

Segurança

Quando opera em faixas totalmente segregadas, o veículo BRT não se envolve com o trânsito do sistema viário. Como a operação do veículo BRT é feita em modalidade manual em marcha à vista, o nível de segurança com acidentes entre veículos do próprio sistema e, ou, entre veículos e usuários ou funcionários, é função de treinamentos e cuidados com os procedimentos operacionais.

Impactos ambientais

Emissões de GEE

O Manual BRT (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008, p.6) informa que “os níveis de emissão Euro 3 estão se tornando cada vez mais o padrão mundial”. E que “tal tecnologia veicular limpa inclui: diesel limpo, gás natural comprimido, gás liquefeito de petróleo, biocombustível, veículo elétrico híbrido e trólebus”.

O trabalho de LERNER (2009) informa que os BRTs do Rio de Janeiro e de Curitiba utilizam desde 2006 o diesel B5 (com 5% de adição de biodiesel) e que o biodiesel 100% estaria, na época, sendo testado em veículos articulados.

O BRT atende positivamente aos indicadores de sustentabilidade e acessibilidade, viabilidade econômica e coordenação entre ocupação do solo e mobilidade urbana coletiva. No entanto, permanece a questão da utilização de óleo diesel, tema que deve ser considerado em aprimoramento do sistema (CINQUINA, 2008). Outros especialistas, como Alouche (2012), também entendem que a emissão de gases é um aspecto do BRT que deve ser equacionado pelos fabricantes.

No estudo de caso desse trabalho, utiliza-se o fator médio de emissão de 2,67 kgCO₂eq por litro de óleo diesel queimado na combustão do motor de combustão interna do veículo BRT e o fator médio de 0,5 kgCO₂eq para a produção e distribuição de 1,0 litro de óleo diesel (AGRO ANALYSIS, 2009; CARVALHO, 2011).

Nível de ruído

Em São Paulo, os ônibus movidos a motor de combustão interna estão sujeitos às Normas SPTrans, 2013, com citação à Norma ABNT NBR 9079, de 1985 (BRASIL 1985). Segundo a norma, o nível de ruído no interior do veículo deve ser menor do que 85 dB (A). Externamente, o veículo não deve exceder ao valor estipulado em norma ambiental vigente.

Visual estético da infraestrutura

O visual estético da infraestrutura de via do BRT, assim como do VLT e do Monotrilho, é um item de avaliação subjetiva. Um aspecto realçado pelos especialistas é a divisão do viário, causada por corredores segregados ou semisegregados.

Tempo de implantação

O BRT pode ser planejado no tempo entre 12 a 18 meses e, após essa fase, construído no período de até 3 anos (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008).

Características gerais dos veículos

Os veículos do BRT (Figuras 2, 3 e 4) podem ter comprimento entre 18 m e 30 m, até 4 portas, com folhas medindo 0,8 m, e capacidade para 160 a 300 passageiros, dependendo do tipo de veículo e taxa de ocupação. A taxa de aceleração e desaceleração é da ordem de 1 m/s^2 (MADISON, 2013).

Os motores usam o óleo diesel como combustível. Citando alguns exemplos, o veículo Scania biarticulado opera com motor de 264 kW (360 cv a 2.000 rpm) e o motor da Volvo produz 250 kW (340 cv, a 2.00 rpm). O motor do veículo Mercedes articulado é equipado com motor com potência de 260 kW (354 cv), também a 2.000 rpm; o consumo específico declarado é de 184g/kWh, a 2.000 rpm. Os pesos dos veículos são de 30.000 kg com carga de 165 passageiros para os articulados e 40.500 kg com 250 passageiros para os biarticulados.



Figura 2 - Scania Bi-articulado F340 HA

Fonte: Scania.¹



Figura 3 - Mercedes Superarticulado 500 MDA HD

Fonte: Mercedes-Benz.²

1 Disponível em: <<https://www.scania.com>>.

2 Disponível em: <<https://www.mercedes-benz.com.br>>.



Figura 4 - Volvo Biarticulado Gran Artic 300

Fonte: Volvo; Nova Bus – 2012.³

2.2 VLT

Definição

O VLT tem o mesmo objetivo do BRT, no sentido de proporcionar um serviço de boa qualidade e atratividade aos usuários, mas dele difere pelo fato de empregar infraestrutura e veículos com características ferroviárias.

Este modal de transporte é derivado dos bondes, ele foi introduzido na França na década de 90, adotado em cidades norte-americanas e atualmente tem presença em várias cidades de diversos países, entre outros: Alemanha; Austrália; Espanha; Inglaterra; Irlanda e Portugal. Nos Estados Unidos são conhecidos pelo termo *light rail*. No Brasil o termo VLT é conhecido desde os anos 80. (ALOUCHE, 2006; ALOUCHE, 2012; LERNER, 2009).

A técnica do VLT é definida como,

“(...) tecnologia baseada em trens elétricos, seja com um único carro ou com uma composição curta de veículos, tipicamente em faixas exclusivas com direito de passagem no nível da superfície com conexões elétricas sobre toda a extensão da linha” (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008, p. 53).

O VLT é uma solução de menor capacidade de transporte e de menor custo de investimento quando comparado ao metrô. As principais características do sistema são: operação em leito segregado; facilidade de acesso; boa aceitação popular; capacidade de atrair usuários para o sistema de transporte coletivo; eficiência energética; ambientalmente correto; regularidade da viagem e conforto (PLANUS, 2015).

³ Disponível em: <<http://www.novabus.com/october-2012/volvo>>.

Para a operadora VTA, o VLT é um sistema de alta qualidade, acessível e capaz de oferecer um serviço com acessibilidade e conveniente para atrair e promover o desenvolvimento no entorno de suas estações e ao longo da via do corredor de transporte. No sistema VTA, a distância entre as estações é da ordem de 800 m a 1500 m. A linha pode ter as opções de compartilhar o tráfego com o viário ou ser semi ou completamente segregada; tem também túneis e partes elevadas. Para promover a atratividade e ao mesmo tempo proporcionar tempos de viagem competitivos, as rotas foram desenhadas para conectar pontos centrais da cidade com centros de serviços ao longo de vias arteriais. A circulação compartilhada nos pontos centrais reduz a velocidade média operacional e a segurança, mas quando operando em vias semi ou completamente segregadas as viagens são mais rápidas e seguras. No sistema VTA, os bilhetes são adquiridos em pontos de venda externos ao veículo (VTA, 2007).

O VLT é “um sistema metropolitano guiado por trilhos, caracterizado por sua habilidade de operar com veículos singelos ou trens curtos em vias exclusivas ao nível do solo, em estruturas aéreas, abaixo da superfície, ou, ocasionalmente, em ruas e embarcar pessoas em plataformas alinhadas ou não com o piso do veículo” (BOORSE, 2000; em tradução livre do autor).

Alouche (2006; 2012) indica duas concepções para aplicação do VLT: o VLT em nível, com segregação parcial e priorização semaforica e o VLT com segregação total ou parcial, em via elevada. O autor cita em seu artigo exemplos clássicos de VLTs elevados ou parcialmente elevados: VLT de Monterrey (México); VLT de Dallas (USA) e VLT de Docklands (Inglaterra).

No Brasil, o VLT está sendo implantado em nível, com prioridade semaforica, por fases no Rio de Janeiro e na Baixada Santista. Está também planejado para as cidades de Campinas, Cuiabá, Florianópolis, Fortaleza, Goiânia, Natal, João Pessoa, e Petrolina (REVISTA FERROVIÁRIA, 2015).

Custo

Investimento

O custo de investimento no VLT é de 3 a 4 vezes superior ao custo de um sistema de BRT (PLANUS, 2015).

O VLT do Rio de Janeiro, no projeto de revitalização da área portuária, tem o custo da infraestrutura estimado em R\$ 43 milhões por km. Os 22 trens previstos são custeados pelos parceiros da iniciativa privada (PREFEITURA-RIO-SECPAR, 2016).

O custo da infraestrutura de via do VLT de Santos está estimado em cerca de R\$ 60 milhões por km. São 23,4 km de extensão, com orçamento previsto de R\$ 1,4 bilhões para projetos e infraestrutura. Os 22 trens previstos para o sistema são custeados pelos

parceiros da iniciativa privada, PPP (EMTU (a), 2013; EMTU (b), 2013).

Segundo Alouche (2012), o custo do VLT é da ordem de R\$ 65 a R\$ 100 milhões por quilômetro.

Operação e manutenção

Os custos operacionais do VLT, à semelhança do BRT, variam de região para região porque são compostos não somente por insumos e partes de reposição, que podem ser valorados segundo padrões internacionais, mas também por custos locais como mão de obra, energia e infraestrutura de trabalho. Adota-se neste trabalho o valor US\$ 0,22 por passageiro transportado, conforme memorial de cálculo descrito no Anexo III.

Desempenho operacional

Intensidade Energética (IE) e Eficiência Energética (EE)

Os casos da Baixada Santista e do Rio de Janeiro são a seguir utilizados para caracterizar a eficiência energética dos veículos do sistema VLT. Para efeito de comparação com o veículo BRT, mantém-se nesse cálculo a mesma métrica para intensidade energética e velocidade média operacional.

Cada trem do VLT de Santos tem capacidade para transportar 400 passageiros com densidade de 6 passageiros por m² e é tracionado por 6 motores de 105 kW cada, somando uma potência total de 630 kW (EMTU (a), 2013; EMTU (b), 2013; VOSSLOH, 2016).

A composição do VLT do Rio de Janeiro também tem capacidade para transportar 400 passageiros, com densidade de 6 passageiros por m² e é tracionado por 6 motores de 175 kW cada um, o que resulta em um total de 1.050 kW (ALSTOM, 2017; PREFEITURA-RIO-SECPAR, 2016).

Como exemplo, as premissas: velocidade média operacional de 35 km/h; a métrica de kWh/p-km para intensidade energética (VUCHIC, 2007); a eficiência energética do veículo operando a plena carga; transporte entre dois pontos A e B distanciados de 35 km. Com essas premissas, a intensidade energética (IE) do VLT de Santos, para transportar uma pessoa entre dois pontos A e B distanciados de 35 km, é dada pelas Equações 5 e 6 e a eficiência energética pelas Equações 7 e 8:

- Veículo VLT Santos (Vossloh) – Intensidade Energética (kWh/p-km) – Exemplo de cálculo.

$$IE = [630 \text{ kWh}/400(p)]/35(\text{km/h}) = [1,575\text{kWh}/p\text{-km}]/35\text{km/h} = 0,045 \text{ kWh}/p\text{-km} \quad (5)$$

- Veículo VLT Santos (Vossloh) – Intensidade Energética (Mj/p-km) – Exemplo de cálculo.

$$IE = 0,045 \text{ (kWh}/p\text{-km)} * 3,6 \text{ (Mj)} = 0,162 \text{ (Mj}/p\text{-km)} \quad (6)$$

- Veículo VLT de Santos (Vossloh) – Eficiência Energética (l/kWh/p-km) – Exemplo de cálculo.

$$EE = 1/0,045 \text{ kWh/p-km} = 22,222 \text{ p-km/kWh} \quad (7)$$

- Veículo VLT de Santos (Vossloh) – Eficiência Energética (l/Mj/p-km) – Exemplo de cálculo.

$$EE = 1/0,162 \text{ (Mj/p-km)} = 6,173 \text{ p-km/Mj} \quad (8)$$

Seguindo o mesmo raciocínio, o veículo do VLT do Rio de Janeiro tem o seguinte desempenho energético para desenvolver o mesmo trabalho de transporte, calculado por meio das Equações 9, 10, 11 e 12:

- Veículo VLT do RJ (Alstom) – Intensidade Energética (kWh/p-km) – Exemplo de cálculo.

$$IE = [1.050 \text{ kWh}/400(p)]/35(\text{km/h}) = [2,625\text{kWh}/p]/35\text{km/h} = 0,075\text{kWh}/\text{p-km} \quad (9)$$

- Veículo VLT do RJ (Alstom) – Intensidade Energética (Mj/p-km) – Exemplo de cálculo.

$$IE = 0,075 \text{ (kWh/p-km)} * 3,6 \text{ (Mj)} = 0,27 \text{ (Mj/p-km)} \quad (10)$$

- Veículo VLT do RJ (Alstom) – Eficiência Energética (l/kWh/p-km) – Exemplo de cálculo.

$$EE = 1/0,075 \text{ kWh/p-km} = 13,333 \text{ p-km/kWh} \quad (11)$$

- Veículo VLT do RJ (Alstom) – Eficiência Energética (l/Mj/p-km) – Exemplo de cálculo.

$$EE = 1/0,270 \text{ (Mj/p-km)} = 3,704 \text{ p-km/Mj} \quad (12)$$

Notar a semelhança de valores entre os exemplos do BRT e do veículo do VLT do Rio de Janeiro (os dois da ordem de 3,703 p-km/Mj).

A Tabela 1 resume as eficiências energéticas dos veículos Vossloh e Alstom, números válidos para as premissas de cálculo adotadas.

FABRICANTE	CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS	IE (Mj/p-km)	EE (p-km/Mj)
VOSSLOH	5 carros; 400 p; 630 kWh	0,162	6,173
ALSTOM	5 carros; 400 p; 1050 kWh	0,270	3,704

Tabela 1 - Eficiência Energética de Veículos VLT

Fonte: VOSSLOH e ALSTOM; dados adaptados pelo autor.

Capacidade de transporte

O VLT da Baixada Santista tem como estimativa atender a uma carga de 70.000

passageiros por dia, com fluxo de 7.000 passageiros hora sentido, com infraestrutura de via semisegregada (EMTU (a), 2013; EMTU (b), 2013).

A estimativa do estudo do Ministério dos Transportes é que o VLT pode atender a um fluxo médio de transporte de até 20.000 passageiros por hora e por sentido de tráfego (phs) (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008).

Segundo o estudo de Planus (2015), em função de limitações como taxa de frenagem e impossibilidade dos veículos fazerem ultrapassagens, a capacidade de transporte do VLT está limitada a 20 mil phs, com intervalos mínimos entre veículos de 3 ou 4 minutos. Interessante notar que em relação a taxas de aceleração e frenagem, as taxas, como informadas pelos fabricantes do veículo VLT, são equivalentes às taxas de veículos ferroviários empregados em transportes de alta capacidade, como os metrô (nota do autor).

De forma geral, doutrinadores e operadores caracterizam o VLT como uma alternativa para aplicações com carga entre 20.000 e 25.000 phs (LERNER, 2009). Outros agentes de decisão envolvidos com sistemas VLT situam a carga do VLT na faixa de 15.000 a 35.000 phs (ALOUICHE, 2012).

O VLT do Rio de Janeiro tem carga estimada em 300.00 passageiros por dia, com 20.000 a 30.000 p/h/s e desenhado para operação em via semisegregada (PREFEITURA-RIO-SECPAR, 2016).

Interessante notar que há exemplos de operadoras que ultrapassam os limites acima mencionados, como é o caso, por exemplo, do VLT de Manila que chega a transportar 500.000 passageiros por dia na Linha 1 e 200.000 na Linha 2. Em horário de pico, a Linha 2 atinge a marca de mais de 50.000 phs (RAILWAY-TECHNOLOGY, 2017; REVOLVY, 2017; SYSTRA, 2017).

O VLT tem ainda a capacidade de acoplar veículos, o que resulta em composições com capacidade de transportar da ordem de 800 passageiros em intervalos de pico. Com essa possibilidade, a capacidade de transporte do VLT está muito ligada à quantidade de veículos disponíveis (nota do autor).

Velocidade média operacional (V_m)

A bibliografia consultada situa a faixa de velocidade média operacional do VLT entre 18 e 40 km/h. Essa faixa varia principalmente em função da infraestrutura de via e da estratégia de operação.

No estudo de viabilidade do VLT para Florianópolis, a V_m está situada entre 18 a 22 km/h, com operação em linha troncal semisegregada (PLANUS, 2015).

No VLT de Santos, a V_m é estimada em 25 km/h, com os veículos circulando em via semisegregada com prioridade semaforica (EMTU (a), 2013; EMTU (b), 2013).

No sistema da operadora VTA, a mínima V_m operacional é de 37 km/h, com infraestrutura de via totalmente segregada (VTA, 2007).

O VLT do Rio de Janeiro estima uma V_m entre 20 e 40 km/h. O sistema opera em via compartilhada, com prioridade semaforica (PREFEITURA-RIO-SECPAR, 2016).

No VLT de Manila, a Velocidade média é de 40 km/h em via totalmente segregada (RAILWAY-TECHNOLOGY, 2017; REVOLVY, 2017; SYSTRA, 2017).

Qualidade de serviço

Intervalo entre veículos (headway)

O intervalo entre veículos deve ser estudado caso a caso e depende do nível de segregação da infraestrutura, velocidade operacional, taxas de frenagem e aceleração dos veículos, tempo de embarque e desembarque e habilidade do operador, já que o VLT é operado em modo marcha à vista.

Segurança

O nível de segurança do VLT com relação ao tráfego viário é função do grau de segregação da infraestrutura, da sinalização de via, se houver compartilhamento, e de procedimentos operacionais e experiência (treinamento) do operador do veículo.

Impactos ambientais

- Emissões de GEE

De forma geral, a bibliografia consultada é unânime ao informar que os sistemas ferroviários elétricos são mais eficientes e menos poluentes do que os sistemas de transportes coletivos rodoviários (ALOUICHE, 2012; BOORSE, 2000; MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008; PLANUS, 2015).

No estudo de caso desse trabalho, utiliza-se o fator médio de emissão de 81,7 kgCO₂eq por MWh consumido do SIN (Sistema Interligado Nacional), publicado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, 2017) para 2016.

Nível de ruído

Além da questão das emissões aéreas, os veículos elétricos são também menos ruidosos do que os ônibus, que utilizam motores de combustão interna. Os níveis máximos de ruídos admissíveis no Brasil para os ambientes internos e externos a trens e VLTs, para transporte urbano coletivo, são regidos pela Norma ABNT NBR 13068. No salão de passageiros, o nível de pressão sonora ponderada (Leq) deve ser, no máximo, de 64 dB (A)

para o veículo parado; nas proximidades do condutor, de 75 dB(A) e, distante dele, de 80 dB(A), com o veículo trafegando a 60 km/h. No exterior do veículo, os níveis devem ser de 80 dB (A), com o veículo parado; com o trem, partindo, 85 dB (A) e, trafegando a 60 km/h, de 90 dB (A) (ABNT NBR, 1994; EMTU (a), 2013; EMTU (b), 2013).

Visual estético da infraestrutura

De forma geral, subjetivamente, o VLT é tido por especialistas em transporte urbano como um sistema que se integra bem ao meio ambiente urbano, atrai usuários e dá à cidade uma imagem positiva (ALOUICHE, 2012).

Tempo de implantação

O VLT pode ser instalado e comissionado por trechos. No caso dos VLTs de Santos e do Rio de Janeiro, os primeiros trechos estão sendo entregues em tempos da ordem de 3 a 4 anos, após o planejamento (EMTU (a), 2013; EMTU (b), 2013; PREFEITURA-RIO-SECPAR, 2016).

Características gerais dos veículos

O comprimento das composições do VLT pode ser ajustado pelo acoplamento de mais de uma unidade mínima para o sistema responder às mudanças na demanda e velocidades de operação. No sistema VTA, por exemplo, uma composição mínima tem 3 carros de 27 m de comprimento cada um e pode acomodar até 690 passageiros (VTA, 2007).

No caso da Baixada Santista, o veículo do VLT (Figura 5) comporta até 400 passageiros, com densidade de 6 passageiros por m². A composição é formada por cinco carros e tem comprimento de 44 m. Carros das cabeceiras têm uma porta de 0,8 m de largura de cada lado e carros intermediários têm duas portas com 1,3 m de largura de cada lado. Cada trem é tracionado por 6 motores de 105 KW, alimentado com voltagem de 750 Vcc. As taxas de aceleração e desaceleração são de 1,2 m/s² (EMTUa, 2013; EMTUb, 2013; VOSSLOH, 2016).

A composição do VLT do Rio de Janeiro, por sua vez (Figura 6), é formada por cinco carros, tem 52 m de comprimento e capacidade para transportar 400 passageiros, com densidade de 6 passageiros por m². Carros das cabeceiras têm uma porta de 0,8 m de largura de cada lado e carros intermediários têm duas portas com 1,3 m de largura de cada lado. Cada trem de 5 carros é tracionado por 6 motores de 175 KW cada um, alimentado com voltagem de 750 Vcc. O veículo tem taxa de aceleração de 1,1 m/s² e desaceleração de 2,5 m/s² (PREFEITURA-RIO-SECPAR, 2017; ALSTOM, 2017).



Figura 5 - VLT – Santos
Fonte: Viatrolebus, 2015.⁴



Figura 6 - VLT - Rio de Janeiro
Fonte: Rio I go, 2016.⁵

2.3 Monotrilho

Definição

A entidade, The Monorail Society, tem a seguinte definição para o sistema Monotrilho,

⁴ Disponível em: <<http://www.viatrolebus.com.br/2015>>.

⁵ Disponível em: <<http://www.riogo.com/2016>>.

“Sistema de trilho singelo com veículos para serviço de transporte de passageiros ou carga. Na maioria dos casos o trilho é elevado, mas os monotrilhos podem circular ao nível do viário, sob o viário ou em túneis subterrâneos. Os veículos podem ser suspensos ou com truques que se agarram a uma estreita viga guia. Os veículos são mais largos do que a viga que os suportam.” (THE MONORAIL SOCIETY (b), 2017; tradução livre do autor)

O sistema suspenso é denominado SAFEGE, nome da empresa francesa que desenvolveu essa técnica. É também denominado de tipo *suspended*. Neste tipo, o veículo desliza suspenso sob a viga guia (SKYTRAINCORP, 2017).

O sistema em que o veículo desliza sobre a viga guia é denominado ALWEG, sigla da empresa alemã que consolidou esse tipo de *monorail*. Também denominado de tipo *stranddle* (SKYTRAINCORP, 2017).

O Monotrilho tipo ALWEG desponta como um meio para transporte de média capacidade em região urbana no Brasil. Está sendo instalado por fases na Linha 15 do Metro de São Paulo e previsto para as linhas 17 e 18, também do mesmo operador (REVISTA FERROVIÁRIA, 2015).

Embora seja novidade no Brasil, o Monotrilho está em operação em dezenas de cidades em países como Austrália, Bélgica, Canadá, China, Finlândia, Alemanha, Índia, Irlanda, Itália, Japão, Malásia, México, Rússia, Singapura, Coreia, Espanha, Tailândia e Estados Unidos. China e Japão são os países com mais instalações desse tipo de modal (THE MONORAIL SOCIETY, 2017; JAPAN MONORAIL ASSOCIATION, 2016; WIKIPEDIA.ORG, 2017).

Os veículos do sistema Monotrilho trafegam, tipicamente, em vigas guias instaladas elevadas em relação ao sistema viário.

Custo

Investimento

Com base em nove projetos fornecidos pelos fabricantes Hitachi, Bombardier e Scomi, entre 1964 e 2008, The Monorail Society informa custos entre US\$ 15 mi e US\$ 88 mi por km para o sistema Monotrilho modelo ALWEG (THE MONORAIL SOCIETY (a), 2017).

Outra fonte informa que, de forma geral, o custo médio do sistema ALWEG é de US\$ 70 mi/km. A mesma fonte coloca os custos dos sistemas Hitachi deste modelo entre US\$ 27 e US\$ 73 mi/km e alguns sistemas da fabricante Scomi entre US\$ 27 e 36 US\$ mi por km (MONORAILS AUSTRALIA (a), 2017).

Os três sistemas do tipo ALWEG, previstos para instalação na cidade de São Paulo, sob a responsabilidade do Metrô, têm custos estimados em US\$ 90 mi/km (Linha 15 Prata: 24,5 km), US\$ 53 mi/km (Linha 17 Ouro: 17,7 km) e US\$ 84,7 mi/km para a linha 18 Bronze

(15,7 km) (REVISTA FERROVIÁRIA, 2015; ROCHA, 2016).

Operação e manutenção

À semelhança do VLT, os custos operacionais do VLT também variam de região para região porque estão atrelados a custos locais. Adota-se neste trabalho o valor US\$ 0,20 por passageiro transportado, conforme memorial de cálculo descrito no Anexo III.

Desempenho operacional

Intensidade Energética (IE) e Eficiência Energética (EE)

Mostram-se a seguir exemplos de eficiência energética para três tipos de veículos, mantendo-se a métrica de eficiência energética e velocidade operacional de 35 km/h, como nos exemplos feitos para o BRT e VLT.

Veículo Hitachi

Veículo Hitachi: modelo de 4 carros; 560 p (140 p/carro) e 720 kW de potência (4 motores de 185 kW) (KUWABARA et al, 2001; SHAOXUAN et al, 2008).

As Equações 13, 14, 15 e 16 mostram as IE e EE para esse veículo.

- Veículo MNT Hitachi – Intensidade Energética (kWh/p-km) – Exemplo de cálculo.

$$IE = [720 \text{ kWh}/560(\text{p})]/35(\text{km/h}) = [1,29 \text{ kWh/p}]/35\text{km/h} = 0,037 \text{ kWh/p-km} \quad (13)$$

- Veículo MNT Hitachi – Intensidade Energética (Mj/p-km) – Exemplo de cálculo.

$$IE = 0,037 \text{ (kWh/p-km)} * 3,6 \text{ (Mj)} = 0,132 \text{ (Mj/p-km)} \quad (14)$$

- Veículo MNT Hitachi – Eficiência Energética (1/kWh/p-km) – Exemplo de cálculo.

$$EE = 1/0,037 \text{ kWh/p-km} = 27,03 \text{ p-km/kWh} \quad (15)$$

- Veículo MNT Hitachi – Eficiência Energética (1/Mj/p-km) – Exemplo de cálculo.

$$EE = 1/0,132 \text{ (Mj/p-km)} = 7,58 \text{ p-km/Mj} \quad (16)$$

Veículo Scomi

Veículo Scomi: modelo de 4 carros; 484 p (121 p/carro) e 800 kW de potência – 4 motores de 200 kW para cada trem (SCOMIRAIL, 2017).

As Equações 17, 18, 19 e 20 mostram IE e EE para esse veículo.

- Veículo MNT Scomi – Intensidade Energética (kWh/p-km) – Exemplo de cálculo.

$$IE = [800 \text{ kWh}/484(\text{p})]/35(\text{km/h}) = [1,653 \text{ kWh/p}]/35\text{km/h} = 0,047 \text{ kWh/p-km} \quad (17)$$

- Veículo MNT Scomi – Intensidade Energética (Mj/p-km) – Exemplo de cálculo.
 $IE = 0,047 \text{ (kWh/p-km)} * 3,6 \text{ (Mj)} = 0,17 \text{ (Mj/p-km)}$ **(18)**
- Veículo MNT Scomi – Eficiência Energética (1/kWh/p-km) – Exemplo de cálculo.
 $EE = 1/0,047 \text{ kWh/p-km} = 21,28 \text{ p-km/kWh}$ **(19)**
- Veículo MNT Scomi – Eficiência Energética (1/Mj/p-km) – Exemplo de cálculo.
 $EE = 1/0,17 \text{ (Mj/p-km)} = 5,88 \text{ p-km/Mj}$ **(20)**

Veículo Bombardier

Veículo (trem) Bombardier: modelo de 7 carros; 1001 p (143 p/carro) e 1400 kW de potência – 14 motores de 100 kW (BOMBARDIERTRANSPORTATION, 2017).

As Equações 21, 22, 23 e 24 mostram IE e EE para esse veículo.

- Veículo MNT Bombardier – Intensidade Energética (kWh/p-km) – Exemplo de cálculo.
 $IE = [1400 \text{ kWh}/1001(p)]/35(\text{km/h}) = [1,398\text{kWh}/p]/35\text{km/h} = 0,040\text{kWh}/p\text{-km}$ **(21)**
- Veículo MNT Bombardier – Intensidade Energética (Mj/p-km) – Exemplo de cálculo.
 $IE = 0,040 \text{ (kWh/p-km)} * 3,6 \text{ (Mj)} = 0,14 \text{ (Mj/p-km)}$ **(22)**
- Veículo MNT Bombardier – Eficiência Energética (1/kWh/p-km) – Exemplo de cálculo.
 $EE = 1/0,040 \text{ kWh/p-km} = 25,00 \text{ p-km/kWh}$ **(23)**
- Veículo MNT Scomi – Eficiência Energética (1/Mj/p-km) – Exemplo de cálculo.
 $EE = 1/0,140 \text{ (Mj/p-km)} = 7,143 \text{ p-km/Mj}$ **(24)**

A Tabela 2 resume as eficiências energéticas dos veículos Hitachi, Scomi e Bombardier. Sempre lembrando, números válidos para as premissas de cálculo adotadas.

FABRICANTE	CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS	IE (Mj/p-km)	EE (p-km/Mj)
HITACHI	4 carros; 560 p (140 p/carro); 600 kWh	0,132	4,000
SCOMI	4 carros; 484 p (121 p/carro); 800 kWh	0,170	5,263
BOMBARDIER	7 carros; 1001 p (143 p/carro); 1400 kWh	0,144	7,143

Tabela 2 - Eficiência Energética de Veículos Monotrilho

Fonte: Hitachi, Scomi e Bombardier; dados adaptados pelo autor.

Capacidade de transporte

O Monotrilho atende a um fluxo médio de transporte da ordem de 25.000 a 138.000 passageiros por dia com taxas de 10.000 a 24.000 phs. Esses números dependem das características da infraestrutura de via, da capacidade dos trens, que podem operar com 2, 4 e 8 carros, das taxas de aceleração e desaceleração e nível de automação dos sistemas de bordo e via para controlar a oferta de trens por hora. Há exemplos de cargas maiores, como os sistemas das cidades de Chongqing (China) que expande a operação para atender a mais de 500.000 passageiros por dia e o de São Paulo, cuja Linha 15 está prevista para transportar da ordem de 500.000 passageiros dia com carga de pico prevista para até 48.000 phs (CICHINELLI, 2013; MECA, 2011; MONORAILS AUSTRALIA (a), 2017; JAPAN MONORAIL ASSOCIATION, 2016).

Velocidade média comercial

Os sistemas do Japão trafegam com velocidades médias da ordem de 26 km/h até 56 km/h. Na Linha 15 do Metro de São Paulo, o sistema está projetado para operar com velocidade média mínima de 35 km/h (JAPAN MONORAIL ASSOCIATION, 2016; MECA, 2011).

Qualidade de serviço

Headway

O Monotrilho pode atender a *headways* de até 90 segundos, como é o caso da Linha 15 do Metro de São Paulo. Considerando-se a operação de outros sistemas, a faixa de *headway* desse sistema é de 1,5 a 3 minutos em horários de pico.

Segurança

Como opera em via segregada e elevada, o Monotrilho não se envolve com o trânsito do sistema viário. Como a operação é feita em modalidade automática, o nível de segurança relativo a acidentes entre veículos do próprio sistema é muito alto, atendendo aos padrões de sistemas ferroviários.

Impactos ambientais

Emissões de GEE

Em termos de emissões, o monotrilho usa energia elétrica, e por isso não emite poluentes na cidade (PLANUS, 2015; ALOUCHE, 2012).

De forma similar ao VLT, no estudo de caso desse trabalho utiliza-se o fator médio de emissão de 81,7 kgCO₂eq por MWh consumido do SIN (Sistema Interligado Nacional), publicado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, 2017) para 2016.

Nível de ruído

Nas aplicações em custo em São Paulo, o Monotrilho segue a mesma norma para trens e VLTs aplicável a transporte urbano coletivo (ABNT NBR 13068 (BRASIL, 1994). Como o Monotrilho usa rodas com pneus de borracha, ele é considerado um sistema bastante silencioso.

Visual estético da infraestrutura

A viga guia de um sistema monotrilho do tipo ALWEG é estreita e permite boa passagem da luz solar (Figura 7). Embora ela seja menos invasiva do que a infraestrutura de um sistema convencional, com tablado (Figura 8), ela chama a atenção por estar suspensa em relação ao viário, suportada por pilares (MONORAIL SOCIETY, 2017).

A invasão na paisagem urbana pela infraestrutura do Monotrilho é muito discutida e as soluções que os construtores adotam para harmonizar os pilares e o espaço inferior ao meio ambiente é utilizar vegetação (Figuras 9 e 10) (MONORAIL SOCIETY, 2017).



Figura 7 - Sombreamento causado pelas vigas de um sistema de Monotrilho tipo ALWEG

Fonte: (MONORAILS AUSTRALIA (a), 2017).



Figura 8 - Sombreamento causado pela infraestrutura de um sistema convencional

Fonte: (MONORAILS AUSTRALIA (a), 2017).



Figura 9 - Las Vegas Monorail, USA

Fonte: MONORAIL SOCIETY, 2017.



Figura 10 - Kitakyushu Monorail, Japão

Fonte: MONORAIL SOCIETY, 2017.

Um ponto positivo da infraestrutura elevada é que ela não causa distúrbios na urbe em relação ao efeito barreira e em relação à ocupação das vias rodoviárias. Outro ponto positivo é que os veículos emitem baixo nível de ruído, tanto no interior como no entorno do sistema, em função da utilização de pneus de borracha.

Tempo de implantação

O Monotrilho tem tempo de instalação relativamente rápido e com pouca interferência no tráfego rodoviário local durante esse período. Isso é muito vantajoso quando a densidade urbana é alta e há possibilidade de prejudicar negócios locais pela construção prolongada de sistemas como VLT e metrô (PLANUS, 2015).

As vigas de rolamento são pré-moldadas em estaleiros e instaladas em colunas construídas nas faixas centrais ou laterais das vias de circulação, com macacos hidráulicos, em horários programados como períodos noturnos e finais de semana. No caso da Linha 15 do metrô, entre as estações de Vila Prudente e São Mateus (aproximadamente 10 km de via), foram instaladas em tempo da ordem de 24 meses (MECA 2013).

Características gerais dos veículos

A Mitsubishi fabrica monotrilhos do tipo suspensos (SAFEGE – Figura 11). Na Ásia há sistemas desse tipo instalados no Japão, nas cidades de Chiba, Shonan e Tóquio. O veículo mínimo é formado por 2 carros conjugados e pode ser acoplado. O veículo mínimo mede 15,4 m de comprimento e tem capacidade para transportar até 80 passageiros. Cada carro tem duas portas de cada lado, com 1,8 m de largura. Usa 2 motores de 65 kW, alimentados com 1.500 Vcc. As taxas de aceleração e deceleração (de serviço) são de 1,0 m/s² (JAPAN MONORAIL ASSOCIATION, 2016; MITSUBICHI HEAVY INDUSTRIES, 2017; MONORAILS AUSTRALIA (b)).

O sistema ALWEG (Figura 12) com mais aplicações são produzidos pela Hitachi, Scomi e Bombardier (MONORAILS AUSTRALIA (a), 2017; MONORAILS AUSTRÁLIA (b), 2017). No Brasil, o Metrô de São Paulo está utilizando em seus projetos os veículos da Bombardier, na Linha 15 e Scomi nas Linhas 17 e 18.



Figura 11 - MNT SAFEGE Mitsubishi

Fonte: Monorails Australia.⁶



Figura 12 - MNT ALWEG Bombardier

Fonte: Autor, 2016.⁷

A Hitachi fabrica veículos de pequeno, médio e grande porte, que podem ser formados com 2, 4 e 8 carros. Com densidade de 6 passageiros por m^2 , os modelos podem transportar o máximo de 62, 130 e 150 passageiros por carro. Cada carro tem duas portas de cada lado, com 1,0 m de largura. O trem formado com 4 carros, de 60 m de comprimento, é movido por 12 motores de 105 kW cada, alimentados com 1.500 Vcc. A taxa de aceleração (serviço) é de $1,1 m/s^2$ e deceleração $1,25 m/s^2$ (SEKITANI, T. et al., 2005).

O veículo Bombardier comporta 143 passageiros por carro, com densidade de 6 passageiros por m^2 . O trem tem 14 motores de 100 kW cada, alimentados com 750 Vcc. A composição é formada por sete carros e tem comprimento de 90 m. Cada carro tem duas portas de cada lado, com 1,6 m de largura. As taxas de aceleração e desaceleração (serviço) são de $1,0 m/s^2$ (BOMBARDIER TRANSPORTATION, 2017; MECA, 2011).

O veículo Scmi comporta 121 passageiros por carro, com densidade de 6

⁶ Disponível em: <<http://www.MonorailsAustralia.com.au>>.

⁷ Acervo pessoal do autor.

passageiros por m². A composição pode ser formada com 2, 4 e 6 carros com comprimentos respectivos de 24,5 m, 46 m e 67,7 m. Nas linhas do Metrô de São Paulo as composições desse fabricante irão operar com 4 carros. Cada carro tem duas portas de cada lado, com 1,0 m de largura. O trem com 4 carros utiliza 6 motores de 150 kW cada, alimentados com 750 Vcc. As taxas de aceleração e desaceleração (serviço) são de 1,1 m/s² (SCOMI RAIL, 2017; STRUKTONRAIL, 2017).

2.4 Comentários

Segue um resumo dos dados presentes nos itens 2.2.1, 2.2.2 e 2.2.3.

Para o critério Intensidade Energética (IE) e análise restrita ao desempenho de veículos com a métrica de energia consumida por passageiro por km (VUCHIC, 2007), potência declarada pelos fornecedores dos veículos e velocidade média operacional de 35 km/h constante, por uma hora, obtém-se os valores de 0,270 Mj/p-km para o BRT, faixa entre 0,162 Mj/p-km (Vossloh) a 0,270 Mj/p-km (Alstom) para o VLT e faixa de 0,132 Mj/km (Hitachi) a 0,140 Mj/p-km (Bombardier) para o MNT. Em função desses valores, o critério de Eficiência Energética fica, respectivamente, em 3,703 p-km/Mj para o BRT, faixa de 3,707 a 6,173 para o VLT e faixa de 5,88 a 7,58 para o MNT (Tabela 3).

MODAL	IE (Mj/p-km)	EE (p-km/Mj)
BRT	0,270	3,703
VLT	0,162 a 0,270	3,704 a 6,173
MNT	0,132 a 0,170	4,000 a 7,143

Tabela 3 - Eficiência Energética de Veículos BRT, VLT e MNT

Para o indicador de custo de investimento, identificam-se, com base nas fontes consultadas, em milhões de reais por km, as faixas de 10 a 40 para aplicações do BRT, entre 40 e 100 para o VLT e 50 a 300 para o Monotrilho (Quadro 2).

Os custos de operação e manutenção dependem de variáveis locais e devem ser calculados em casos concretos. Usando a métrica de custo por passageiro transportado por dia, foi possível identificar as figuras de R\$ 0,69 (LERNER, 2009), R\$ 0,22 (estimativa do autor) e R\$ 0,20 (estimativa do autor), respectivamente para o BRT, VLT e Monotrilho.

As capacidades de transporte atendem a faixas próximas, entre 10 e 49 mil passageiros por hora por sentido (Quadro 2). Os três modais dispõem de veículos com capacidades de aceleração e deceleração bem próximas, na faixa de 1,0 m/s² a 1,25 m/s². Esses valores lhes conferem desempenhos bastante semelhantes quanto a tempos de aproximações e partidas em pontos de embarque e desembarque de passageiros. Esse desempenho é importante em análises de desempenhos de marcha, realizadas com

programas de simulação de operação (nota do autor).

Quanto à velocidade média operacional, o BRT e o VLT têm possibilidade de operar com velocidades médias entre 20 e 35 km/h. O Monotrilho atende a uma faixa um pouco superior, com velocidade média operacional entre 25 e 50 km/h (Quadro 2).

Intervalo entre trens (*headway*) e segurança são parâmetros que devem ser avaliados em casos concretos.

Em relação às emissões ambientais, o BRT é questionado por utilizar combustível fóssil, ponto que tem estimulado os fabricantes a desenvolverem motorização para queimar combustíveis renováveis. Já as tecnologias VLT e Monotrilho são elogiadas pela utilização de motores elétricos, porque não emitem poluentes na região em que eles operam. Quanto a este quesito, as emissões que ocorrem na região da fonte geradora de energia elétrica não podem ser negligenciadas (nota do autor). Nos quesitos de ruídos interno e externo ao veículo, o Monotrilho tem melhor desempenho. Tempo de implantação e distúrbios causados nos arredores dos empreendimentos durante o período de implantação são quesitos que favorecem as tecnologias BRT e Monotrilho.

Esta breve caracterização dos modais em análise mostra que há grande quantidade de informações técnicas disponíveis sobre as três alternativas. Algumas como custos de investimentos, capacidade de transporte e velocidades operacionais, podem ser consideradas variáveis objetivas gerais e podem ser quantificadas com facilidade a partir de dados fornecidos por fabricantes e consultores do setor de transportes. Outras precisam ser qualificadas e quantificadas em casos específicos. E, uma terceira categoria, são as variáveis que precisam ser avaliadas subjetivamente. Além do desempenho técnico das alternativas, o tomador de decisão necessita de processos e ferramentas de apoio para estruturar tais informações juntamente com outras do caso concreto. O caso concreto deve considerar as preferências dos agentes de decisão locais, as necessidades específicas do caso como condições de geografia do terreno, topologia da rede de viagens e as prioridades políticas e financeiras.

A pesquisa bibliográfica segue com a análise dos métodos aplicáveis a tomada de decisão em problemas denominados complexos, que envolvem a avaliação de múltiplos critérios, múltiplos agentes de decisão e mais de uma alternativa de solução.

Tecnologia	Monotrilho																		
	VLT																		
	BRT																		
Custo Infra (R\$*10 ⁶ /km)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100	200	300		
Tecnologia	Monotrilho																		
	VLT																		
	BRT																		
Carga (p/h/s*10 ³)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100	200	300		
Tecnologia	Monotrilho																		
	VLT																		
	BRT																		
Vm (km/h)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100	200	300		

Quadro 2 - Quadro comparativo de custo, carga de transporte e velocidade média – BRT, VLT e MNT

Fonte: Elaborado pelo Autor.

3 I APOIO A TOMADA DE DECISÃO EM CENÁRIOS COMPLEXOS

A presença de multiplicidade de critérios, agentes de decisão e alternativas de solução para a resolução de um determinado problema caracteriza um cenário complexo em que uma decisão de escolha deve ser tomada. Há vários métodos disponíveis para auxiliar ou apoiar o tomador ou tomadores de decisão em problemas contextualizados em cenários complexos (GOMES et al, 2004; GOMES, 2014; MACHARIS, 2015; YU, 2011).

3.1 Critérios

Critério é um atributo qualificado com uma informação dada pelo Tomador de Decisão (TD) envolvido em um caso específico. Por exemplo, o atributo de custo pode ser qualificado por um valor determinado ou uma faixa de valores (GOMES et al, 2004).

No caso concreto, os critérios são escolhidos a partir dos eixos de avaliação do TD. A partir desses eixos é possível comparar alternativas. Não há uma fórmula para escolher os critérios. O TD, mais um analista e outros técnicos participantes, no caso específico,

devem trabalhar na escolha, na qual algumas regras básicas devem ser obedecidas: selecionar aqueles que interessam ao TD; não serem redundantes; serem os mínimos necessários e que possam ser, cada um, avaliados independentemente dos outros critérios. Subcritério é uma divisão do critério, feita com o objetivo de se atingir níveis que possam ser quantificados. Critérios e subcritérios são usados em um problema de decisão para análise de alternativas com os propósitos de selecionar a melhor, separar as boas das ruins, ordená-las em nível de preferência e descrevê-las (GOMES et al, 2004).

3.2 Agentes de Decisão

Os agentes envolvidos em um problema de decisão são o TD, analistas e partes interessadas e *stakeholders*. *Stakeholders* são definidos por Freeman (1984; 2017) como sendo qualquer grupo de indivíduos que pode afetar ou ser afetado pela realização dos objetivos de uma organização. Neste trabalho, os *stakeholders* são também denominados de agentes de decisão.

O TD é o indivíduo ou grupo de indivíduos que faz ou fazem o juízo de valor final no momento de avaliar as alternativas viáveis para resolver o problema de decisão. O analista é o indivíduo ou grupo de indivíduos especialistas, que fazem o modelamento do problema e, eventualmente, recomendações ao TD para influenciá-lo em sua decisão final (GOMES et al, 2004).

Em casos concretos, os *stakeholders* podem ser identificados em processos de *brainstorming*, indicação de especialistas, indicação de pessoas de entidades ligadas ao tema em estudo, seleção pelos participantes do caso ou pré-determinação do TD (MORAIS, 2011).

Bryson (2011) descreve um processo com cinco passos e doze técnicas dedicadas à identificação, coleta de dados e análise das informações ou opiniões dos *stakeholders*. O primeiro passo trata do planejamento da avaliação e usa as técnicas de listar os candidatos, analisar os seus perfis e interesses em participarem do programa de avaliação. O segundo trata da forma da participação do candidato e como será a relação entre avaliador e avaliado. O próximo passo trata da coleta de dados; em seguida é feita a análise dos dados coletados e na última fase o entrevistador avalia as recomendações e as incorpora na estratégia do projeto.

Como exemplos de atores candidatos a *stakeholders* em estudos de casos ligados ao tema de transportes, citam-se: o CREA; DETRAN; comunidade acadêmica; empresas de consultoria e fornecedoras de serviços; fabricantes de sistemas e equipamentos; líder da comunidade local; representantes do Ministério dos Transportes; operadores de ônibus; operadores de trens e metrô; políticos; representantes da Secretaria de Transportes; representantes de sindicatos ligados a transportes e usuários (autor, adaptado de MORAIS, 2011).

Há problemas em que as preferências dadas aos critérios são dadas por diferentes classes de agentes que representam o poder público, operadores, usuários, comunidade vizinha do empreendimento, fornecedores de equipamentos e serviços, consultores, comunidade vizinha do empreendimento, fornecedores de equipamentos e serviços, consultores etc. As fontes pesquisadas recomendam que a síntese final de juízo seja feita utilizando-se média geométrica das preferências atribuídas por todas essas classes de agentes (GOMES, 2004).

3.3 Métodos de Apoio à Tomada de Decisão

Os problemas de decisão podem ser classificados em discretos, quando as alternativas para resolução do problema são em número finito e em contínuos, quando elas são em grande número ou tendem a um número infinito (GOMES et al, 2004).

Os métodos de apoio multicritério à decisão (AMD), denominados de Utilidade Multiatributo AHP e Electre são os mais representativos da primeira classe. Os métodos para contextos com grande quantidade de alternativas são basicamente métodos de programação matemática. Os métodos de Utilidade Multiatributo AHP são da escola americana os quais, ao longo do tempo, tiveram mais de uma versão: AHP Clássico; AHP Multiplicativo; AHP B-G; AHP ANP e FUSSY AHP. A escola francesa desenvolveu os métodos discretos das famílias Electre (Elimination Et Choix Traduisant la Réalité) e Prométhée (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations). Os primeiros têm as versões Electre, Electre I, Electre II, Electre III, Electre IV e Electre TRI. E o segundo conjunto tem as versões Prométhée, Prométhée I, Prométhée II e Prométhée V (BALALI, 2014; BARAN, 2014; GOMES et al, 2004; MACHARIS, 2015; SOLTANI, 2015; VELASQUES, 2013; YU, 2011).

Entre os híbridos – um terceiro conjunto – encontram-se os métodos Topsis (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) e o Todim (Tomada de Decisão Interativa Multicritério). Outros métodos são o MART, GP, WCL, OWA, SAW, DEA, DEMATEL, HANP, RBMCA, MAUT (Multiple Attribute Value Theory), Regime, MAMCA (Methodology for multi-stakeholder, multi-criteria analysis), UTA e Fuzzy SET (GOMES et al, 2004; MACHARIS, 2015; SOLTANI, 2015; VELASQUES, 2013).

Embora haja diferentes métodos de apoio multicritério à tomada de decisão, eles têm em comum os passos que devem ser seguidos: definição do problema de decisão; identificação das alternativas viáveis; seleção dos critérios de avaliação; elaboração de uma matriz de decisão que confronta as preferências aos critérios e os desempenhos das alternativas; priorização das alternativas em relação ao atendimento aos critérios e tomada de decisão (TERRADOS, 2010).

Segue uma breve descrição do método AHP Clássico, utilizado neste trabalho como guia para a montagem do modelo utilizado no estudo de caso.

3.4 Método AHP

O método AHP foi inicialmente desenvolvido na década de 1970 para resolver um problema de planejamento de recursos militares. Em seguida, foi usado para estudar alternativas de futuro para o Sudão, avaliando prioridades e um plano de investimento em projetos. As aplicações foram se desenvolvendo nas áreas de energia, estudos de viabilidade de novas tecnologias, compra de carros, escolha de trabalhos, seleção de escolas entre outras (SAATY, 1991).

Ao longo do tempo ele tem sido utilizado como ferramenta para apoio à tomada de decisão em cenários complexos de diferentes campos, como por exemplo em: decisões gerenciais; seleção de processos de engenharia; seleção de processos de manufatura; seleção de produtos (veículos, telecomunicações, informática etc); seleção de estratégias de logística como escolha de alternativas de rotas em sistemas de transportes e seleção de funcionários por equipes de recursos humanos (SAATY, 2008).

No setor de transportes o método AHP tem aplicações que abrangem avaliações de políticas públicas, tecnologias, infraestrutura, escolha de localizações para instalações, alocação de recursos, escolha de modais entre outras. Um estudo mostra que dentre 276 publicações sobre análise multicritério realizadas no setor de transportes (nas categorias de transporte de passageiros, carga, tecnologia e gerais e subcategorias de transporte aéreo, aquático, ferroviário, bicicletas, infraestrutura, logística, tecnologia e outros), 33% delas utilizaram o método AHP (MACHARIS, 2015; YU, 2011; SAATY, 2008).

O conjunto de técnicas do método possibilita ordenar em ordem de prioridade o rol de alternativas candidatas à resolução do problema. Ele pode tratar considerações objetivas e ou subjetivas, informações quantitativas e ou qualitativas e ponderações geradas a partir de avaliações linguísticas e numéricas. A premissa básica é que todas as alternativas candidatas à escolha final devem satisfazer a um conjunto desejável de critérios e o problema de decisão se resume em escolher qual delas satisfaz melhor ao conjunto de critérios. Satisfazer melhor ao conjunto de critérios significa atender melhor às preferências dos múltiplos *stakeholders* envolvidos no processo de escolha e ter melhor desempenho técnico e operacional (MACHARIS, 2015; SAATY, 1991; SAAYY, 2008; YU, 2011).

Arquitetura

A macroestrutura do método de decisão é mostrada na Figura 13. O primeiro bloco da figura representa o problema de decisão e, logo abaixo, seguem dois ramos. No primeiro estão os critérios e subcritérios, as preferências dos agentes de decisão pelos critérios e subcritérios, as matrizes de comparação par a par e os vetores de prioridade de critérios e subcritérios. No segundo ramos estão as alternativas, os desempenhos das

alternativas que são levantadas pelos analistas, as matrizes de comparação par a par e o vetor de prioridades de alternativa. Estes dois ramos se interligam com o processamento dos vetores de prioridades de critérios e de alternativas, resultando no Índice Global de prioridade (IG). É através da análise do IG que o TD decide pela melhor alternativa para resolver o seu problema de decisão.

Para calcular o IG, o método parte da comparação par a par entre as preferências pelos critérios, segue com a comparação par a par entre os desempenhos das alternativas em relação aos mesmos critérios e finaliza com o processamento das duas comparações com um modelo matemático de função de valor linear aditiva que calcula o IG.

Há um conjunto de axiomas que devem ser considerados válidos pelo tomador de decisão, pelos agentes de decisão e analistas e dizem respeito à ordem de preferências entre os critérios e à completude da estrutura hierárquica mostrada na Figura 12 (GOMES et al, 2004; SAATY, 1991, SAATY, 2008).

- Critérios, transitividade da preferência: se a é preferível a b e b é preferível a c , então a é preferível a c ;
- Critérios, transitividade da indiferença: se a é indiferente a b e b é indiferente a c , então a é indiferente a c ;
- Critérios, reciprocidade: se a é x vezes mais preferida do que b , então b é $1/x$ vezes mais preferida do que a ;
- Critérios, independência: os critérios devem ser mutuamente independentes em relação às preferências dos agentes de decisão;
- Critérios, escala de preferências: as preferências dos agentes de decisão são atribuídas com uma escala numérica em que cada nível tem sua importância descrita textualmente;
- Estrutura hierárquica do caso concreto: a estrutura hierárquica (problema, critérios, subcritérios, alternativas) montada em níveis deve ser completa.

Os passos que devem ser seguidos para se chegar à classificação das alternativas em ordem de preferência (SAATY, 2008; SAATY, 1991; SAATY, 2011) são:

- Definir claramente o problema e o objetivo procurado;
- Definir os agentes de decisão;
- Definir os critérios, subcritérios e as alternativas aplicáveis;
- Montar a estrutura hierárquica de decisão (Figura 14);
- Levantar as preferências dos agentes de decisão pelos critérios e subcritérios, junto aos agentes de decisão;
- Levantar as pontuações das alternativas em atendimento aos critérios e subcritérios utilizando especialistas e ou consultando a bibliografia aplicável;

- Calcular os vetores de prioridade dos critérios, subcritérios e alternativas com as matrizes de comparação par a par;
- Avaliar as consistências dos cálculos conforme a técnica do método AHP;
- Determinar a ordem final de preferência das alternativas, relacionando os vetores de prioridades de critérios, subcritérios e alternativas;
- Analisar a sensibilidade da ordem de preferência das alternativas quanto a mudanças nos juízos proferidos pelos agentes decisores. O Expert Choice (Gomes, 2004) é um software disponível para o método AHP (não utilizado nessa pesquisa) que faz análise dinâmica de sensibilidade.

Estrutura hierárquica do modelo de decisão

A Figura 14 mostra a organização hierárquica proposta pelo método AHP. No topo da hierarquia (Nível 1) devem ser colocadas a descrição e objetivo do problema, elencando-se a seguir os critérios (Nível 2) e subcritérios (Nível 3) relevantes. Por fim, são alocadas as alternativas (Nível 4) capazes de resolver o problema. Se necessário, os subcritérios podem ser subdivididos em níveis mais baixos, até que a hierarquia caracterize todos os níveis necessários para resolver o problema.

Matriz de comparação par a par

A comparação par a par dos fatores (critérios, subcritérios e desempenhos das alternativas) de decisão são feitas com as denominadas matrizes de comparação. Devem ser montadas duas classes de matrizes, uma para comparar os critérios e a outra para comparar os desempenhos das alternativas. Em seguida, essas duas classes são combinadas para a obtenção da solução final que lista as alternativas colocando em primeiro lugar aquela que melhor atende ao problema de decisão.

A quantificação da importância relativa entre os critérios relevantes do problema é feita atribuindo-lhes graus de importância conforme a Escala Fundamental de Valores (Tabela 4) desenvolvida por Saaty (1991).

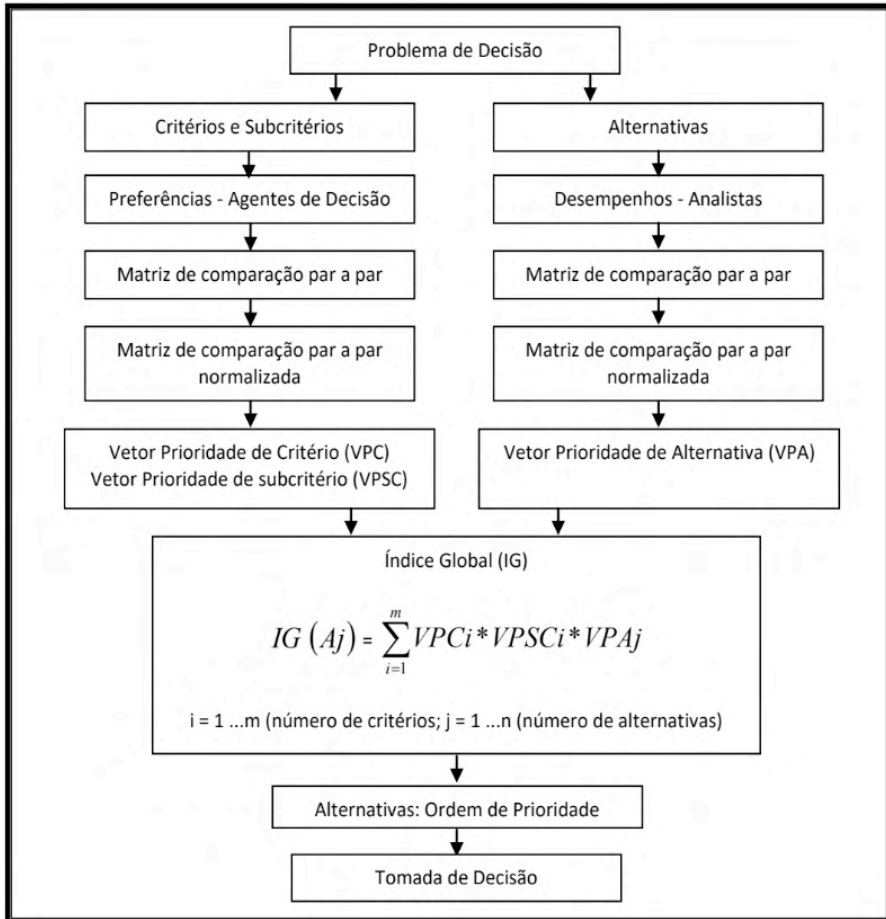


Figura 13 - Macroestrutura do método de decisão AHP

Fonte: Elaborada pelo autor.

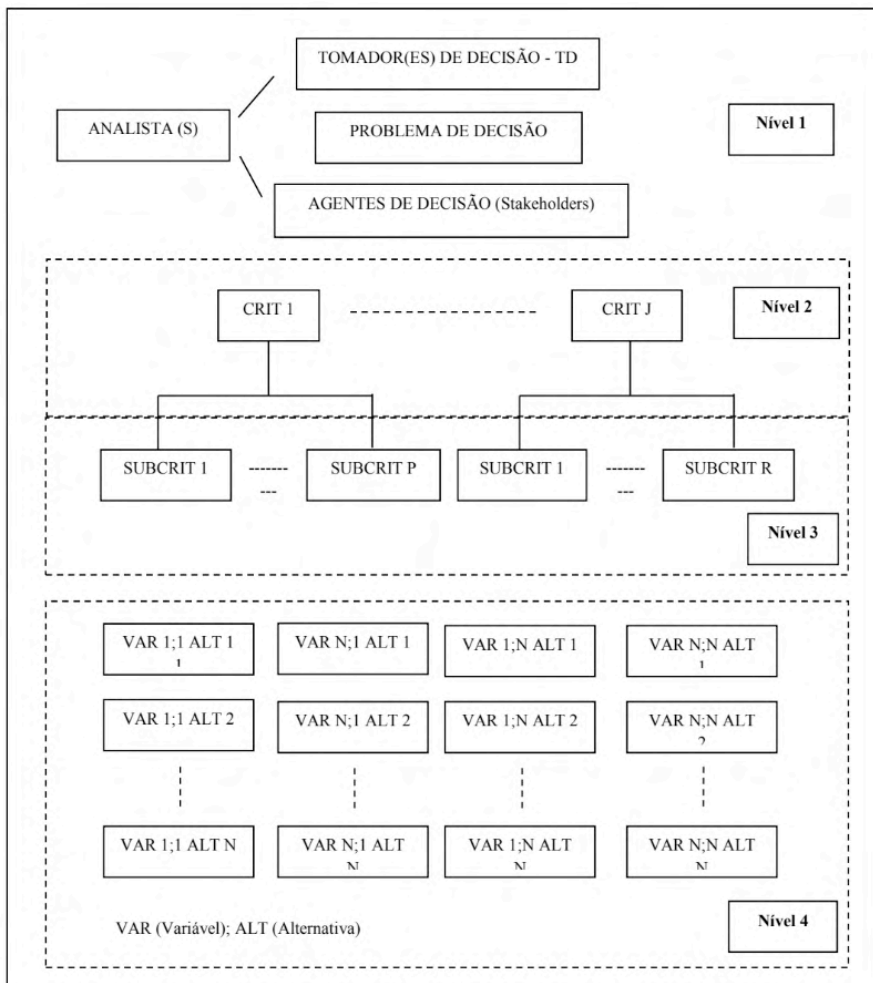


Figura 14 - Estrutura hierárquica do método de decisão AHP

Fonte: Elaborada pelo autor; base em SAATY, 1991.

Escala Fundamental de Valores		
Escala	Intensidade de importância do critério A sobre o B	Intensidade de importância entre do critério B sobre o A (Importância Recíproca)
1	Igual	1/1
2	Fraca ou Pouca	1/2
3	Moderada	1/3
4	Moderada (+)	1/4
5	Forte	1/5
6	Forte (+)	1/6
7	Muito Forte	1/7
8	Muito, Muito Forte	1/8
9	Extrema	1/9

Tabela 4 - Escala Fundamental de Valores

Fonte: SAATY, 1991; dados adaptados pelo autor.

3.5 Método AHP – Exemplo de Aplicação

Segue o exemplo de uma aplicação do método AHP Clássico descrita passo a passo: a comparação par a par dos critérios; o cálculo do Vetor Prioridade de Critérios (VPC); a comparação par a par dos desempenhos das alternativas; cálculo do Vetor Prioridade de Alternativas; a finalização do problema, combinando os dois vetores e listando as alternativas em ordem de pontuação.

O problema consiste em listar as alternativas de modais de transporte urbano coletivo BRT, VLT e Monotrilho (nota do autor: utiliza-se no exemplo a sigla MNT para designar o Monotrilho) em ordem de preferência.

O agente decisor (TD) definiu três critérios de avaliação: custo médio do investimento por km (CK) de via, em R\$/km; intensidade (consumo) energética média dos veículos (IEV), em Mj/p-km e tempo médio de instalação (TI) de 10 km de via, em anos.

A estrutura hierárquica do problema é mostrada na Figura 15.

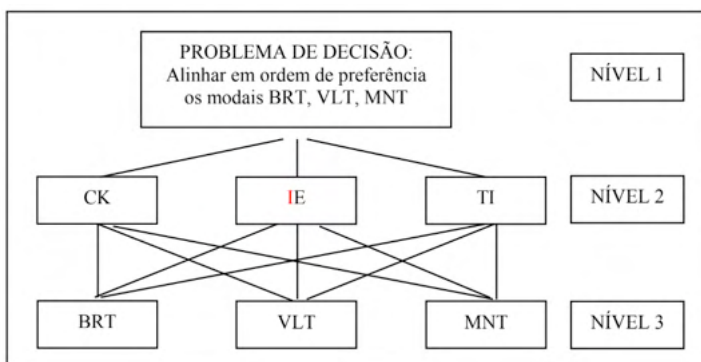


Figura 15 - Estrutura hierárquica do problema de decisão - Exemplo

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os agentes de decisão envolvidos na análise atribuíram suas preferências pelos três critérios usando os índices da Escala Fundamental: CK = 3; IEV = 7; TI = 5.

Comparação par a par das preferências dos agentes de decisão pelos critérios

A Tabela 5 mostra a comparação par a par dos critérios.

CRITÉRIO	CK	IEV	TI
CK	1	1/7	1/5
IEV	7	1	7
TI	5	1/7	1

Tabela 5 - Matriz de comparação par a par dos critérios

Fonte: Elaborada pelo autor.

O próximo passo consiste em se calcular o Vetor de Prioridade de Critério (VPC) que é o vetor (Matriz Coluna) calculado pela média da somatória das linhas da Matriz de Comparação normalizada (Tabela 6). A mesma Tabela mostra também o Vetor de Consistência (VC). Quanto mais próximas são as linhas do VC do grau da matriz – 3, neste caso – maior a consistência atribuída pelos agentes de decisão às preferências pelos critérios.

CRITÉRIO	CK	IEV	TI	VPC	VC
CK	0,0769	0,1111	0,0244	0,0708	3,0408
IEV	0,5385	0,7778	0,8537	0,7233	3,6779
TI	0,3846	0,1111	0,1220	0,2059	3,2214

Tabela 6 - Matriz normalizada de comparação par a par dos critérios

Fonte: Elaborada pelo autor.

O vetor VPC é composto por linhas que têm valores aproximados e é considerado consistente através de um recurso computacional denominado de Razão de Consistência (RC). Dois tipos de inconsistência são considerados pelo Método AHP: um de juízo e outro devido aos critérios e alternativas adotadas. O primeiro ocorre em função das proporcionalidades que o agente de decisão atribui aos critérios. Por exemplo, ele pode atribuir importância fraca ou pouca – 2 – a três critérios de mesmo nível hierárquico porque não consegue discriminar as importâncias existentes entre eles. Em outro exemplo, se foi atribuída a importância 2 a um critério *A* e sobre outro *B*, e 3 a *B* sobre *C*, é de se esperar que *A* tenha sobre *C* a importância 6. No entanto, se o avaliador atribuiu importâncias 4, ou 5, ou 6, ou 7, então há inconsistência na matriz de julgamento. A Razão de Consistência será zero, se não houver inconsistência. Mas a inconsistência é aceitável para valores abaixo do valor crítico de 0,10. Caso RC seja maior do que 0,10 as atribuições de preferência devem ser revistas (GOMES, 2004; MU, 2017; SAATY, 1991).

A Razão de Consistência (RC) é dada pelo coeficiente entre o Índice de Consistência (IC) e o Índice de Consistência Randômico (RI) mostrado na Tabela 7. O IC, por sua vez, é função do número de critérios e de um coeficiente denominado Autovalor Principal (λ_{max}).

O coeficiente λ_{max} é um valor escalar definido pela média das linhas componentes

do Vetor de Consistência - VC). O vetor VC é obtido pela multiplicação do Autovetor da Matriz de Comparação (matriz original, anterior à normalização) com o VPC da Matriz de Comparação normalizada. Neste exemplo, $\lambda_{max} = 3,313$.

Segue a expressão completa que mostra o cálculo da RC (Equação 25):

- Processo AHP – Cálculo da Razão de Consistência (RC).

$$RC = IC / RI = [(\lambda_{max} - n) / (n-1)] / RI \quad (25)$$

n é a ordem da Matriz de Comparação (n= 3 neste exemplo).

O IR (Tabela 7) é um índice randômico calculado por Saaty (1991) para Matrizes de Comparação de ordens entre 1 e 10. Neste exemplo que tem matriz de ordem 3, IR = 0,58.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,46	1,49

Tabela 7 - Processo AHP - Índice Randômico (IR)

Fonte: SAATY, 1991.

O cálculo da RC deste exemplo é feita aplicando-se a Equação 26:

- Processo AHP – Exemplo de Aplicação – Cálculo da RC.

$$RC = [3,13 - 3] / 2 / 0,58 = 0,27 = 0,27 / 100\% = 0,0027\% \quad (26)$$

Portanto, <0,10%, o que indica que o Vetor Prioridade de Critério é consistente.

Outro fato que também afeta a RC é a eventual violação do princípio da transitividade. Caso isso ocorra, a relação de importância entre os critérios deve ser revista (SAATY, 1991).

Comparação par a par dos desempenhos das alternativas

A mesma sequência, feita para os critérios, é repetida na avaliação dos desempenhos relativos das alternativas viáveis para resolver o problema de decisão: montagem da comparação par a par; normalização e cálculo e análise de consistência do vetor de prioridade de alternativas (VPA). Como o problema tem três alternativas, cada uma delas tem que ter os seus desempenhos comparados em relação a cada um dos critérios.

A Tabela 8 mostra os desempenhos das alternativas, levantados em pesquisa pelo analista do problema de decisão (autor) para as variáveis selecionadas para este projeto.

ALTERNATIVA \ DESEMPENHO	CS (R\$/10 ⁶ /km)	1/CS (10 ⁶ /km/R\$)	IEV (MJ/p-km)	1/IEV = EEV (p-km/MJ)	TI (Anos10km)	1/TI (10km/ano)
BRT	25	4,0000	0,270	3,703	1,5	0,6667
VLТ	70	1,4286	0,216	4,629	4,0	0,2500
MNT	85	1,1765	0,190	5,2632	2,0	0,5000

Tabela 8 - Desempenho dos modais BRT, VLT e MNT

Fonte: Elaborada pelo autor.

CS = Custo/ km; Eficiência de Custo = 1/CS; IEV = Intensidade Energética dos Veículos; 1/IEV = EEV = Eficiência Energética dos Veículos; TI = Tempo de Instalação e 1/TI = Eficiência de Instalação.

Cabe ao tomador de decisão fazer a escolha final da alternativa, a seu critério, primando por aquela que tiver menor custo, ou maior eficiência energética, ou menor tempo de instalação. Poderá, fazendo uma análise de sensibilidade, avaliar a inter-relação entre o VPC e os desempenhos das alternativas.

A Matriz de Comparação dos desempenhos de custo das alternativas é mostrada na Tabela 9. E a mesma matriz, normalizada, na Tabela 10. Esta última mostra também os vetores de prioridade de custo (VPCO) e de consistência (VC).

FATOR	EFCS BRT	EFCS VLT	EFCS MNT
EFCS BRT	1,0000	4,0000	4,0000
EFCS VLT	0,2500	1,0000	1,4286
EFCSMNT	0,2500	0,7000	1,0000

Tabela 9 - Matriz de comparação dos desempenhos de custo

Fonte: Elaborada pelo autor.

FATOR	EFCS BRT	EFCS VLT	EFCS MNT	VPECS	VC
EFCS BRT	0,6667	0,7018	0,6222	0,6635	3,0282
EFCS VLT	0,1667	0,1754	0,2222	0,1881	3,0084
EFCS MNT	0,1667	0,1228	0,1556	0,1483	3,0059

Tabela 10 - Matriz de comparação dos desempenhos de custo, normalizada

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência calculada: 0,001%, <0,10%.

A Matriz de Comparação dos desempenhos de eficiência energética dos veículos é mostrada na Tabela 11. E a matriz normalizada na Tabela 12, que mostra também os vetores de prioridade de prioridade de eficiência energética e de consistência (VPEE) e de consistência (VC).

FATOR	EEV BRT	EEV VLT	EEV MNT
EEV BRT	1,0000	0,2160	0,1200
EEV VLT	4,6290	1,0000	0,1900
EEV MNT	8,3330	5,2632	1,0000

Tabela 11 - Matriz de comparação dos desempenhos de eficiência energética dos veículos

Fonte: Elaborada pelo autor.

FATOR	EEV BRT	EEV VLT	EEV MNT	VPEEV	VC
EEV BRT	0,0716	0,0333	0,0916	0,0655	3,0197
FATOR	EEV BRT	EEV VLT	EEV MNT	VPEEV	VC
EEV VLT	0,3315	0,1543	0,1450	0,2103	3,0965
EEV MNT	0,5968	0,8123	0,7634	0,7242	3,2825

Tabela 12 - Matriz de comparação dos desempenhos de eficiência energética dos veículos, normalizada

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência calculada: 0,001%, <0,10%.

A Matriz de Comparação dos desempenhos de tempo de instalação das alternativas é mostrada na Tabela 13. E a matriz normalizada na Tabela 14, com as colunas dos vetores, prioridade de tempo de instalação e de consistência.

FATOR	EFTI BRT	EFTI VLT	EFTI MNT
EFTI BRT	1,0000	6,6670	6,6670
EFTI VLT	0,1500	1,0000	0,2000
EFTI MNT	0,1500	5,0000	1,0000

Tabela 13 - Matriz de comparação dos desempenhos de tempo de instalação

Fonte: Elaborada pelo autor.

FATOR	EFTI BRT	EFTI VLT	EFTI MNT	VPEFTI	VC
EFTI BRT	0,7692	0,5263	0,8475	0,7143	3,6660
EFTI VLT	0,1154	0,0789	0,0254	0,0732	3,0427
EFTI MNT	0,1154	0,3947	0,1271	0,2124	3,2287

Tabela 14 - Matriz de comparação dos desempenhos de tempo de instalação normalizada

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência calculada: 0,003%, <0,10%.

Síntese

Em seguida, faz-se a síntese entre as preferências atribuídas pelos agentes de

decisão (*stakeholders*) aos critérios e as pontuações calculadas para os desempenhos de cada alternativa pelo analista do projeto. Desta síntese resultam o Índice Global (IG) para cada alternativa e, a partir dele, a ordenação das alternativas em ordem de prioridade. O IG é calculado pela somatória das multiplicações entre os vetores de prioridade de critérios – e de subcritérios quando for o caso – e de prioridade de alternativas.

A Equação 27 (SAATY, 1991) mostra a função aditiva que generaliza o cálculo do IG do projeto. Na equação, m é o número de critérios (três neste exemplo) e j o número de alternativas (também três neste exemplo). Os pesos ou preferências dos agentes de decisão pelos critérios são representados pela letra w e o desempenho de cada alternativa por v_j .

- Processo AHP - Cálculo do Índice Global.

$$IG(A_j) = \sum_{i=1}^m w_i(C_i) * v_j(A_j) \quad (27)$$

As Equações 28, 29 e 30 mostram os cálculos dos IG(s) das três alternativas deste caso específico.

- Processo AHP - Índice Global do BRT – Exemplo.

$$IG_{BRT} = 0,0708 \times 0,6635 + 0,7233 \times 0,0655 + 0,2059 \times 0,7143 = 0,2415 \quad (28)$$

- Processo AHP - Índice Global do VLT – Exemplo.

$$IG_{VLT} = 0,0708 \times 0,1881 + 0,7233 \times 0,2103 + 0,2059 \times 0,0732 = 0,1805 \quad (29)$$

- Processo AHP - Índice Global do MNT – Exemplo.

$$IG_{MNT} = 0,0708 \times 0,1483 + 0,7233 \times 0,7242 + 0,2059 \times 0,2124 = 0,5780 \quad (30)$$

Neste exemplo, a ordem de prioridade indica em primeiro lugar o VLT, seguido do MNT e do BRT (Tabela 15; Figura 16).

Os IG(s) calculados mostram a ordem de prioridade dos modais: MNT (1), BRT (2) e VLT (3).

Importâncias (preferências) dadas pelos agentes de decisão aos critérios (VPC)		Modal	Desempenho dos modais em cada critério			IG de cada alternativa	Ordem final de Preferência
			Eficiência Custo: km/R\$	Eficiência Energética: p-km/Mj	Eficiência Tempo Médio e Instalação: 10 km/ano		
Custo	0,0708	BRT	0,6635	0,0655	0,7143	0,2415	2
Eficiência Energética	0,7233	VLT	0,1881	0,2103	0,0732	0,1805	3
Tempo de Instalação	0,2059	MNT	0,1483	0,7242	0,2124	0,5780	1

Tabela 15 - Índice Global e Ordem final de Prioridade de Alternativas - Exemplo

Fonte: Elaborada pelo autor.

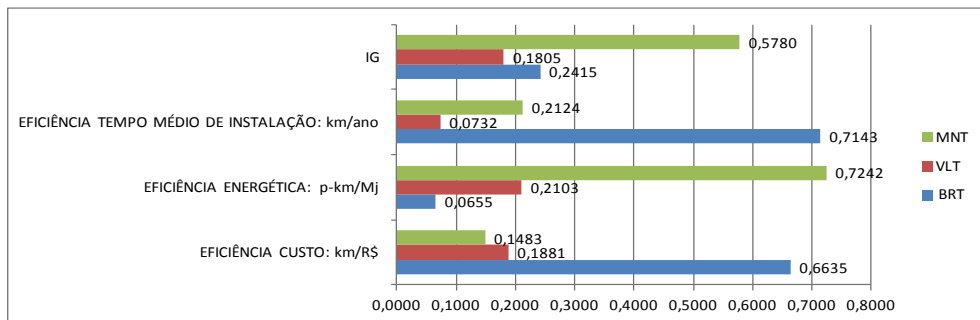


Figura 16 - Índice Global e Ordem final de Preferência de Alternativas - Exemplo

Fonte: Elaborada pelo autor.

Análise de sensibilidade

A Tabela 15 pode servir de base para a realização de análises de sensibilidade, mudando-se as preferências dadas pelos *stakeholders* aos critérios e verificando o que ocorre com a ordem de prioridade das alternativas.

Para exemplificar este tipo de análise, a Tabela 16 e a Figura 17 mostram o que ocorre quando são atribuídas preferências iguais para todos os critérios (Cenário 1). E a Tabela 17 e a Figura 18 mostram o efeito da troca dos pesos entre os critérios de custo e eficiência energética entre o BRT e o VLT (Cenário 2).

Nesses dois cenários a ordem de prioridade muda para BRT (1), MNT (2) e VLT (3). Notar que, no Cenário 2 os IG(s) do VLT e do MNT ficam bem próximos (0,1660 e 0,2023) enquanto que o BRT fica bem acima (0,6317).

Importâncias (preferências) dadas pelos stakeholders aos critérios (VPC)		Modal	Desempenho dos modais em cada critério			IG de cada alternativa	Ordem final de Preferência
			Eficiência Custo: km/R\$	Eficiência Energética: p-km/Mj	Eficiência Tempo Médio e Instalação: 10 km/ano		
Custo	0,3333	BRT	0,6635	0,0655	0,7143	0,4811	1
Eficiência Energética	0,3333	VLT	0,1881	0,2103	0,0732	0,1572	3
Tempo de Instalação	0,3333	MNT	0,1483	0,7242	0,2124	0,3616	2

Tabela 16 - Índice Global e Ordem final de Preferência de Alternativas – Exemplo⁸

Fonte: Elaborada pelo autor.

⁸ Cenário 1 – Todos os critérios com preferências idênticas.

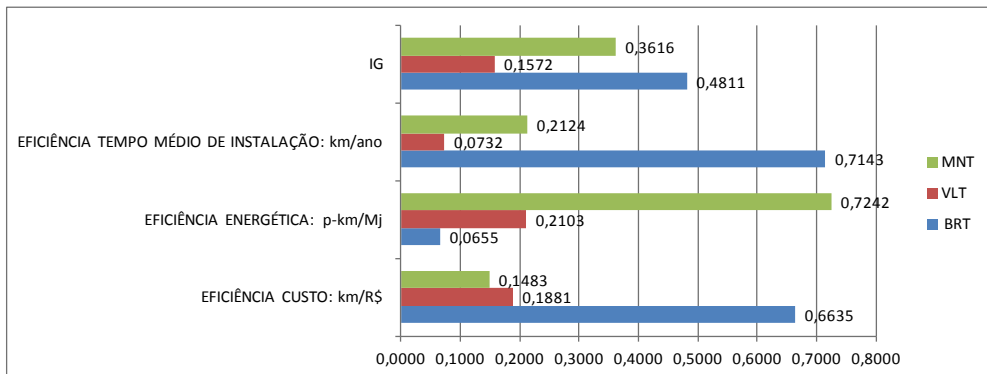


Figura 17 - Índice Global e Ordem final de Preferência de Alternativas – Exemplo⁹

Fonte: Elaborada pelo autor.

Importâncias (preferências) dadas pelos stakeholders aos critérios (VPC)		Modal	Desempenho dos modais em cada critério			IG de cada alternativa	Ordem final de Preferência
			Eficiência Custo: km/R\$	Eficiência Energética: p-km/Mj	Eficiência Tempo Médio de Instalação: km/ano		
Custo	0,7233	BRT	0,0655	0,7143	0,7261	0,6317	1
Eficiência Energética	0,0708	VLT	0,2103	0,0732	0,0551	0,1660	3
Tempo de Instalação	0,2059	MNT	0,7242	0,2124	0,2188	0,2023	2

Tabela 17 - Índice Global e Ordem final de Preferência de Alternativas – Exemplo¹⁰

Fonte: Elaborada pelo autor.

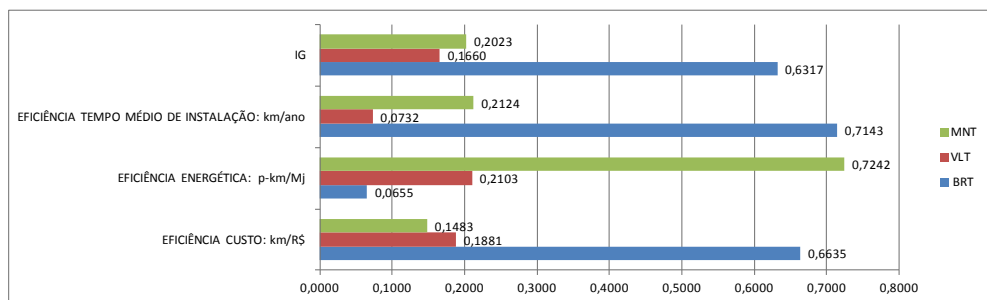


Figura 18 - Índice Global e Ordem final de Preferência de Alternativas – Exemplo

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.6 Aplicações do Método AHP em Transportes Urbanos Coletivos

O método AHP tem aplicações realizadas no setor de transportes em análises de diferentes problemas: avaliação de políticas de transportes; avaliação de tecnologias avançadas; comparação de modais; avaliação de infraestrutura, como por exemplo,

9 Cenário 1 – Todos os critérios com preferências idênticas.

10 Cenário 2 - Critérios de Custo e Eficiência Energética com preferências invertidas.

avaliação de opções de rotas e avaliação de locais para estações intermodais (MACHARIS et al, 2009).

Há muitos exemplos de aplicação do método AHP no setor de transportes urbanos coletivos. Citam-se algumas delas, sem a intenção de esgotá-las, mas com o objetivo de exemplificar tipos de problemas e resultados obtidos com a aplicação do método. O Quadro 3 exemplifica quatro tipos de problemas da área de transportes urbanos coletivos: comparação de desempenho entre modais; comparação de desempenho entre operadores; priorização de ações para melhoria em mobilidade e priorização de rotas.

TÍTULO	PROBLEMA DE DECISÃO	RESULTADO	REFERÊNCIA
Comparativo de desempenho de sistemas de transporte público de média capacidade de transporte via AHP – Estudo BRT x VLT no Rio de Janeiro.	Comparar o desempenho operacional dos sistemas BRT e VLT na linha TransOeste do Rio de Janeiro. Critérios adotados: eficiência energética, qualidade da viagem e custo operacional.	Dentro dos critérios adotados o BRT se sobressaiu ao VLT.	OLIVEIRA, G.T., 2016.
Transporte rodoviário de passageiros: a escolha de alternativas em relação ao custo, tempo de viagem e emissão de CO ₂ .	Priorizar as alternativas: A1 (carro flex - gasolina), A2 (carro flex - etanol), A3 (motocicleta - gasolina) e A4 (ônibus - diesel).	As preferências encontradas, em ordem hierárquica foram: A1, A2, A3, A4.	MANOEL, M.V.; HERNÁNDEZ, C.T., 2014.
Comparison of conventional and modern public transport systems.	Comparar o desempenho do PRT (Personal Rapid Transit) com os de modais tradicionais Metro, LRT, Monotrilho e Tramway (Bonde). Critérios adotados: Requisitos Sociais, Técnicos e Econômicos.	O estudo concluiu que o PRT é comparável aos modais tradicionais porque atende igualmente aos requisitos sociais, técnicos e econômicos.	MORADI, M. et al, 2014.
A multi-criteria decision model for urban mass transit system.	Comparar os desempenhos dos modais BRT e VLT. Foram adotados 13 subcritérios que foram agrupados em 4 grupos (critérios): Benefícios, Oportunidades, Custos e Riscos.	O modelo mostrou preferência pelo BRT, mostrando a prevalência do modal atualmente em operação (em Istambul).	TOPEU, Y.I.; ONAR, S.C., 2011.
The performance analysis of public transport operators in Tunisia using AHP method.	Comparar os desempenhos de diferentes operadores trabalhando em condições similares. Critérios adotados: Custo, Eficiência, Eficácia e Qualidade do Serviço.	O estudo concluiu que o Poder Público deve aportar subsídios ao transporte público dando suporte financeiro para investimentos e custos de operação e manutenção. E os operadores do transporte público devem aumentar a produtividade.	BOUJELBENE, Y.; DERBEL, A., 2015

Multi-Criteria analysis to support mobility management at a university campus.	<p>Identificar a estrutura de preferência por ações que visam melhorar a mobilidade no campus.</p> <p>Critérios do problema: área de estacionamento de automóveis; incentivo a compartilhamento de automóveis; incentivo a circulação de pedestres.</p>	As preferências encontradas, em ordem hierárquica foram: aumentar a área de estacionamento; incentivar compartilhamento de veículos, transporte público e circulação de pedestres.	LONGO, G. et al., 2015.
Public Transportation Decision-Making: A Case Analysis of the Memphis Light Rail Corridor and Route Selection with Analytic Hierarchy Process	<p>Dentre duas rotas possíveis (CA e CB), selecionar a melhor delas para a instalação do VLT. Os critérios selecionados foram: Mobilidade, TOD (Transit Oriented Development) e Custo.</p>	A rota melhor pontuada foi a alternativa CB.	BANAI, R., 2006.

Quadro 3 - Exemplos de aplicação do método AHP no setor de transportes

Fonte: Elaborado pelo autor.

4 | UNIDADE FUNCIONAL

Unidade funcional é um conceito definido no campo de Análise do Ciclo de Vida (ACV). Embora o objetivo desse estudo não seja a realização de uma ACV para avaliar e comparar os impactos ambientais das três alternativas de transporte coletivo em análise, a unidade funcional é aqui empregada para definir a base comum de funcionalidades que os sistemas de produtos BRT, VLT e MON devem atender. A partir dessa base de comum, os três sistemas são arquitetados segundo as suas características próprias e, assim, homogeneizados para que possam ser comparados.

O conceito de unidade funcional é definido nas Normas ABNT NBR ISO 14040/14044 (2009, p. 3) como sendo o desempenho quantificado de um sistema de produto para ser utilização como uma unidade de referência. A norma define produto como qualquer bem ou qualquer serviço. E sistema de produto como um conjunto de processos elementares, com fluxos elementares e de produto, desempenhando uma ou mais funções definidas e que modela o ciclo de vida de um produto. A mesma norma define ainda fluxo elementar como,

“(…) material ou energia retirada do meio ambiente e que entra no sistema em estudo sem sofrer transformação prévia por interferência humana, ou material que é liberado no meio ambiente pelo sistema em estudo sem sofrer transformação subsequente por interferência humana.”

Um exemplo de aplicação do conceito é a avaliação de um sistema que tem como unidade funcional o processo de secagem de 200 mãos. Essa unidade funcional pode ser atendida por um sistema de secagem com papel toalhas ou por um sistema de secagem a ar quente. Os dois sistemas podem ser comparados pela quantificação dos fluxos

elementares de referência dos dois sistemas – quantidade de papel ou de energia. Por exemplo, x kg para o primeiro e consumo de y kWh de energia elétrica para o segundo (CHEHEBE, 2002).

Outro exemplo é o caso da unidade funcional definida por processo de pintura de x m² de parede. Essa unidade funcional pode ser atendida por latas de tinta do fornecedor A e do fornecedor B. Os dois fornecedores poderão ter os desempenhos de suas latas de tinta comparadas em relação aos fluxos de referência das tintas dos dois fornecedores: quantas latas são necessárias de A ou B para a pintura de x m² de parede?

Esses dois exemplos mostram que, em caso de comparações entre sistemas, eles devem ser funcionalmente equivalentes. No caso dos exemplos citados, no primeiro deles ambos os sistemas se prestam a secar mãos. No segundo, ambos de prestam a pintar paredes (Ibidem, 2002).

A unidade funcional pode também ser utilizada como a base para a comparação dos desempenhos em aperfeiçoamento de produtos, antes e após o seu reprojeto (MANZINI, E.; VEZZOLI, C, 2008).

Trazendo esses conceitos para os sistemas de transporte de pessoas, uma possível unidade é o número de passageiros transportados por km. Caso determinado estudo no setor de transportes foque na realização de comparações em todo o espectro de mobilização de pessoas, há de se considerar estudos segmentados para o transporte individual, coletivo, terrestre, ferroviário, aéreo e assim por diante (Ibidem; 2008).

Segundo Tchertchian (2016), a definição de uma unidade funcional é fundamental em estudos de ACV e também é imperativo que as opções de produtos e sistemas, que devem ser analisados, desempenhem as mesmas funcionalidades em casos de comparações. Ele lembra que grandes sistemas são compostos por subsistemas. Quando o sistema é dividido, os subsistemas podem proporcionar maior precisão nos resultados e ou focarem áreas específicas de interesse. Um estudo do autor, que pesquisou trabalhos científicos publicados pelos editores Springer, Taylor & Francis e Elsevier, entre 2003 e 2013, bem como estudos de ACV no setor de transportes relativos à análise de novas tecnologias, especialmente em veículos, indicou que o conceito de unidade funcional que estava quase sempre presente nesses trabalhos foi o de “transporte de pessoas ou de objetos de um ponto A para um ponto B, situados a 1.000 km de distância”. Os trabalhos também notificavam que, no caso de veículos, como eles são sistemas complexos, os estudos devem considerar dividi-los em subsistemas.

Em análises do ciclo de vida em sistemas de transportes, os resultados são calculados normalizando a unidade funcional quase sempre em veículo por milha percorrida no caso de transporte de carga ou em passageiro por milha percorrida em caso de transporte de passageiros. No entanto, a unidade funcional pode ser expressa em qualquer métrica

que a agência de transporte ou o analista considerem relevante. Por exemplo, veículo-milha-unidade de custo, ou tempo de viagem por passageiros, passageiros por unidade de tempo etc. Se a meta do estudo é levantar emissões regionais dos veículos, então um veículo por milha percorrida é adequado. Se a meta for avaliar emissões associadas a características de viagens, então a métrica de passageiro por milha percorrida é mais adequada (CHESTER, 2010).

Dave (2010) utilizou, em seu estudo de avaliação do ciclo de vida em transportes, a unidade funcional de passageiro por milha percorrida porque foi a métrica mais apropriada para fazer uma comparação adequada entre os efeitos das emissões de ônibus e de carros. À primeira vista, os ônibus consomem mais energia do que os carros, mas com alta ocupação de passageiros e dependendo das milhas percorridas, eles são mais eficientes.

A unidade funcional definida em um estudo de avaliação do ciclo de vida realizado em Trondheim, Noruega, foi de um passageiro-km transportado para um cidadão médio em termos de utilização de transporte na área da cidade (BUO, 2015). Essa unidade funcional possibilitou a comparação do desempenho ambiental de diferentes rotas de ônibus, apesar das diferenciações devidas à circulação de diferentes tipos de veículos, cobrindo o serviço ao longo de um ano. Essa unidade funcional possibilitou também a comparação entre os transportes efetuados por ônibus e por carros (Ibidem; 2015).

Dos exemplos acima analisados, conclui-se que a unidade funcional é fundamental para se comparar sistemas que desempenham funcionalidades semelhantes. Ela é estabelecida caso a caso, conforme a característica do estudo. A unidade funcional do problema deve ser descrita de forma clara e detalhada, com elementos que possibilitem mensurar o desempenho do sistema em análise ou os desempenhos dos sistemas em comparação. Uma vez definida, é a partir dela que os critérios de análise podem ser comparados.

A proposta de utilização de unidade funcional neste trabalho tem como premissa definir, a partir desse conceito, a base a ser usada para comparar modais que desempenham ou que possam desempenhar, desde que estabelecidos os limites da funcionalidade. Estabelecida a unidade funcional, o que são comparados são os desempenhos das alternativas viáveis para o caso em relação aos critérios de análise selecionados. Por exemplo, se a unidade funcional é passageiros transportados por unidade tempo e o caso específico define quantos são os passageiros a serem transportados e em quanto tempo, então os sistemas podem ser comparados, por exemplo, com relação aos critérios de custo de cada solução, viabilidade econômica e financeira, eficiência energética qualidade da viagem e impactos ambientais.

A caracterização do conceito de unidade funcional finaliza este resumo bibliográfico. O trabalho segue com a descrição do modelo adotado para a realização do estudo de caso.

MÉTODO

1 | NATUREZA DA PESQUISA

Esta pesquisa tem natureza exploratória, pois se estabeleceram critérios, métodos, pesquisa bibliográfica, pesquisa de campo e entrevistas com agentes envolvidos com o tema da pesquisa, além de estudo de caso (GERHARDT, 2009; YIN, 2014). As pesquisas de campo ocorreram em visitas e reuniões com técnicos dos sistemas BRT Expresso Tiradentes em São Paulo, VLT de Santos e MNT da Linha 15 do Metrô de São Paulo. Tais ações serviram de base para a fixação das hipóteses e a realização do objetivo do trabalho. O estudo de caso utilizou o modelo de apoio à tomada de decisão, mostrado na Figura 19.

2 | MACROESTRUTURA DO MODELO DE APOIO À DECISÃO

O modelo proposto para o apoio à tomada de decisão, na seleção de modais para transportes urbanos coletivos, é composto por quatro módulos fundamentais que caracterizam o conjunto de critérios e subcritérios, as preferências dos *stakeholders*, os desempenhos das alternativas e o módulo matemático que processa os dados de preferências e desempenhos. A Figura 19 mostra a macroestrutura do modelo e as interconexões entre os quatro módulos. O desenho mostra também os blocos nos quais atuam os *stakeholders* (também denominados de Agentes de Decisão), o Analista (ou analistas) e o Tomador (ou grupo) de Decisão (TD); em quais blocos são utilizadas as informações referentes à unidade funcional e aquelas que constam nos Anexos I (Procedimento – Preferências dos Agentes de Decisão), II (Tabelas – Preferências dos Agentes de Decisão) e III (Memorial de Cálculo – Desempenho das Alternativas BRT, VLT e MNT).

A Figura 19 foi construída a partir da seguinte narrativa, um tomador de decisão (ou grupo) TD tem um problema concreto de escolha para o qual há mais de uma alternativa de solução. O TD contrata o apoio de um (ou grupo) especialista (Analista) que tem conhecimento técnico sobre o problema de decisão e sobre as alternativas viáveis, para ajudá-lo a formar uma opinião sobre qual delas seria a melhor para resolver o problema concreto. Um conjunto de critérios (e subcritérios) é montado pelo Analista, discutido com o TD e submetido à apreciação de *stakeholders* para pontuá-los segundo as suas preferências em uma escala de 1 a 9. O Analista estuda as alternativas viáveis e pontua os seus desempenhos na mesma escala e em relação aos mesmos critérios. As pontuações são processadas em um modelo matemático que sintetiza as preferências e os desempenhos em um índice global (IG) para cada alternativa.

Como a narrativa tem natureza geral, o modelo deve ser configurado para tratar casos concretos específicos. O modelo do estudo de caso dessa pesquisa está configurado com um conjunto de critérios e subcritérios que abrange os eixos econômico, social e ambiental da sustentabilidade, as preferências pelos critérios, colhidas em uma pesquisa

de opinião (realizada pelo autor), que obteve 138 amostras na região da cidade de São Paulo, os desempenhos dos três modais em análise, obtidos (pelo autor) na bibliografia consultada e em observações de campo. Os dados quantitativos originários dessa configuração compõem os vetores VPC, VPSC e VPA. Esses três vetores são processados por meio de uma função aditiva, que gera o índice IG para cada alternativa viável. O modelo geral proposto pode ser empregado em estudos de casos específicos que tratam da comparação e seleção de modais para transporte urbano coletivo, observadas as seguintes considerações:

- Conjunto de critérios e subcritérios: o conjunto proposto tem natureza abrangente com relação a estudos de sustentabilidade, mas deve ter sua abrangência avaliada caso a caso;
- Preferências dos Agentes de Decisão: deve ser revisto, se o estudo de caso for realizado fora da região da cidade de São Paulo; fora dessa região, a sugestão é que uma nova pesquisa de opinião seja conduzida;
- Índices de desempenho das alternativas: são específicos das alternativas do caso concreto;
- Módulo matemático do método AHP: todas as matrizes de preferência de critérios e desempenhos de alternativas devem ser configuradas para o caso concreto;
- Unidade Funcional: é específica do estudo de caso.

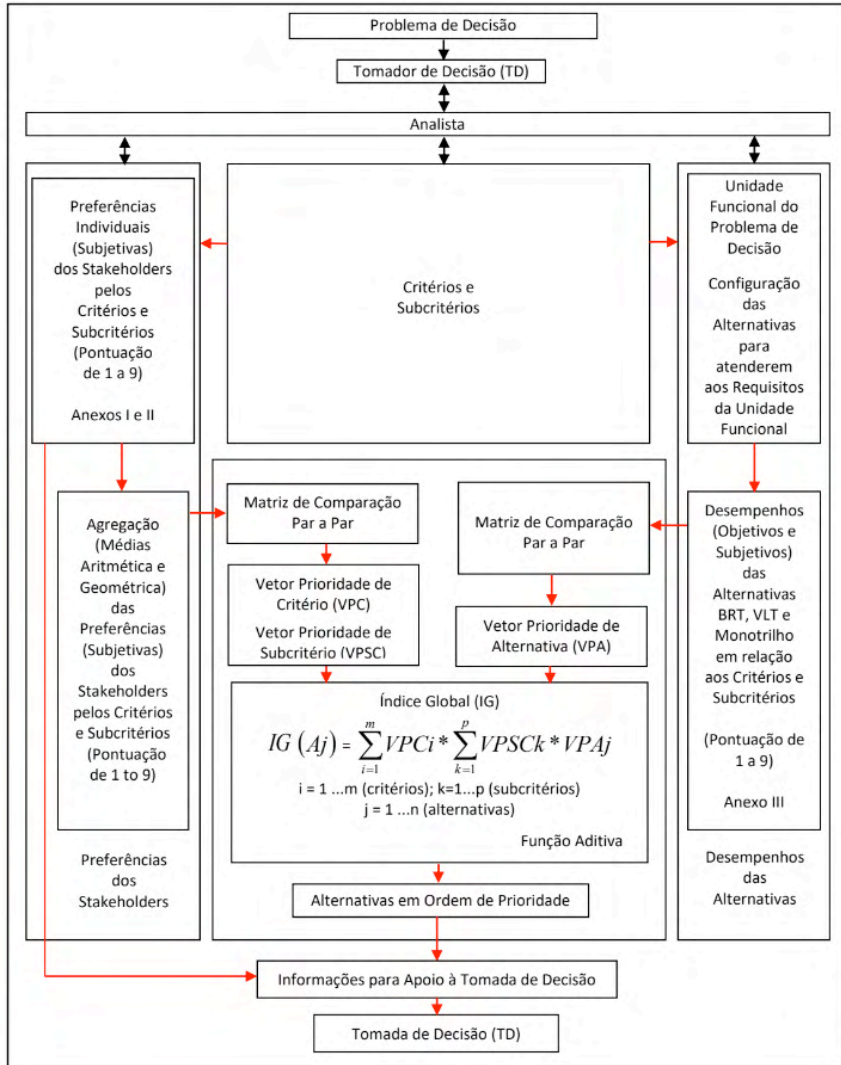


Figura 19 - Macroestrutura do modelo de apoio à tomada de decisão

3 I LEVANTAMENTO DE DADOS DO ESTUDO DE CASO

Seguem-se os dados.

3.1 Preferências dos Agentes de Decisão

As preferências dos agentes de decisão pelos critérios e subcritérios foram obtidas com o uso de um formulário (Anexo I) e encontram-se registradas nos Anexo II.

3.2 Desempenho das Alternativas

Os desempenhos das alternativas foram obtidos nas fontes bibliográficas e nos

endereços eletrônicos indicados nas linhas 2, 3 e 4 do Quadro 1 e registrados no Anexo III. Alguns desempenhos foram estimados em cálculos feitos pelo autor, com base nas informações dos fabricantes dos sistemas e também via informações colhidas em visitas a campo.

4 | ESTUDO DE CASO

O estudo de caso compara os desempenhos dos modais BRT, VLT e MNT quanto ao atendimento aos requisitos operacionais e funcionais do trecho entre as estações de Vila Prudente (VPM) e São Mateus (SMT) da Linha 15 do Metro de São Paulo. O modal em operação corrente nessa Linha é o MNT.

4.1 Procedimento de Execução

O processo de comparação teve duas grandes etapas. Na primeira foi feita a caracterização da unidade funcional. Ela delimita a fronteira do estudo e serve como referência para a montagem da estrutura funcional própria de cada um dos três modais em comparação. Na etapa seguinte foi feita a aplicação do modelo proposto.

4.2 Definição da Unidade Funcional

A unidade funcional definida para o estudo de caso é passageiros transportados por dia no trecho Vila Prudente (VPM) a São Mateus (SMT) da Linha 15 Prata do Metro de São Paulo. Este corredor de transporte foi selecionado por ser bastante adequado para este trabalho. Ele foi inicialmente planejado pelos técnicos da Prefeitura de São Paulo para receber um sistema do tipo BRT e, mais tarde, já na gestão do Metrô de São Paulo, o modal foi redefinido para ser o MNT.

O BRT iria prolongar até Cidade Tiradentes o ramal do Expresso Tiradentes que correntemente interliga o Parque Dom Pedro II ao bairro de Vila Prudente. Parte desse sistema, em operação desde 2007, foi construída com faixa exclusiva em tabuleiro de concreto, elevado, e parte ao nível do viário. O prolongamento até Cidade Tiradentes seria todo em nível com faixas exclusivas.

No entanto, a avaliação feita pelos técnicos do Metrô de São Paulo, quando essa empresa assumiu a execução desse prolongamento, em 2009, indicou que o modal a ser instalado precisaria ser totalmente segregado. Isto para a obtenção de velocidade média mínima acima de 25 km/h, o que exigiria a mitigação de 110 interferências (cruzamentos em nível no sistema viário) existentes entre as estações VPM e SMT do atual sistema Monotrilho. Além dessas 110 interferências, há mais 70 outras entre a estação SMT e a futura estação Hospital Cidade Tiradentes (HCT), trecho que está planejado para complementar a extensão total do corredor. A diretiva do Metro foi então a de planejar o corredor com características diferentes do corredor BRT inicialmente previsto ao nível do

viário.

Além da segregação total, outros critérios que nortearam a escolha pelo MNT foram conforto, regularidade de marcha, confiabilidade, material rodante não poluente, manutenção da integração entre as comunidades da região, boa iluminação solar no viário e conectividade e integração com o sistema de bilhetagem do metrô. A carga máxima de transporte foi estimada em 340 mil passageiros por dia, com pico de carregamento de 33 mil passageiros/hora/sentido entre VPM e SMT. E a carga operacional estimada em 330.000 passageiros/dia com pico de carregamento de 30.000 passageiros/hora/sentido. Após estudos, o sistema escolhido foi o MNT.

A construção do MNT foi planejada para ocorrer em três etapas, com total de 17 estações: o trecho entre as estações VPM e Oratório (ORT) com 2,9 km de extensão; o trecho para interligar ORT a SMT, com 10 km e 7 estações intermediárias e o trecho restante para interligar entre SMT a HCT, com 11,5 km e mais 6 estações (Figura 20).



Figura 20 - Traçado da Linha 15 Prata – Monotrilho do Metro de São Paulo

Fonte: MECCA, 2013

A demanda total de transporte com as três etapas instaladas foi estimada em 550 mil passageiros por dia e as simulações feitas pelo metrô, com modelos matemáticos, indicaram 40 mil passageiros hora/sentido nos horários de pico. A oferta máxima de projeto foi fixada em 48 mil lugares/hora/sentido nos horários de pico. A frota do MNT para atender ao carregamento entre VPM e SMT foi calculada pelo metrô em 27 trens e entre VPM e

HCT em 54 trens. Os trens do MNT são composições formadas com 7 carros que ofertam 1000 lugares com conforto interno de 6 passageiros por m². A velocidade comercial média estimada para a linha é de 35 a 40 km/h por hora e a máxima de 80 km/h. O tempo máximo de espera entre trens (*headway*) nos intervalos de pico é de 90s. O sistema cobre as avenidas Anhaia Melo, Sapopemba e Ragueb Chohfi. Itens como o sombreamento causado pela via de rolamento elevada, área ocupada no sistema viário e grau de interferência na região da obra durante a construção foram também elementos considerados nos estudos do metrô quando da definição do modal MNT (CADES, 2011; CADES, 2011; EPAMINONDAS, 2011; MECA, 2011; MECA, 2013; METRO, 2017).

Não há registros sobre os elementos que levaram à exclusão do modal VLT nas opções do metrô. No entanto, essa opção, como o caso do BRT, poderia ser construída completamente segregada, em concepção elevada para evitar as interferências do tráfego rodoviário assim como em opção semisegregada em nível. Tanto nas opções BRT como VLT, em concepção elevada, esses modais teriam que ter seus veículos trafegando em infraestruturas de rolamento construídas sobre tabuleiros de concreto à semelhança, por exemplo, do elevado Presidente João Goulart (Minhocão), construído sobre a Avenida Francisco Matarazzo ou à semelhança do Expresso Tiradentes (nota do autor).

Considerando-se as informações presentes na bibliografia consultada (BASANI, 2017, EPAMINONDAS, 2011; MECA, 2011; MECA, 2013; METRÔ, 2016; METRÔ, 2017) e colhidas (autor) em reuniões com técnicos da SPTrans (setembro e outubro de 2017), a unidade funcional do estudo de caso desse trabalho tem a seguinte macro definição: trecho de via compreendido entre as estações VPM a SMT do Monotrilho; carregamento máximo de transporte de 340 mil passageiros/dia e 33 mil p/h/s nos intervalos de pico; carregamento operacional de 330.000 passageiros/dia e 30 mil p/h/s nos intervalos de pico; mínima velocidade média operacional acima de 25 km/h; vinte horas de operação diária, 10 horas em regime de pico e 10 horas em vale; possibilidade da utilização de óleo diesel pelo BRT e energia elétrica fornecida pelo Sistema Interligado Nacional (SIN) para VLT e MNT; vida útil de 30 anos; possibilidade de se estudar duas opções relativas à segregação da infraestrutura de faixas de rolamento (para o BRT) e vias (para o VLT e MNT) – uma delas considerando infraestruturas totalmente segregadas e elevadas em relação ao sistema viário para os três modais, e a outra considerando faixas de rolamento exclusivas à esquerda com prioridade semafórica para os modais BRT e VLT e via elevada para o MNT.

Conforme o projeto do metrô, o MNT utiliza 27 trens para o trecho da unidade funcional, com capacidade para 1.000 passageiros cada um e nível de conforto de 6 passageiros por m² (EPAMINONDAS, 2011; MECA, 2011; MECA, 2013). Estes requisitos são básicos para a quantificação do número de veículos dos sistemas BRT e VLT desse trabalho.

Como o objetivo do problema de decisão é comparar os desempenhos operacionais e funcionais dos três modais, os elementos comuns que não afetam o resultado da comparação são excluídos da unidade funcional. São elementos comuns os pátios de estacionamento e manutenção de veículos, o Centro de Controle Operacional, os sistemas de telecomunicações e os denominados sistemas auxiliares (arrecadação de tarifas, escadas rolantes, elevadores, bombas de sucção e ventilação) (nota do autor).

4.3 Aplicação do Modelo de Apoio à Decisão

Problema de decisão

O problema de decisão consiste em se comparar os desempenhos operacionais e funcionais dos modais BRT, VLT e MNT configurados para atenderem à unidade funcional e elencá-los em ordem de prioridade. A prioridade é calculada em função das preferências dos usuários e dos desempenhos das alternativas frente aos critérios e subcritério selecionados.

Critérios

Os critérios do estudo (CS, VEF, EE, QV, IA) foram definidos pelo autor para formar um conjunto abrangente, em alinhamento com os preceitos da mobilidade urbana sustentável. Para tanto, os parâmetros associados aos critérios cobrem os aspectos de eficiência energética e os eixos socioeconômicos e ambientais. As fronteiras que separam esses critérios não são completamente estanques, de forma que há inter-relações entre eles.

O critério Custo do Sistema (CS) tem relação com os eixos econômico e social, no sentido de que sistemas com menores custos podem equipar mais quilômetros de vias e privilegiar um maior número de pessoas.

O critério Viabilidade Econômica e Financeira (VEF) tem afinidades com os eixos econômico e social, pois a viabilidade econômica do empreendimento patrocina empregos diretos e indiretos no setor de transportes, remunera os investidores e pereniza os serviços para os usuários.

Eficiência Energética (EE) é um critério ligado aos eixos econômicos e ambientais porque os sistemas menos energointensivos proporcionam menores custos operacionais e poluem menos.

Qualidade da Viagem (QV) é um critério não somente social, mas é também ligado aos eixos econômicos e ambientais. Economicamente, enquanto gera benefícios para os usuários que migram do transporte individual para o coletivo. Esta migração desempenha um papel importante no eixo ambiental uma vez que a comunidade urbana pode utilizar menos os seus automóveis no dia a dia, ação que contribui para diminuir emissões ao meio ambiente; outra consequência direta da redução do transporte individual é a melhoria na

fluidez do trânsito.

Por fim, o critério Impacto Ambiental, além da afinidade intrínseca com o eixo ambiental, é também ligado ao eixo econômico. Sistemas que causam menores impactos ao meio ambiente reduzem custos em reparações das externalidades negativas dos transportes, como por exemplo, os danos causados à saúde humana e ao meio ambiente.

Esses cinco critérios, à exceção de Eficiência Energética, são decompostos em 22 subcritérios conforme a seguir descritos.

Custo do Sistema (CS)

- Investimento em infraestrutura de via, composta por: via de rolamento; pontos de embarque e desembarque; sistema de distribuição e captação de energia elétrica de tração (CSII). Nesta análise, que tem como problema fazer comparações, não são considerados os elementos comuns às três alternativas;
- Investimento em veículos necessários para atender à demanda da Linha (CSIV);
- Custo da energia para operar os veículos ao longo da vida útil do sistema (CSCE);
- Custo de operação e manutenção dos veículos ao longo da vida útil do sistema (CSOMV);
- Custo de operação e manutenção da infraestrutura de via ao longo da vida útil do sistema (CSOMI);
- Custo para renovação do sistema (infraestrutura de via e veículos) ao longo da vida útil do sistema (CSCR).

Viabilidade Econômica e Financeira (VEF)

- Tempo de Retorno do Investimento (VEFTRI);
- Taxa Interna de Retorno (VEFTIR);
- Valor Presente Líquido (VEFVPL).

Eficiência Energética (EE)

Qualidade da Viagem (QV)

- Segurança: acidente entre os veículos do sistema (QVSVS);
- Segurança: acidente entre os veículos do sistema e os veículos do sistema viário (QVSVV);

- Tempo de viagem (função da velocidade média dos veículos) (QVVM);
- Pontualidade da viagem (função da gestão da operação) (QVPV);
- Acessibilidade universal (QVAU);
- Sistema de Informação aos Passageiros (QVSIP);
- Nível de ruído produzido no ambiente interno ao veículo (QVRI).

Impactos Ambientais (IA)

- Emissão de Gases de Efeito estufa - GEE (CO₂eq) ao longo da vida útil do sistema (emissão veicular) (IAGEE);
- Área do sistema viário ocupada pela infraestrutura de via (IASO);
- Impacto visual estético da infraestrutura de via (IAVE);
- Divisão do sistema viário causado pela infraestrutura de via (IADV);
- Nível de ruído produzido no ambiente externo ao veículo (causado pelo veículo) (IARE);
- Interferência (tempo e logística) no entorno do empreendimento durante a sua implantação (IATI).

Agentes do estudo de caso (Tomador de Decisão, Analista e Agente de Decisão)

O Tomador de Decisão (TD) é um ente hipotético. O Analista é o próprio autor. Foram definidos pelo autor Agentes de Decisão com cinco diferentes perfis. Eles participaram no trabalho como convidados com o objetivo de atribuir os níveis de importância (preferências) aos critérios e subcritérios:

- Operador de transporte urbano (O);
- Usuário (U);
- Vizinho, integrante da comunidade vizinha ao sistema (V);
- Fornecedor de equipamento e ou serviço (F); e
- Consultor e ou pesquisador do setor (C).

Os níveis de importância obedeceram à Escala Fundamental mostrada na Tabela 4.

Estrutura Hierárquica do problema de decisão

A Figura 21 mostra a estrutura hierárquica do problema de decisão com quatro níveis: definição do problema e agentes (Nível 1); definição dos critérios (Nível 2); definição dos subcritérios (Nível 3) e definição das três alternativas selecionadas (Nível 4).

Na sequência do trabalho são aplicados os mesmos passos do exemplo desenvolvido no item 2. 3. 6:

- Levantamento das preferências dos agentes de decisão pelos critérios e sub-critérios: as preferências individuais dos agentes de cada uma das cinco classes foram agregadas via média aritmética e as preferências das cinco classes foram agregadas via média geométrica, como recomendação do método AHP;
- Levantamento das pontuações dos desempenhos de cada alternativa em atendimento aos critérios e subcritérios;
- Cálculo dos vetores de prioridade dos critérios, subcritérios e alternativas, sempre verificando a consistência dos vetores conforme a técnica do método AHP;
- Síntese dos vetores de prioridade e determinação dos Índices Globais IG(s) de cada alternativa;
- Análise dos resultados.

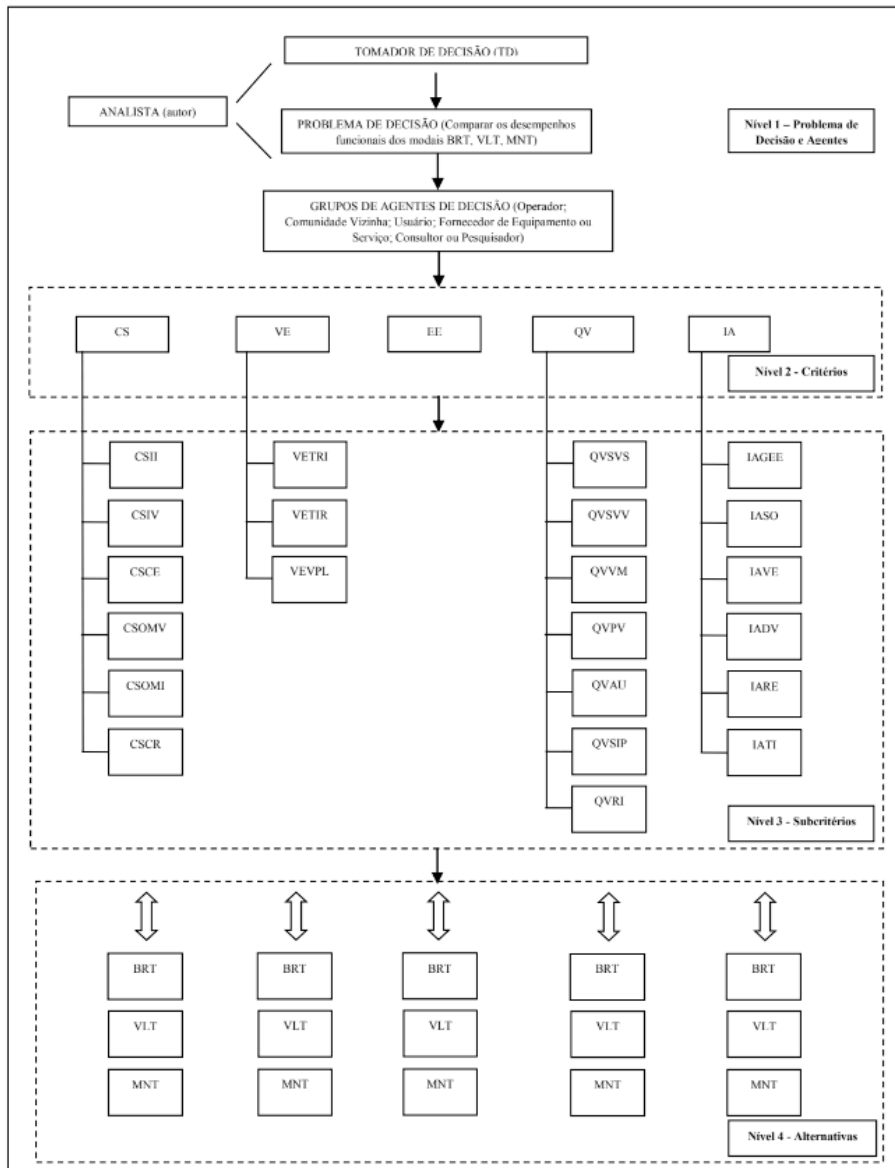


Figura 21 - Estrutura hierárquica do problema de decisão do estudo de caso

RESULTADOS

1 | PREFERÊNCIAS DOS AGENTES DE DECISÃO

As preferências dos agentes de decisão pelos critérios e subcritérios foram obtidas em 138 consultas realizadas via formulários e entrevistas (Quadro 4; Anexo I). O formulário sugeriu ao entrevistado que participasse com mais de um perfil, quando aplicável. Oitenta e cinco deles foram preenchidos em entrevistas diretas e os demais retornados e discutidos para esclarecimentos via correio eletrônico. Em resumo, as respostas obtidas foram:

Perfil do Agente de Decisão	Formulários Recebidos	Entrevistas	Fontes de Informação
Operador	2	8	10
Vizinho	0	22	22
Usuário	26	32	58
Fornecedor de Equipamento / Serviço	15	23	38
Consultor / Pesquisador	10	0	10
Total	53	85	138

Quadro 4 - Preferências dos Agentes de Decisão – Formulários e Entrevistas do Estudo de Caso

Fonte: Elaborado pelo autor.

O processo para identificação, coleta de dados e análise dos dados dos agentes de decisão (*stakeholders*) seguiu basicamente os passos indicados por Bryson (2011).

Primeiramente foram listados os candidatos que poderiam ser convidados, avaliando-se as seguintes condições: disponibilidade e interesse pela pesquisa; facilidade de contato para explicar o formulário de perguntas e marcar entrevistas; pertencerem a um ou mais dos cinco perfis de agentes de interesse do tomador de decisão; capacidade para interpretar e responder ao formulário e ter afinidade técnica ou algum relacionamento com transporte urbano coletivo. Neste caso, as afinidades se relacionaram com transportes coletivos na cidade de São Paulo (Metrô, Monotrilho L15, CPTM, EMTU, SPTRANS), experiências em atuações como operadores, vizinhos, usuários, fornecedores, consultores e pesquisadores da área de transportes urbanos coletivos.

Em seguida tratou-se de informar e combinar com os colaboradores como o formulário seria respondido (via correio eletrônico ou entrevista).

Os passos seguintes consistiram em receber e avaliar as respostas. Por fim, as contribuições recebidas foram formatadas e incorporadas ao trabalho.

A Tabela 18 resume os dados que representam as preferências dos *stakeholders* pelos critérios. Relembrando, essas preferências foram obtidas em entrevistas e respostas

a formulários. Esses dados são a base para a construção do vetor VPC mostrado na Tabela 20.

Critérios - Preferências dos agentes de decisão (O: Operador; V: Vizinho; U: Usuário; F: Fornecedor; C: Consultor)						
Agentes de decisão	O	V	U	F	C	Agregação - Média Geométrica das preferências (valores que são submetidos à comparação par a par)
Formulários de avaliação	10	22	58	38	10	
Critérios	Critérios - Média Aritmética das preferências					
Custo (CS)	7,1800	3,9091	4,3155	6,4342	4,7500	5,1723
Viabilidade Econômica Financeira (VEF)	7,6380	3,7273	4,3716	6,6000	3,4500	4,9031
Eficiência Energética (EE)	8,1750	5,0000	4,4375	6,1000	4,6667	5,5282
Qualidade da Viagem (QV)	6,3980	7,0000	7,6164	5,6237	4,9500	6,2446
Impacto Ambiental (IA)	5,2400	8,0000	5,9241	5,6224	4,6000	5,7749

Tabela 18 - Critérios - Preferências dos Agentes de Decisão – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

As Figuras 22 a 26, elaboradas com os dados da Tabela 18, ilustram como cada critério (o critério é o foco da figura) é avaliado por cada classe de *stakeholder*. Atentar para o fato que os dados mostrados nesta Tabela são anteriores ao processo de comparação par a par e normalizações.

As preferências mostram que o cenário em que o Tomador de Decisão teria que administrar possui: as classes de operadores e fabricantes com prioridades para Eficiência Energética, Viabilidade Econômica e Financeira e Custos; os Usuários, com prioridade para Qualidade da Viagem e os Vizinhos do sistema com prioridade para os impactos ambientais.

A Figura 27 mostra outro cenário, em que as preferências dos *stakeholders* são agregadas via média geométrica. Essa agregação mostra o critério Qualidade da Viagem em primeiro lugar, com quase 50% das preferências, seguida, na ordem, por Impactos Ambientais, Eficiência Energética, Custos e, com menor pontuação, Viabilidade Econômica e Financeira. O vetor VPC é construído com o cenário das preferências agregadas.

A Tabela 19 resume os dados que representam as preferências dos *stakeholders* pelos subcritérios. Esses dados são a base para a construção do Vetor Prioridade de Subcritério (VPSC).

O Anexo II traz todas as tabelas de preferências das classes de *stakeholders* que foram elaboradas para os critérios e subcritérios.

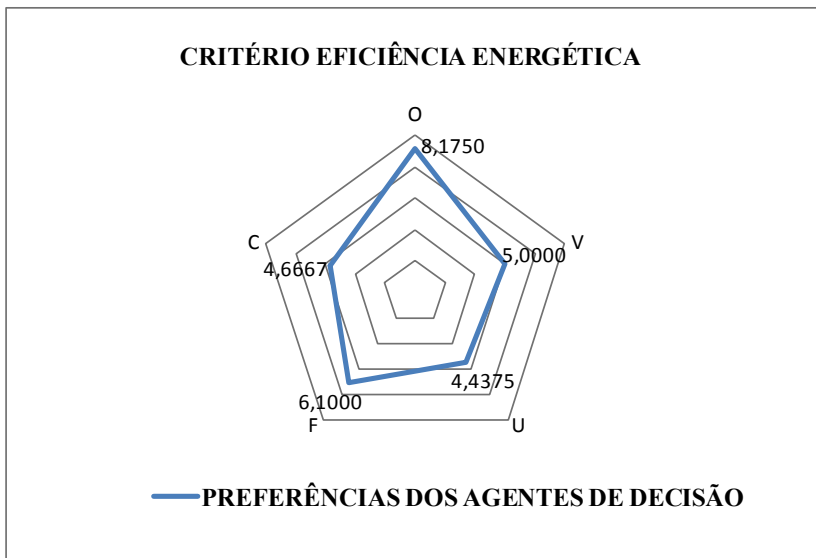


Figura 22 - Eficiência Energética – Preferências

Fonte: Elaborada pelo autor.

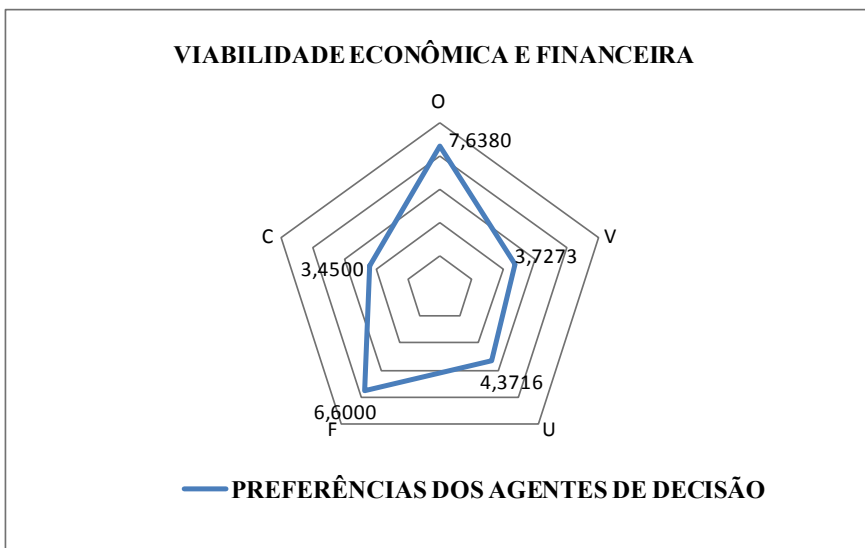


Figura 23 - Viabilidade Econômica e Financeira – Preferências dos Agentes de Decisão

Fonte: Elaborada pelo autor.

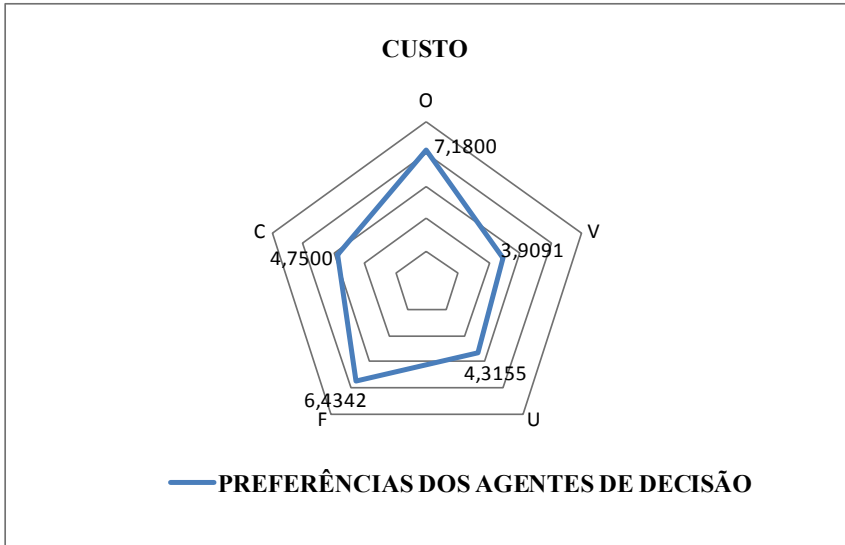


Figura 24 - Custo – Preferências dos Agentes de Decisão

Fonte: Elaborada pelo autor.

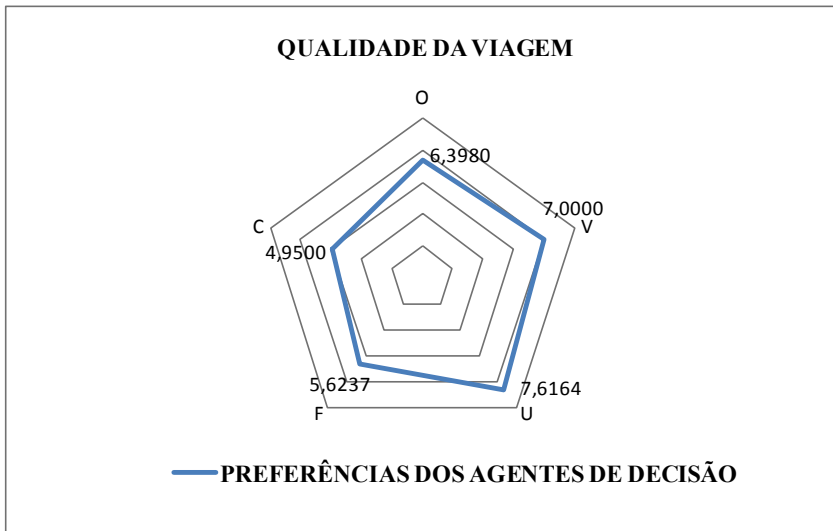


Figura 25 - Qualidade da Viagem - Preferências dos Agentes de Decisão

Fonte: Elaborada pelo autor.

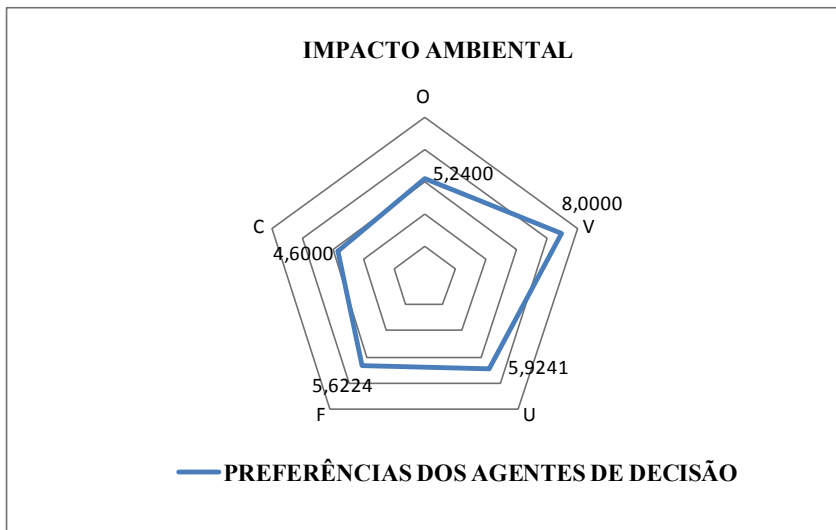


Figura 26 - Impacto Ambiental - Preferências dos Agentes de Decisão

Fonte: Elaborada pelo autor.

Subcritérios - Preferências dos agentes de decisão
(O: Operador; V: Vizinho; U: Usuário; F: Fornecedor; C: Consultor)

Agentes de decisão		O	V	U	F	C	Agregação - Média Geométrica das preferências (valores que são submetidos à comparação par a par)
Formulários de avaliação		10	22	58	38	10	
Critério	Subcritério	Subcritérios - Média Aritmética das preferências					
CS	CSII	7,1700	5,3636	5,3698	6,1039	5,8500	5,9366
	CSIV	6,2250	4,8182	5,4629	6,1513	4,8500	5,4680
	CSCE	7,1800	3,3636	4,3759	5,6776	4,4500	4,8451
	CSOMV	7,0500	3,3636	4,3578	5,7829	4,9250	4,9404
	CSOMI	6,2750	3,1818	3,9388	5,4658	4,1500	4,4696
	CSCR	6,3556	4,0909	4,1238	6,8000	1,8500	4,2266
VEF	VEFTRI	5,2500	3,0909	3,2845	6,1447	4,4000	4,2829
	VEFTIR	6,5556	2,2727	2,8938	6,5833	6,1667	4,4527
	VEFVPL	6,1000	2,1818	2,9298	5,5368	3,4444	3,7521
EE	EE						
QV	QVSVS	7,9100	7,6364	7,9052	8,1816	7,3000	7,7808
	QVSVV	7,6000	7,6364	7,6310	7,9132	7,4000	7,6344
	QVVM	6,8300	5,9091	6,5181	5,9697	4,6500	5,9251
	QVPV	6,9700	6,4545	7,3966	6,6184	6,0750	6,6878
	QVAU	5,4000	5,8182	6,4310	6,0066	4,8250	5,6691
	QVSIP	6,7500	4,9091	6,1147	5,6447	3,5750	5,2762
QVRI	5,2500	5,0909	6,2703	5,8000	4,9500	5,4507	

IA	IAGEE	6,1111	7,9091	6,2789	5,7632	4,9500	6,1303
	IASO	5,2400	6,7273	4,8371	4,3066	3,6750	4,8554
	IAVE	4,6500	6,8182	4,8009	4,5757	3,8500	4,8492
	IADV	5,0000	7,7273	4,7733	5,0842	3,6500	5,0917
	IARE	5,1800	8,2727	5,0862	5,0329	3,3750	5,1724
	IATI	4,2500	7,5455	4,8154	5,1913		5,3210

Tabela 19 - Subcritérios - Preferências dos Agentes de Decisão – Estudo de Caso

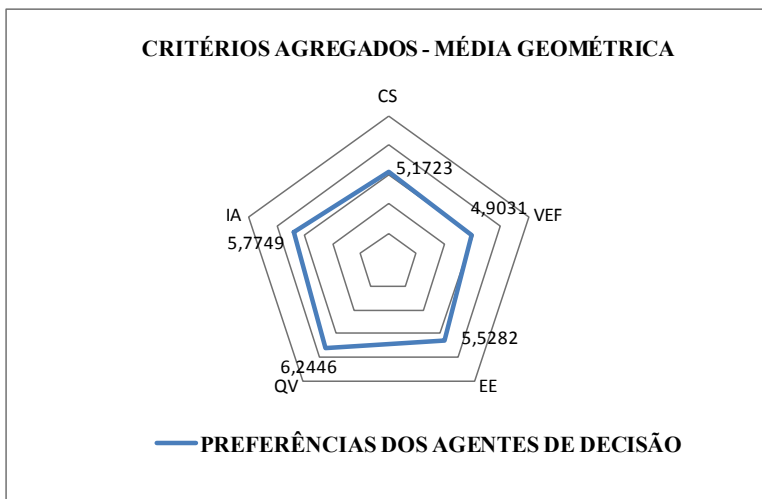


Figura 27 - Critérios Agregados - Preferências dos Agentes de Decisão

Fonte: Elaborada pelo autor.

1.1 Vetores Prioridade de Critério (VPC) e Prioridade de Subcritério (VPSC)

Os vetores VPC e VPSC, este composto pelos vetores VPSCS, VPSVEF, VPCEE, VPSQV e VPSIA, são ambos mostrados na Tabela 20. O procedimento para o cálculo dos vetores VPC e VPSC tem os mesmos passos do exemplo desenvolvido no item 2. 3. 6 – matriz de comparação para par dos critérios e subcritérios, normalização, cálculo dos vetores e verificação de consistência. A diferença entre o exemplo do item 2. 3. 6 e o estudo de caso é que neste há critérios que são decompostos em subcritérios. Em outras palavras, este estudo de caso tem subcritérios associados aos critérios CS (VPSCS), VEF (VPSVEF), QV (VPSQV) e IA (VPSIA). O critério de eficiência energética (EE) não tem subcritério associado.

Importâncias (preferências) dadas pelos agentes de decisão aos critérios (VPC) e subcritérios (VPSC) após a comparação par a par (método AHP)				
Critério	Subcritério	VPC	VPSC	Verificação da decomposição do VPSC
CS	CSII	0,0810	0,4327	1,0000
	CSIV		0,2334	
	CSCE		0,0976	
	CSOMV		0,1454	
	CSOMI		0,0592	
	CSCR		0,0317	
VEF	VEFTRI	0,0372	0,2569	1,0000
	VEFTIR		0,6435	
	VEFVPL		0,0996	
EE	EE	0,1445	1,0000	1,0000
QV	QVSVS	0,4954	0,4079	1,0000
	QVSVV		0,2310	
	QVVM		0,0937	
	QVPV		0,1457	
	QVAU		0,0629	
	QVSIP		0,0198	
	QVRI		0,0390	
IA	IAGEE	0,2419	0,4414	1,0000
	IASO		0,0888	
	IAVE		0,0310	
	IADV		0,0639	
	IARE		0,1501	
	IATI		0,2249	

Tabela 20 - Vetor Prioridade de Critério e Vetor Prioridade de Subcritério – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

As Figuras 28 a 32 ilustram as preferências individualizadas de cada classe de *stakeholders* (pontuadas no centro das Figuras) após a comparação par a par e normalização das pontuações. A Figura 33 mostra a preferência dos *stakeholders* de forma agregada conforme a Tabela 20.

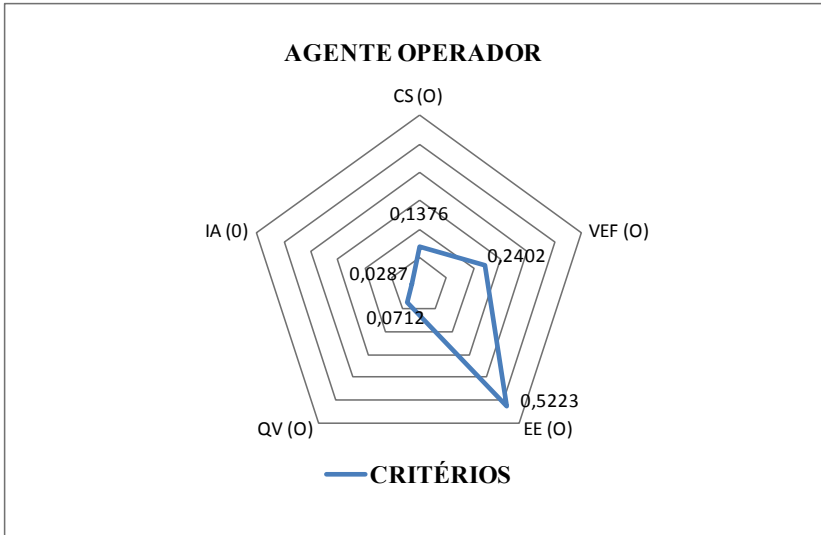


Figura 28 - Operador – Preferência

Fonte: Elaborada pelo autor.

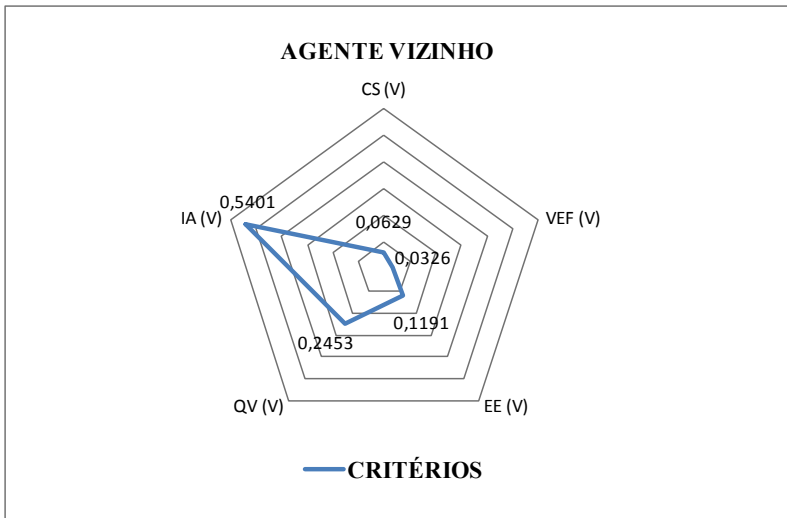


Figura 29 - Vizinho – Preferência

Fonte: Elaborada pelo autor.

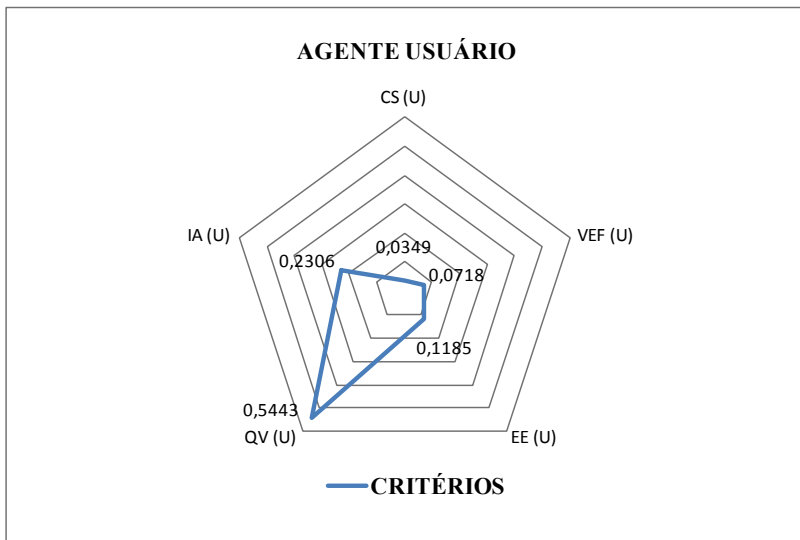


Figura 30 - Usuário – Preferência

Fonte: Elaborada pelo autor.

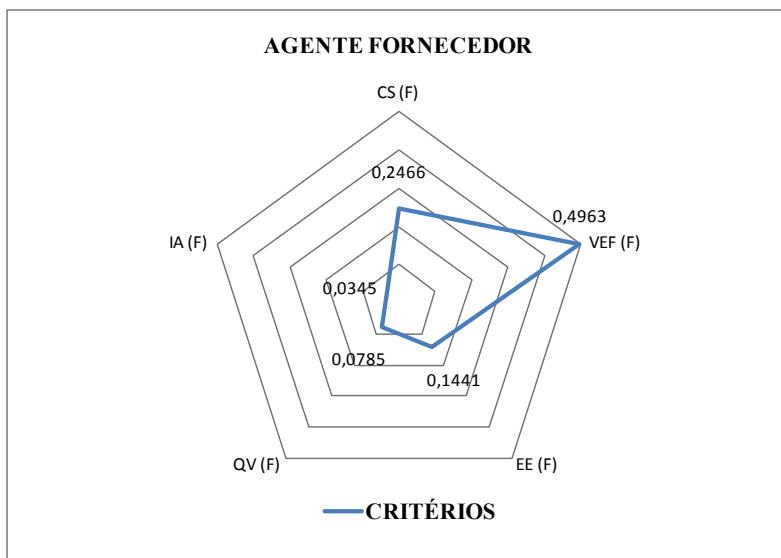


Figura 31 - Fornecedor – Preferência

Fonte: Elaborada pelo autor.

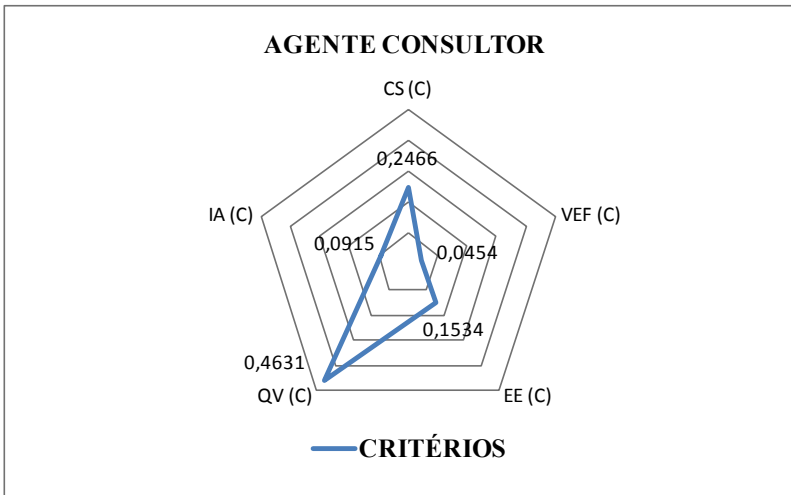


Figura 32 - Consultor – Preferência

Fonte: Elaborada pelo autor.

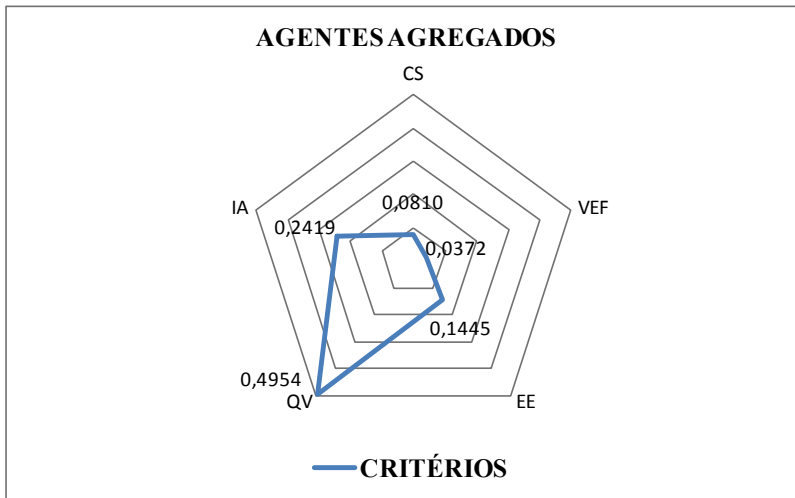


Figura 33 – Agentes agregados – Preferência

Fonte: Elaborada pelo autor.

As preferências individualizadas apontam claramente as prioridades de cada um dos agentes: Operador – Eficiência Energética; Vizinho – Impacto Ambiental; Usuário – Qualidade da Viagem; Fornecedor de Equipamentos e Serviços, Viabilidade Econômica e Financeira do empreendimento e Consultores também têm preferência por Qualidade da Viagem.

As Tabelas 21, 22, 23, 24 e 25 mostram as matrizes de comparação par a par dos critérios e subcritérios já normalizadas e os vetores finais que se encontram nas células

com marcas em azul.

CRITÉRIO	CS	VEF	EE	QV	IA	VPC
CS	0,0534	0,2181	0,0135	0,0976	0,0223	0,0810
VEF	0,0103	0,0422	0,0135	0,0976	0,0223	0,0372
EE	0,2950	0,2331	0,0747	0,0976	0,0223	0,1445
QV	0,3332	0,2633	0,4667	0,6096	0,8043	0,4954
IA	0,3081	0,2435	0,4316	0,0976	0,1288	0,2419

Tabela 21 - Matriz normalizada de comparação par a par dos critérios – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência: 0.0030, menor que 0,10.

SUBCRITÉRIO	CSII	CSIV	CSCE	CSOMV	CSOMI	CSCR	VPSCS
CSII	0,5428	0,7742	0,3350	0,4561	0,2653	0,2230	0,4327
CSIV	0,0914	0,1304	0,3086	0,4201	0,2444	0,2054	0,2334
CSCE	0,0914	0,0238	0,0564	0,0157	0,2165	0,1820	0,0976
CSOMV	0,0914	0,0238	0,2767	0,0768	0,2191	0,1842	0,1454
CSOMI	0,0914	0,0238	0,0116	0,0157	0,0447	0,1679	0,0592
CSCR	0,0914	0,0238	0,0116	0,0157	0,0100	0,0376	0,0317

Tabela 22 - Matriz normalizada de comparação par a par dos subcritérios de custo – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência: 0.0026, menor que 0,10.

SUBCRITÉRIO	VEFTRI	VEFTIR	VEFVPL	VPSVEF
VEFTRI	0,1759	0,1550	0,4399	0,2569
VEFTIR	0,7831	0,6901	0,4574	0,6435
VEFVPL	0,0411	0,1550	0,1027	0,0996

Tabela 23 - Matriz normalizada de comparação par a par dos subcritérios de viabilidade econômica e financeira – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência: 0.0021, menor que 0,10.

SUBCRITÉRIO	QVSVS	QVSVV	QVVM	QVPV	QVAU	QVSIP	QVRI	VPSQV
QVSVS	0,5646	0,8246	0,3269	0,4574	0,2648	0,1938	0,2231	0,4079
QVSVV	0,0726	0,1060	0,3208	0,4488	0,2598	0,1902	0,2189	0,2310
QVVM	0,0726	0,0139	0,0420	0,0085	0,2017	0,1476	0,1699	0,0937
QVPV	0,0726	0,0139	0,2890	0,0588	0,2276	0,1666	0,1917	0,1457
QVAU	0,0726	0,0139	0,0071	0,0088	0,0340	0,1412	0,1625	0,0629
QVSIP	0,0726	0,0139	0,0071	0,0088	0,0060	0,0249	0,0053	0,0198
QVRI	0,0726	0,0139	0,0071	0,0088	0,0060	0,1358	0,0287	0,0390

Tabela 24 - Matriz normalizada de comparação par a par dos subcritérios de qualidade da viagem – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência: 0.0038, menor que 0,10.

SUBCRITÉRIO	IAGEE	1ASO	IAVE	IADV	IARE	IATI	VPSIA
IAGEE	0,5508	0,3430	0,2223	0,2852	0,4702	0,7767	0,4414
1ASO	0,0898	0,0560	0,1761	0,1712	0,0151	0,0245	0,0888
IAVE	0,0898	0,0115	0,0363	0,0087	0,0151	0,0245	0,0310
SUBCRITÉRIO	IAGEE	1ASO	IAVE	IADV	IARE	IATI	VPSIA
IADV	0,0898	0,0152	0,1930	0,0465	0,0148	0,0238	0,0639
IARE	0,0898	0,2849	0,1847	0,2407	0,0767	0,0238	0,1501
IATI	0,0898	0,2894	0,1876	0,2476	0,4081	0,1267	0,2249

Tabela 25 - Matriz normalizada de comparação par a par dos subcritérios de impacto ambiental – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência: 0.0026, menor que 0,10.

Calculados os vetores VPC e VPSC, a próxima etapa do processo trata do cálculo do vetor VPA. Este vetor retrata os desempenhos de cada uma das alternativas com relação a cada um dos critérios e subcritérios.

2 | DESEMPENHOS DAS ALTERNATIVAS (VPA)

O Quadro 5 mostra as possibilidades que podem ser simuladas para a obtenção dos índices globais que serão disponibilizados à apreciação do Tomador de Decisão (TD). Relembrando, o modelo que se utiliza deve ser entendido com sendo uma ferramenta de apoio, que apresenta cenários que auxiliam o TD a tomar a decisão final sobre qual será a melhor alternativa para resolver o seu problema. Neste trabalho, fazem-se simulações

para dois cenários, mostrados nas células em azul no Quadro 5. Elas consideram as preferências dos agentes de decisão agregadas em média geométrica e duas possibilidades de instalação das infraestruturas (Infra: faixas para os ônibus ou vias para o BRT e MNT) – uma em que os três modais são elevados em relação ao sistema viário, e outra em que a Infra do MNT é elevada e os outros dois modais têm suas faixas e vias instaladas em nível com o sistema viário. Essas duas possibilidades de instalação das infraestruturas foram discutidas pelo autor com técnicos da SPTrans, que confirmaram, para efeito de estudos, a viabilidade operacional dessas configurações para sistemas BRT em aplicações com a carga de transporte da unidade funcional do estudo de caso. Essa viabilidade foi entendida como válida também para o VLT, que tem como vantagem em relação ao BRT o fato de que os veículos são mais espaçosos e podem trafegar com unidades acopladas, o que facilita o gerenciamento da frota para que atenda a cargas da ordem de grandeza como a definida pela unidade funcional.

O interesse dessas duas simulações é verificar o que ocorre com os índices globais das alternativas, uma vez que os custos das infraestruturas em nível dos modais BRT e VLT são menores do que a infraestrutura elevada do MNT. Por outro lado, a infraestrutura em nível em faixas exclusivas com prioridade semaforizada irá prejudicar a pontuação dos subcritérios que tratam da segurança dos veículos do viário, velocidade média e ocupação e divisão do sistema viário.

Agentes de Decisão (Stakeholders)	Preferências dos Agentes de Decisão pelos Critérios e Subcritérios (VPC)		Desempenhos das Alternativas		Índice Global (IG)		
	Preferências Individuais	Preferências Agregadas em Média Geométrica	VPA com Infra(s) Elevadas	VPA com o MNT em Infra Elevada, BRT e VLT em Nível	BRT	VLT	MNT
O							
V							
U							
F							
C							

Quadro 5 - Opções para análise de resultados - Estudo de Caso

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.1 VPA - Infraestruturas Elevadas

A Tabela 26 mostra o VPA para cada modal que foi obtido a partir das considerações: infraestruturas elevadas para os três modais; estimativas dos desempenhos de cada

modal em relação aos requisitos da unidade funcional levantados pelo autor em pesquisas bibliográficas e em observações e medições de campo; elaboração das matrizes de comparação par a par, normalizações e verificações de consistências.

Critérios	Subcritérios	VPA - Desempenho dos modais em cada critério e subcritério após a comparação par a par - Infra Elevada			
		BRT	VLТ	MNT	Verificação de consistência na decomposição dos desempenhos individuais
CS	CSII	0,5508	0,1732	0,2761	1,0000
	CSIV	0,8081	0,0610	0,1309	1,0000
	CSCE	0,0630	0,2232	0,7138	1,0000
	CSOMV	0,0829	0,2385	0,6786	1,0000
	CSOMI	0,0912	0,2453	0,6635	1,0000
	CSCR	0,3333	0,3333	0,3333	1,0000
EE	VEFTRI	0,1576	0,1860	0,6564	1,0000
	VEFTIR	0,1670	0,1780	0,6549	1,0000
	VEFVPL	0,0624	0,0854	0,8522	1,0000
EE	EE	0,0695	0,2287	0,7018	1,0000
	QVSVS	0,0529	0,2114	0,7357	1,0000
	QVSVV	0,3333	0,3333	0,3333	1,0000
	QVVM	0,3333	0,3333	0,3333	1,0000
	QVPV	0,0546	0,2004	0,7450	1,0000
	QVAU	0,0909	0,8182	0,0909	1,0000
	QVSIP	0,0546	0,2004	0,7450	1,0000
	QVRI	0,2893	0,3236	0,3872	1,0000
	IAGEE	0,1464	0,2801	0,5735	1,0000
	IASO	0,1988	0,1988	0,6024	1,0000
	IAVE	0,1111	0,1111	0,7778	1,0000
	IADV	0,3333	0,3333	0,3333	1,0000
	IARE	0,2893	0,3236	0,3872	1,0000
	IATI	0,1233	0,2189	0,6578	1,0000

Tabela 26 - Vetor Prioridade de Alternativa (VPA) – Estudo de Caso – Infraestrutura elevada para os três modais

Fonte: Elaborada pelo autor.

Nos itens que se seguem, todas as matrizes de comparação par a par dos desempenhos de cada modal, já normalizadas, e os índices de consistência dos cálculos são mostrados. O Anexo III mostra em detalhes os cálculos e as premissas adotadas para a estimativa dos desempenhos de cada uma das três alternativas com relação a cada um dos subcritérios. Os valores calculados são resumidos na Tabela AIII-4 (Anexo III, p. 279).

2.1.1 Custo - Matriz de Comparação Par a Par

Desempenho - Subcritério Investimento em Infraestrutura de Via (CSII)

Os investimentos (custos) estimados em infraestrutura de via (em US\$ mi/km) são: BRT, 39,00; VLT, 59,00 e MNT, 49,32.

Matriz de comparação e vetor de prioridade do desempenho (1/custo) em CSII

FATOR	CSII BRT	CSII VLT	CSII MNT	VPA CSII
CSII BRT	0,5618	0,4586	0,6320	0,5508
CSII VLT	0,2191	0,1788	0,1216	0,1732
CSII MNT	0,2191	0,3626	0,2465	0,2761

Tabela 27 - Matriz normalizada de comparação par a par dos desempenhos em CSII – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência: 0,00004, menor que 0,10.

Desempenho - Subcritério Investimento em Veículos (CSIV)

Os investimentos (custos em US\$ mi) estimados em veículos são: Frota BRT, 100,2; Frota VLT, 432,0 e Frota MNT, 321,3.

Matriz de comparação e vetor de prioridade do desempenho (1/custo) do subcritério CSIV

FATOR	CSIV BRT	CSIV VLT	CSIV MNT	VPA CSIV
CSIV BRT	0,8331	0,7082	0,8831	0,8081
CSIV VLT	0,0835	0,0710	0,0284	0,0610
CSIV MNT	0,0835	0,2209	0,0885	0,1309

Tabela 28 - Matriz normalizada de comparação par a par dos desempenhos em CSIV- Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência: 0,0013, menor que 0,10.

Desempenho - Subcritério Custo da Energia para operar os veículos ao longo da vida útil do sistema (CSCE)

O custo da energia calculada para a operação dos veículos, ao longo de 30 anos de operação, para cada modal em R\$, são: BRT, 2.382.505.120,00; VLT, 1.470.643.776,00 e MNT, 1.347.192.000,00.

Matriz de comparação e vetor de prioridade do desempenho (1/custo) do subcritério CSCE

FATOR	CSCE BRT	CSCE VLT	CSCE MNT	VPA CSCE
CSCE BRT	0,0657	0,0172	0,1061	0,0630
CSCE VLT	0,4467	0,1167	0,1061	0,2232
CSCE MNT	0,4876	0,8662	0,7877	0,7138

Tabela 29 - Matriz normalizada de comparação par a par dos desempenhos em CSCE – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência: 0,0039, menor que 0,10.

Desempenho - Subcritérios Custo de Operação e Manutenção de Veículos (CSOMV)

Com base na bibliografia consultada, os custos operacionais diários estimados para a operação de cada modal, são de: CSOMV: BRT, 336.600,00; VLT, 199.000,00 e MNT, 180.540,00.

Matriz de comparação e vetor de prioridade do desempenho (1/custo) do subcritério CSOMV

FATOR	CSOMV BRT	CSOMV VLT	CSOMV MNT	VPA CSOMV
CSOMV BRT	0,0865	0,0295	0,1326	0,0829
CSOMV VLT	0,4345	0,1484	0,1326	0,2385
CSOMV MNT	0,4790	0,8221	0,7347	0,6786

Tabela 30 - Matriz normalizada de comparação par a par dos desempenhos em CSOMV – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência: 0,0026, menor que 0,10.

Desempenho - Subcritério Custo de Operação e Manutenção da Infraestrutura de Via (CSOMI)

Com base na bibliografia consultada, os custos operacionais diários estimados para a operação de cada modal, são de: CSOMVI: BRT, 37.400,00; VLT, 22.000,00 e MNT, 20.600,000.

Matriz de comparação e vetor de prioridade do desempenho (1/custo) do subcritério CSOMI

FATOR	CSOMI BRT	CSOMI VLT	CSOMI MNT	VPA CSOMI
CSOMI BRT	0,0950	0,0355	0,1432	0,0912
FATOR	CSOMI BRT	CSOMI VLT	CSOMI MNT	VPA CSOMI
CSOMI VLT	0,4316	0,1612	0,1432	0,2453
CSOMI MNT	0,4734	0,8034	0,7137	0,6635

Tabela 31 - Matriz normalizada de comparação par a par dos desempenhos em CSOMI – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência: 0,0023, menor que 0,10.

Desempenho - Subcritério Custo para renovação do sistema ao longo da vida útil (CSCR)

A pontuação do subcritério CSCR atribuída para cada modal é de: BRT, 0,3333; VLT, 0,3333 e MNT, 0,3333. A lógica para essa atribuição é descrita no Anexo III.

Matriz de comparação e vetor de prioridade do desempenho (1/custo) do subcritério CSCR

FATOR	CSCR BRT	CSCR VLT	CSCR MNT	VPA CSCR
CSCR BRT	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333
CSCR VLT	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333
CSCR MNT	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333

Tabela 32 - Matriz normalizada de comparação par a par dos desempenhos em CSCR – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência: 0,0, menor que 0,10.

2.1.2 Viabilidade Econômica e Financeira – Matriz de Comparação Par a Par

Neste item os sistemas BRT, VLT e MNT são comparados quanto às suas capacidades próprias de gerar caixa, pagar os custos operacionais e remunerar os investimentos dos acionistas a uma taxa de desconto arbitrada. Os subcritérios analisados foram TRI, TIR e VLP. O custo da infraestrutura por onde trafegam os veículos não são considerados nessa análise, porque são muito elevados para serem financiados pelos resultados operacionais do projeto.

Desempenho - Subcritério Tempo de Retorno do Investimento (VEFTRI)

Os valores calculados foram: para o BRT (VEFTRI BRT) – 9,8 anos; para o VLT (VEFTRI VLT) – 7,8 anos e para o MNT (VEFTRI MNT) – 2,6 anos.

Matriz de comparação e vetor de prioridade do desempenho (1/TRI) do subcritério VEF

FATOR	VEFTRI BRT	VEFTRI VLT	VEFTRI MNT	VPA VEFTRI
VEFTRI BRT	0,1632	0,1386	0,1711	0,1576
VEFTRI VLT	0,2092	0,1777	0,1711	0,1860
VEFTRI MNT	0,6276	0,6836	0,6579	0,6564

Tabela 33 - Matriz normalizada de comparação par a par dos desempenhos em VEFTRI – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência: 5,9 E-5, menor que 0,10.

Desempenho - Subcritério Taxa Interna de Retorno (VEFTIR)

Os valores calculados foram: para o BRT (VEFTIR BRT) – 7,0 %; para o VLT (VEFTIR VLT) – 11,0 % e para o MNT (VEFTIR MNT) – 38,0 %.

Matriz de comparação e vetor de prioridade do desempenho (TIR) do subcritério VEF

FATOR	VEFTIR BRT	VEFTIR VLT	VEFTIR MNT	VPA VEFTIR
VEFTIR BRT	0,1695	0,1592	0,1724	0,1670
VEFTIR VLT	0,1864	0,1752	0,1724	0,1780
FATOR	VEFTIR BRT	VEFTIR VLT	VEFTIR MNT	VPA VEFTIR
VEFTIR MNT	0,6441	0,6656	0,6552	0,6549

Tabela 34 - Matriz normalizada de comparação par a par dos desempenhos em VEFTIR – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência: 8,7 E-6, menor que 0,10.

Desempenho - Subcritério Valor Presente Líquido (VEFVPL)

Os valores calculados em US\$ mi foram: BRT (VEFVPL BRT) – 14,2; VLT (VEFVPL VLT) – 1.600,0 e MNT (VEFVPL MNT) – 11.900,00.

Matriz de comparação e vetor de prioridade do desempenho (VPL) do subcritério VEF

FATOR	VEFVPL BRT	VEFVPL VLT	VEFVPL MNT	VPA VEFVPL
VEFVPL BRT	0,0690	0,0462	0,0719	0,0624
VEFVPL VLT	0,1103	0,0739	0,0719	0,0854
VEFVPL MNT	0,8207	0,8799	0,8561	0,8522

Tabela 35 - Matriz normalizada de comparação par a par dos desempenhos em VEFVPL – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor

Razão de Consistência: 2,1 E-3, menor que 0,10.

2.1.3 Eficiência Energética – Matriz de Comparação Par a Par

A métrica empregada para avaliação da Eficiência Energética é 1/Intensidade Energética. A intensidade energética é a quantidade de energia (Tj) utilizada pelo sistema durante toda a operação na unidade funcional.

Desempenho – Eficiência Energética (EE)

Este critério não tem subcritérios associados. Os montantes de intensidade de energia calculados conforme a descrição no Anexo III são de: BRT – 27,07 Tj; VLT – 16,34 Tj e MNT – 14,97 Tj.

Matriz de comparação e vetor de prioridade do desempenho do critério EE

FATOR	EE BRT	EE VLT	EE MNT	VPA EE
EE BRT	0,0725	0,0208	0,1152	0,0695
EE VLT	0,4435	0,1275	0,1152	0,2287
EE MNT	0,4841	0,8517	0,7696	0,7018

Tabela 36 - Matriz normalizada de comparação par a par dos desempenhos em EE – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência: 0,0034, menor que 0,10.

2.1.4 Qualidade da Viagem – Matriz de Comparação par a par

Desempenho - Subcritério Segurança entre os veículos do sistema (QSVS)

Neste subcritério cada um dos três modais recebe uma pontuação subjetiva

(autor), entre 1,0 e 10,0 de acordo com o cenário em que cada um deles opera na unidade funcional, com relação às modalidades completamente manual, manual supervisionada e completamente automática. As pontuações atribuídas são: BRT – 7,0; VLT – 8,0 e MNT – 9,0. O Anexo III traz mais informações sobre a atribuição desses valores.

Matriz de comparação e vetor de prioridade do desempenho do subcritério (QVSVS)

FATOR	QV QVSVS BRT	QV QVSVS VLT	QV QVSVS MNT	VPA QVSVS
QV QVSVS BRT	0,0556	0,0123	0,0909	0,0529
QV QVSVS VLT	0,4444	0,0988	0,0909	0,2114
QV QVSVS MNT	0,5000	0,8889	0,8182	0,7357

Tabela 37 - Matriz normalizada de comparação par a par dos desempenhos em QVSVS – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência: 0,0004, menor que 0,10.

Desempenho - Subcritério Segurança entre os veículos do sistema e do sistema viário (QVSVV)

Neste subcritério os três modais recebem igual pontuação (nível 10,0), porque a Unidade Funcional define que os três devem operar, em via elevada, segregada do trafego rodoviário.

Matriz de comparação e vetor de prioridade do desempenho do subcritério (QVSVV)

FATOR	QV QVSVV BRT	QV QVSVV VLT	QV QVSVV MNT	VPA QVSVV
QV QVSVV BRT	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333
QV QVSVV VLT	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333
QV QVSVV MNT	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333

Tabela 38 - Matriz normalizada de comparação par a par dos desempenhos em QVSVV – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência: 0,00, menor que 0,10.

Desempenho - Subcritério Velocidade Média dos veículos (QVM)

A unidade funcional tem como requisito a velocidade operacional mínimas de 35 km/h. A bibliografia consultada informa que os três modais podem atender a esse requisito, desde

que os projetos tenham características adequadas em infraestrutura e funcionalidades. Com essa argumentação, atribui-se a mesma pontuação (10,0) para os três modais. O Anexo III descreve algumas estratégias operacionais que podem ser adotadas visando o atendimento da velocidade requisitada pela unidade funcional.

Matriz de comparação e vetor de prioridade do desempenho do subcritério (QVVM)

FATOR	QV QVVM BRT	QV QVVM VLT	QV QVVM MNT	VPA QVVM
QV QVVM BRT	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333
QV QVVM VLT	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333
QV QVVM MNT	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333

Tabela 39 - Matriz normalizada de comparação par a par dos desempenhos em QVVM – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência: 0,00, menor que 0,10.

Desempenho - Subcritério Pontualidade da Viagem (QVPV)

Neste subcritério cada um dos modais recebeu uma pontuação em uma escala entre 1 e 10, conforme o nível do sistema de monitoração e controle de marcha disponível.

Cada modal foi pontuado, subjetivamente (autor), em uma escala de 1 a 10, em: BRT – 5,0; VLT – 7,0 e MNT – 9,0. O Anexo III traz mais informações sobre a atribuição desses valores.

Matriz de comparação e vetor de prioridade do desempenho do subcritério (QVPV)

FATOR	QV QVPV BRT	QV QVPV VLT	QV QVPV MNT	VPA QVPV
QV QVPV BRT	0,0588	0,0141	0,0909	0,0546
QV QVPV VLT	0,4118	0,0986	0,0909	0,2004
QV QVPV MNT	0,5294	0,8873	0,8182	0,7450

Tabela 40 - Matriz normalizada de comparação par a par dos desempenhos em QVPV – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência: 0,0019, menor que 0,10.

Desempenho - Subcritério Acessibilidade Universal (QVAU)

Neste subcritério cada dos modais recebeu uma pontuação em uma escala entre 1

e 10, conforme o nível do sistema de monitoração e controle de marcha disponível.

Cada modal foi pontuado, subjetivamente (autor), em uma escala de 1 a 10, em: BRT – 7,0; VLT – 9,0 e MNT – 7,0. O Anexo III traz mais informações sobre a atribuição desses valores.

Matriz de comparação e vetor de prioridade do desempenho do subcritério (QVAU)

FATOR	QV QVAU BRT	QV QVAU VLT	QV QVAU MNT	VPA QVAU
QV QVAU BRT	0,0909	0,0909	0,0909	0,0909
QV QVAU VLT	0,8182	0,8182	0,8182	0,8182
QV QVAU MNT	0,0909	0,0909	0,0909	0,0909

Tabela 41 - Matriz normalizada de comparação par a par dos desempenhos em QVAU – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência: 0,00, menor que 0,10.

Desempenho - Subcritério Sistema de Informação aos Passageiros (QVSIP)

Neste subcritério cada um dos modais recebeu uma pontuação em uma escala entre 1 e 10, conforme o nível do sistema de monitoração e controle de marcha disponível.

Cada modal foi pontuado, subjetivamente (autor), em uma escala de 1 a 10, em: BRT – 6,0; VLT – 7,0 e MNT – 9,0. O Anexo III traz mais informações sobre a atribuição desses valores.

Matriz de comparação e vetor de prioridade do desempenho do subcritério (QVSIP)

FATOR	QV QVSIP BRT	QV QVSIP VLT	QV QVSIP MNT	VPA QVSIP
QV QVSIP BRT	0,0588	0,0141	0,0909	0,0546
QV QVSIP VLT	0,4118	0,0986	0,0909	0,2004
QV QVSIP MNT	0,5294	0,8873	0,8182	0,7450

Tabela 42 - Matriz normalizada de comparação par a par dos desempenhos em QVSIP – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência: 0,0004, menor que 0,10.

Desempenho - Subcritério Nível de Ruído Interno ao Veículo (QVRI)

Os valores considerados neste subcritério são de: BRT – 86,5 db(A); VLT – 84,5

db(A) e MNT – 79,0 dbA. O Anexo III traz informações sobre a obtenção desses índices.

Matriz de comparação e vetor de prioridade do desempenho do subcritério (QVRI)

FATOR	QV QVRI BRT	QV QVRI VLT	QV QVRI MNT	VPA QVRI
QV QVRI BRT	1,0000	0,8450	0,7900	0,2893
QV QVRI VLT	1,1834	1,0000	0,7900	0,3236
QV QVRI MNT	1,2658	1,2658	1,0000	0,3872

Tabela 43 - Matriz normalizada de comparação par a par dos desempenhos em QVRI – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência: 2,71 E-05, menor que 0,10.

2.1.5 Impacto Ambiental – Matriz de Comparação Par a Par

Desempenho - Subcritério Emissão de Gases de Efeito Estufa – (IAGEE)

A avaliação deste subcritério, emissão de GEE pelos veículos, adota como indicador a quantidade de gás CO₂ (CO₂eq) que é lançada na atmosfera na região da via de rolamento dos veículos e também de forma global, fora da via de rolamento. As emissões estimadas (autor) para os modais são: BRT – 2.294.421 tCO₂eq; VLT – 370.838 tCO₂eq e MNT – 339.709 tCO₂eq. Ver o memorial de cálculo dessas emissões no Anexo III.

Matriz de comparação e vetor de prioridade do desempenho do subcritério (IAGEE)

FATOR	IA GEE BRT	IA GEE VLT	IA GEE MNT	VPA IAGEE
IA GEE BRT	0,1507	0,0860	0,2024	0,1464
FATOR	IA GEE BRT	IA GEE VLT	IA GEE MNT	VPA IAGEE
IA GEE VLT	0,4061	0,2319	0,2024	0,2801
IA GEE MNT	0,4432	0,6821	0,5952	0,5735

Tabela 44 - Matriz normalizada de comparação par a par dos desempenhos em IA GEE – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência: 9,5 E-05, menor que 0,10.

Desempenho - Subcritério área do sistema viário ocupada pela infraestrutura de via (IASO)

As pontuações atribuídas para cada modal são de: BRT – 7,94 m; VLT – 7,94 m e MNT – 3,3 m. Ver argumentação quanto a esses valores no Anexo III.

Matriz de comparação e vetor de prioridade do desempenho do subcritério (IASO)

FATOR	IA SO BRT	IA SO VLT	IA SO MNT	VPA IASO
IA SO BRT	0,1988	0,1988	0,1988	0,1988
IA SO VLT	0,1988	0,1988	0,1988	0,1988
IA SO MNT	0,6024	0,6024	0,6024	0,6024

Tabela 45 - Matriz normalizada de comparação par a par dos desempenhos em IASO – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência: 0,0, menor que 0,10.

Desempenho - Subcritério impacto visual estético da infraestrutura de via (IAVE)

As pontuações deste subcritério foram atribuídas em uma escala de 1,0 a 10, subjetivamente (autor), em função das características construtivas da infraestrutura de via de cada modal: BRT – 5,0; VLT – 5,0 e MNT – 7,0. Ver argumentação quanto a estes valores no Anexo III.

Matriz de comparação e vetor de prioridade do desempenho do subcritério (IAVE)

FATOR	IA VE BRT	IA VE VLT	IA VE MNT	VPA IAVE
IA VE BRT	0,1111	0,1111	0,1111	0,1111
IA VE VLT	0,1111	0,1111	0,1111	0,1111
IA VE MNT	0,7778	0,7778	0,7778	0,7778

Tabela 46 - Matriz normalizada de comparação par a par dos desempenhos em IAVE – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência: 1,4 E-04, menor que 0,10.

Desempenho - Subcritério divisão do sistema viário causado pela infraestrutura de via (IADV)

Neste subcritério os três modais recebem igual pontuação (nível 10), pois a unidade funcional define que os três devem operar em via elevada, segregada do tráfego rodoviário.

Matriz de comparação e vetor de prioridade do desempenho do subcritério (IADV)

FATOR	IA DV BRT	IA DV VLT	IA DV MNT	VPA IADV
IA DV BRT	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333
IA DV VLT	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333
IA DV MNT	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333

Tabela 47 - Matriz normalizada de comparação par a par dos desempenhos em IADV – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência: 0,0, menor que 0,10.

Desempenho - Subcritério nível de ruído produzido no ambiente externo ao veículo (IARE)

Os valores atribuídos para os três modais são de: BRT – 88,5 db(A); VLT – 84,5 db(A) e MNT – 79,0 db(A). Ver o Anexo III para informações sobre a obtenção desses índices.

Matriz de comparação e vetor de prioridade do desempenho do subcritério (IARE)

FATOR	IA RE BRT	IA RE VLT	IA RE MNT	VPA IARE
IA RE BRT	1,0000	0,8450	0,7900	0,2893
IA RE VLT	1,1834	1,0000	0,7900	0,3236
IA RE MNT	1,2658	1,2658	1,0000	0,3872

Tabela 48 - Matriz normalizada de comparação par a par dos desempenhos em IARE – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência: 2,71 E-05, menor que 0,10.

Desempenho - Subcritério Interferência (tempo e logística) no entorno do empreendimento durante a instalação do sistema (IATI)

A avaliação deste subcritério adota como indicador o tempo para instalação da

infraestrutura de via conforme definida na unidade funcional. Os tempos são estimados em meses: BRT, 36 meses; VLT, 42 meses e MNT, 24 meses. Os argumentos que indicaram esses tempos encontram-se no Anexo III.

Matriz de comparação e vetor de prioridade do desempenho do subcritério (IATI)

FATOR	IA TI BRT	IA TI VLT	IA TI MNT	VPA IATI
IA TI BRT	0,1325	0,0752	0,1622	0,1233
IA TI VLT	0,3155	0,1790	0,1622	0,2189
IA TI MNT	0,5521	0,7458	0,6757	0,6578

Tabela 49 - Matriz normalizada de comparação par a par dos desempenhos em IATI – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Razão de Consistência: 0,0011, menor que 0,10.

2.2 VPA - Infraestrutura Elevada para MNT e em nível para BRT e VLT

O procedimento de montagem das matrizes de comparação par a par e os vetores de cada subcritério, que levam ao cálculo do VPA para essa opção (de instalação) de infraestrutura, é igual aquele utilizado para a opção das infraestruturas elevadas (itens 4.2.1.1 a 4.2.1.5). Como o processo é repetitivo, mostra-se apenas o VPA já montado – Tabela 50.

Critério	Subcritério	VPA - Desempenho dos modais em cada critério e subcritério após a comparação par a par - Infraestrutura Elevada só para o MNT			
		BRT	VLT	MNT	Verificação de consistência na decomposição dos desempenhos individuais
CS	CSII	0,6933	0,1908	0,1159	1,0000
	CSIV	0,8081	0,0610	0,1309	1,0000
	CSCE	0,0630	0,2232	0,7138	1,0000
CS	CSOMV	0,0829	0,2385	0,6786	1,0000
	CSOMI	0,0912	0,2453	0,6635	1,0000
	CSCR	0,3333	0,3333	0,3333	1,0000
VEF	VEFTRI	0,1576	0,1860	0,6564	1,0000
	VEFTIR	0,1670	0,1780	0,6549	1,0000
	VEFVPL	0,0624	0,0854	0,8522	1,0000
EE	EE	0,0695	0,2287	0,7018	1,0000

QV	QVSVS	0,0529	0,2114	0,7357	1,0000
	QVSVV	0,0833	0,0833	0,8333	1,0000
	QVVM	0,3333	0,3333	0,3333	1,0000
	QVPV	0,0546	0,2004	0,7450	1,0000
	QVAU	0,0909	0,8182	0,0909	1,0000
	QVSIP	0,0546	0,2004	0,7450	1,0000
	QVRI	0,2893	0,3236	0,3872	1,0000
IA	IAGEE	0,1464	0,2801	0,5735	1,0000
	IASO	0,1988	0,1988	0,6024	1,0000
	IAVE	0,1111	0,1111	0,7778	1,0000
	IADV	0,1429	0,1429	0,7143	1,0000
	IARE	0,2893	0,3236	0,3872	1,0000
	IATI	0,1233	0,2189	0,6578	1,0000

Tabela 50 - Vetor Prioridade de Alternativa (VPA) – Estudo de Caso – Infraestrutura elevada só para o MNT

Fonte: Elaborada pelo autor.

3 I ÍNDICE GLOBAL (IG)

Uma vez calculados os vetores de prioridade de critérios, subcritérios e os vetores de prioridade para as duas alternativas de infraestruturas, o passo seguinte consiste em determinar os Índices Globais. Eles indicarão a ordem final de prioridade (ou importância) dos três modais.

Os Índices Globais são calculados com as Equações 31, 32 e 33, em que m corresponde ao número de critérios (5 neste caso) e p ao número de subcritérios (22 neste caso). Todos os termos dessas equações são mostrados no Anexo VI, ps. 310 e 312.

- Índice Global do BRT – Estudo de Caso.

$$IG(BRT) = \sum_{i=1}^m VPC(C_i) * \sum_{k=1}^p VPSC(C_k) * VPA(BRT) \quad (31)$$

Índice Global do VLT – Estudo de Caso.

$$IG(VLT) = \sum_{i=1}^m VPC(C_i) * \sum_{k=1}^p VPSC(C_k) * VPA(VLT) \quad (32)$$

Índice Global do MNT – Estudo de Caso.

$$IG(MNT) = \sum_{i=1}^m VPC(C_i) * \sum_{k=1}^p VPSC(C_k) * VPA(MNT) \quad (33)$$

3.1 IG - Infraestruturas Elevadas

A Figura 34 mostra os índices globais para as três alternativas na opção de infraestruturas elevadas para os três modais. Como mostra a figura, o MNT tem o melhor índice global, seguido, na ordem, pelos modais VLT e BRT.

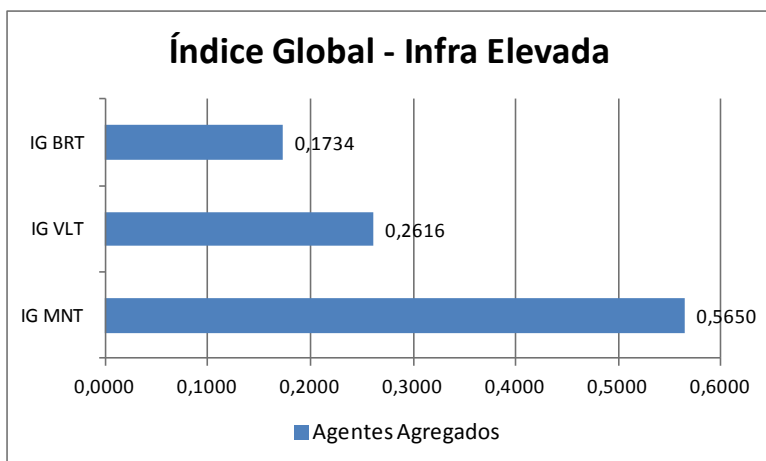


Figura 34 - Índice Global e ordem de prioridade das Alternativas – Estudo de Caso – Infraestruturas elevadas

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.2 IG - Infraestrutura Elevada para MNT e em nível para BRT e VLT

Como mostra a Figura 35, o MNT continua tendo o melhor índice global na opção de infraestrutura elevada somente para o MNT. Os desempenhos dos subcritérios estão quantificados na Tabela AIII-4 (Anexo III, p. 279). Nessa opção de instalação de infraestruturas o índice global do MNT melhorou e reflete a ocorrência dos fatos que seguem:

- A instalação das infraestruturas ao nível do viário para os modais BRT e VLT afetaram muito dois critérios que têm alta pontuação conforme as preferências que lhes foram atribuídas pelos *stakeholders* (na forma agregada) Esses critérios são Qualidade da Viagem (subcritérios afetados: QVSVV, segurança entre veículos do sistema e do sistema viário e QVSVM, velocidade média da viagem) e Impacto Ambiental (subcritérios afetados: IASO, ocupação do sistema viário e IADV, divisão do sistema viário);
- Essa opção de instalação foi positiva em reduzir o custo das infraestruturas dos modais BRT e VLT, mas, novamente, como a preferência atribuída pelos *stakeholders* (na forma agregada) ao critério Custo da Infraestrutura (CSII) é muito baixa, essa redução positiva em custo teve pouca influência no índice

global. Este fato sugere que se faça uma análise do critério Custo com preferências de *stakeholders* individualizadas.

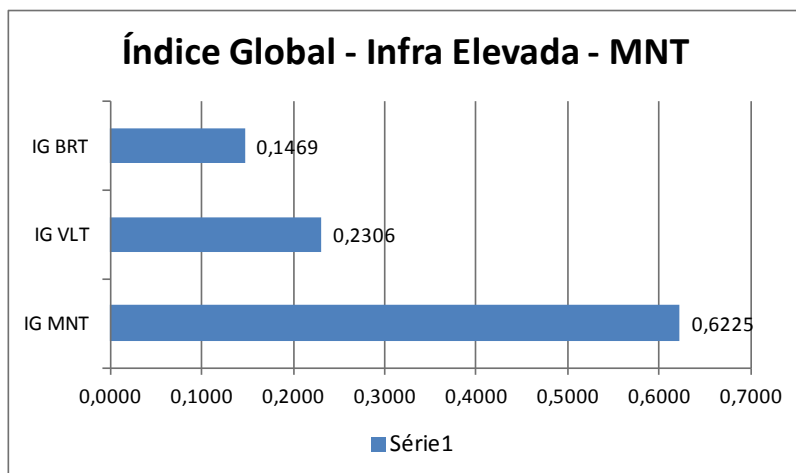


Figura 35 - Índice Global e ordem de prioridade das Alternativas – Estudo de Caso – Infraestrutura elevada para o MNT

Fonte: Elaborada pelo autor.

4 | ANÁLISE DOS RESULTADOS QUANTO ÀS PREFERÊNCIAS DOS STAKEHOLDERS

A análise que se faz a seguir é limitada a verificar a sensibilidade da ordem de preferência das alternativas simulando-se, dentre os diversos possíveis cenários, dez deles em que se alteram os índices dos critérios no vetor VPC. São simulados os cenários: VPC com as preferências agregadas e Qualidade da Viagem (QV), o critério mais bem pontuado, com pontuação igual a zero (um caso); VPCs individualizados por *stakeholder* e maiores pontuações levadas a zero (cinco casos); VPC com as preferências agregadas e pontuações trocadas entre critérios e VPC com as preferências agregadas e pontuações atribuídas pelo autor (quatro casos).

Todas as simulações são feitas em uma plataforma Excel (ver Anexo VI) em que estão inseridos os vetores VPC, VPSC, VPA e as equações 31, 32 e 33 que calculam os Índices Globais das três alternativas.

4.1 Preferências pelos Critérios - *Stakeholders* Agregados

A Figura 36 ilustra o Vetor Prioridade de Critérios da Tabela 20 e mostra que os índices dão aos critérios a seguinte ordem de importância:

- Qualidade da Viagem (QV);

- Impacto Ambiental (IA);
- Eficiência Energética (EE);
- Custos (CS);
- E Viabilidade Econômica e Financeira (VEF).

O índice atribuído ao critério Qualidade da Viagem (QV) indica que o Tomador de Decisão precisará dar atenção especial aos agentes Usuário e Consultor, beneficiários diretos desse critério como mostram as Figuras 30 e 32 quando estiver fazendo a escolha final do modal preferencial. Este critério acumula quase 50% de toda a pontuação das preferências, enquanto que todas as demais somadas computam os 50% restantes. Os dois critérios seguintes mais importantes são Impacto Ambiental, preferência do agente Vizinho (Figura 29) com 24,2% das pontuações e Eficiência Energética, preferência do agente Operador (Figura 28) com 14,5%.

A Figura 37 mostra o que ocorre com o índice global e a ordem de prioridade de cada modal quando a preferência do critério QV (a maior preferência) é zerada (ver Figura 38). Como é possível perceber, essa ação não causa efeito na ordem de prioridade dos modais.

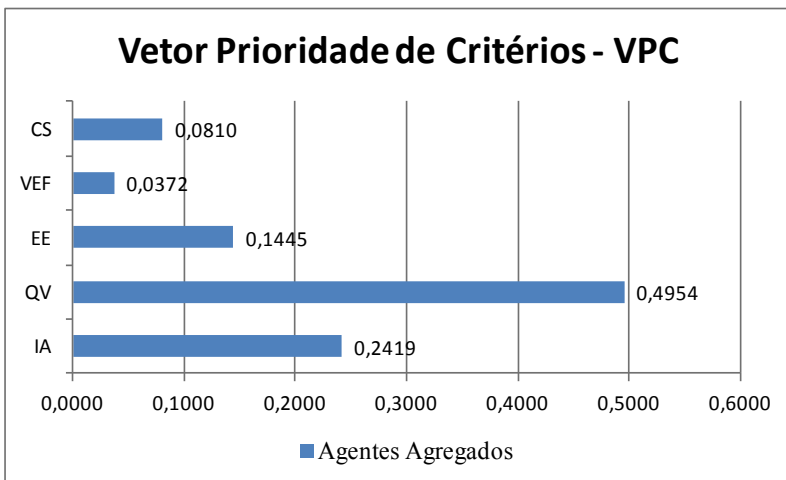


Figura 36 - Vetor Prioridade de Critérios (VPC) – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

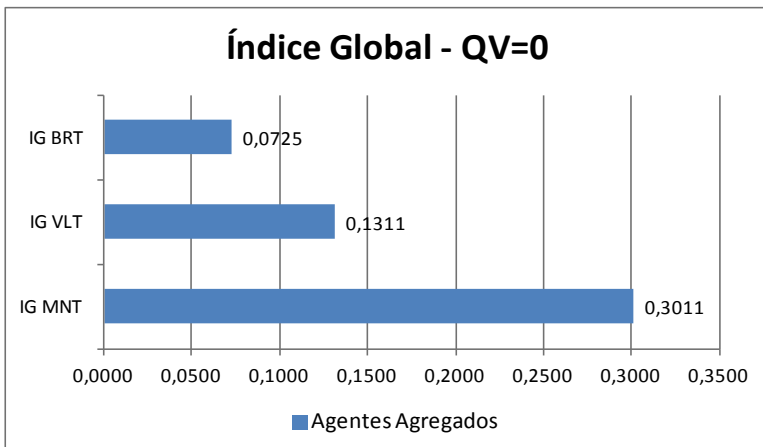


Figura 37 - Índice Global (IG) -Agentes Agregados – QV=0 – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

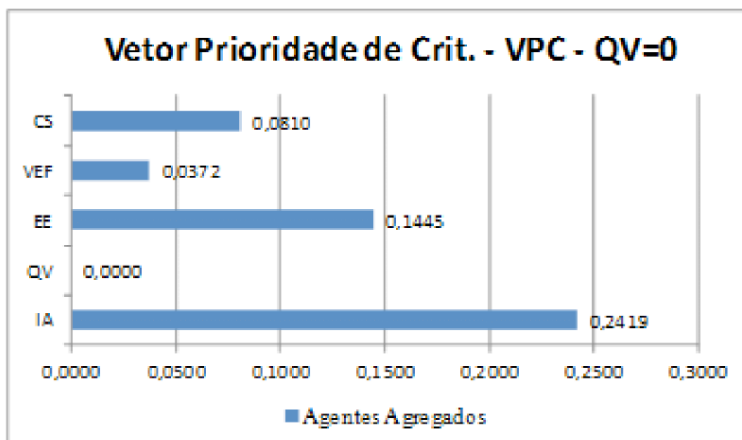


Figura 38 - Vetor Prioridade de Critérios (VPC) Agentes Agregados – QV=0 – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2 Preferências pelos Critérios - Stakeholders Individualizados

Utilizando-se a mesma sequência do item anterior, são mostrados os vetores VPC individualizados por agente e os correspondentes índices globais quando as maiores preferências de cada agente são levadas a zero. Relembrando, o objetivo é verificar o que ocorre com a ordem de prioridade dos modais.

Agente Operador

O resultado mostrado na Figura 40 não indica modificação na ordem de preferência das alternativas quando comparada à preferência dos agentes agregados que é dada por MNT, VLT e BRT. No entanto, a Figura 39 mostra que o agente Operador tem uma

preferência particular diferente pelos critérios, quando individualizado.

O critério mais importante para o agente Operador é Eficiência Energética (EE) e não Qualidade da Viagem (QV), como mostra a Figura 39. Esse critério é seguido por VEF, CS, QV e IA.

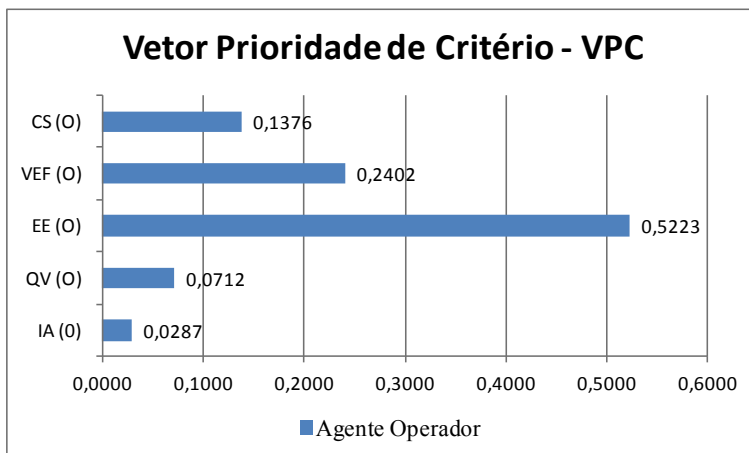


Figura 39 - Vetor Prioridade de Critérios (VPC). Agente Operador - Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

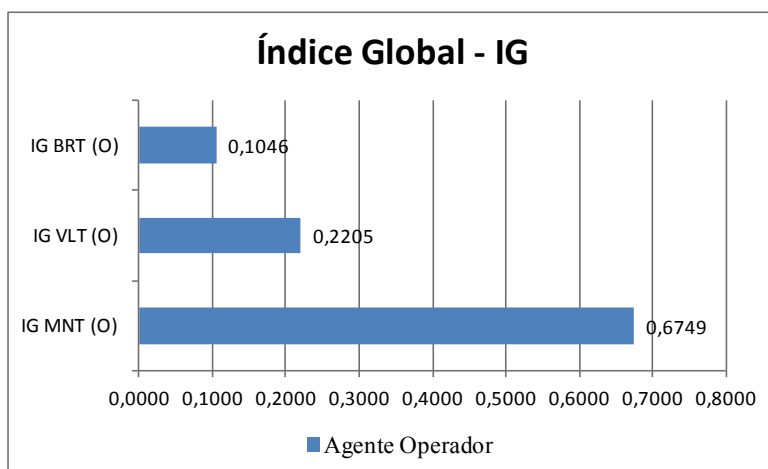


Figura 40 - Índice Global das Alternativas. Agente Operador – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

A pontuação do critério Eficiência Energética (EE) vai além de 50% em relação à soma dos demais. Assim, este é um critério que tem que ser tratado com cuidado pelos Fornecedores de equipamentos em seus projetos.

A Figura 42 mostra o efeito na ordem das alternativas quando o critério EE (Figura 41) é zerado; a ordem não se altera.

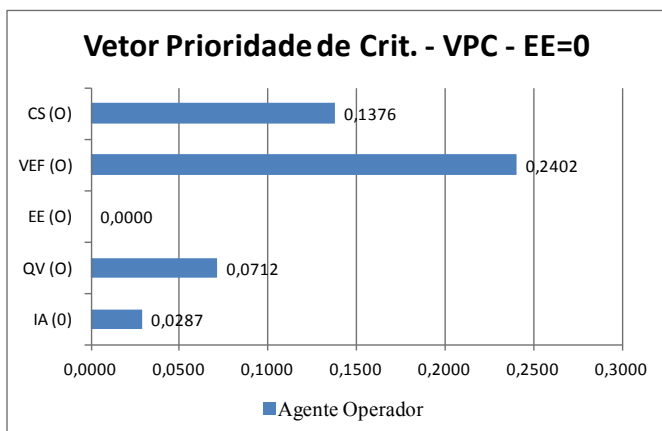


Figura 41 - Vetor Prioridade de Critérios (VPC). Agente Operador – EE=0 – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

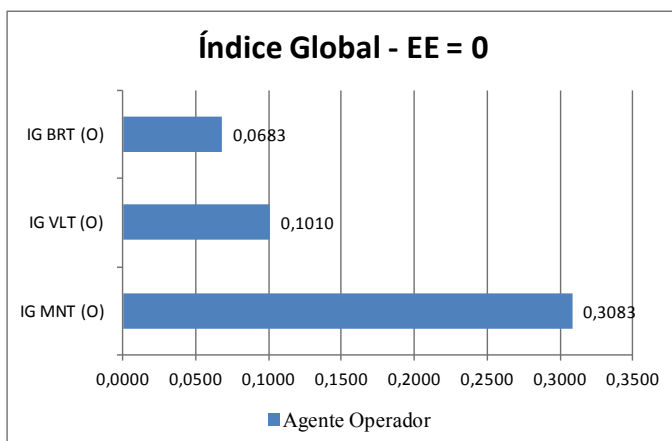


Figura 42 - Índice Global (IG). Agente Operador – EE=0 – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Agente Vizinho

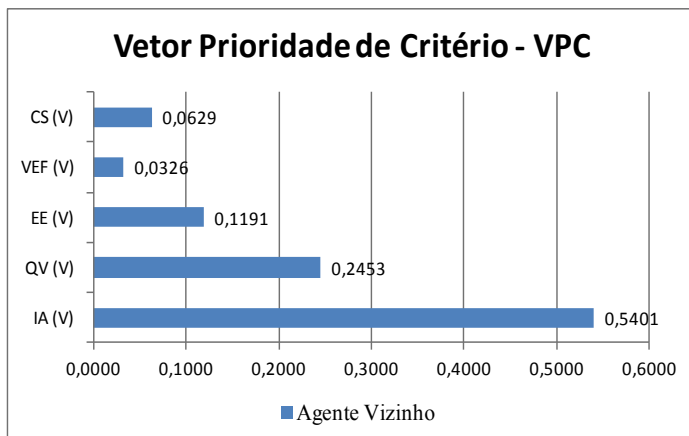


Figura 43 - Vetor Prioridade de Critérios (VPC). Agente Vizinho – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

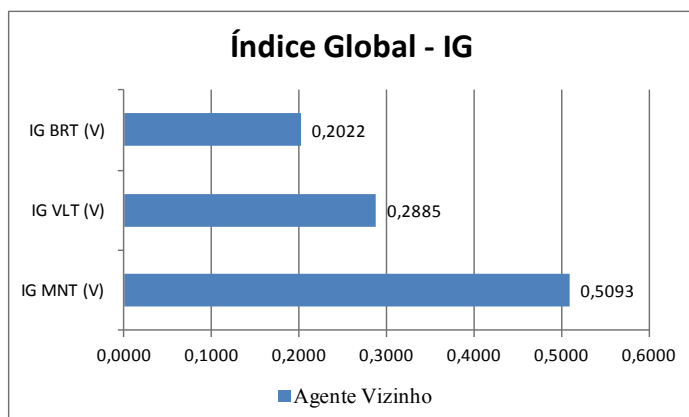


Figura 44 - Índice Global das Alternativas. Agente Vizinho – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

O resultado individualizado mostrado na Figura 44 não indica modificação na ordem de preferência pelas alternativas, porém o critério mais importante para o agente Vizinho é Impacto Ambiental, seguido por QV, EE, VEF e CS (Figura 43).

O critério Impacto Ambiental tem pontuação de preferência maior do que 50% em relação aos demais critérios. Intuitivamente essa preferência tem sentido, pois a comunidade vizinha ao empreendimento é a que terá maior proximidade com as externalidades negativas do sistema. Essa visão da comunidade vizinha tem que ser tratada com cuidado tanto pelo Tomador de Decisão. Com base na pesquisa de preferências, individualmente, IA não é a prioridade do agente Fornecedor (mensagem ao Fornecedor). A Figura 46 mostra

o efeito na ordem das alternativas, quando o critério IA (Figura 45) é zerado; a ordem das alternativas não muda.

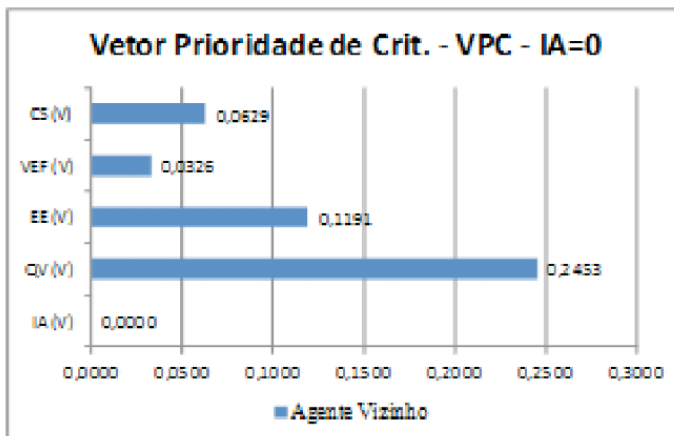


Figura 45 - Vetor Prioridade de Critérios (VPC). Agente Vizinho – IA = 0 – Estudo de Caso

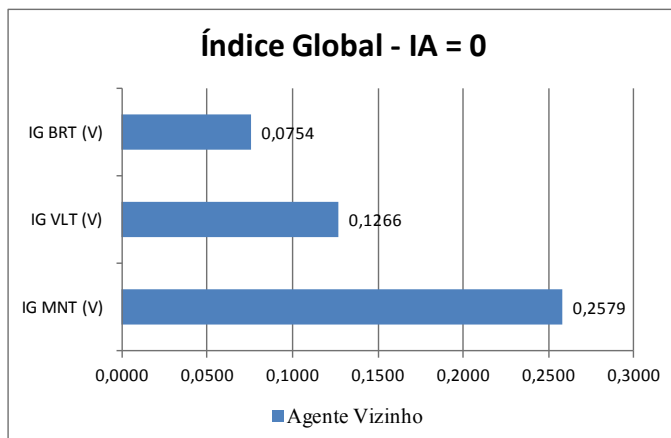


Figura 46 - Índice Global das Alternativas. Agente Vizinho – IA = 0 – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Agente Usuário

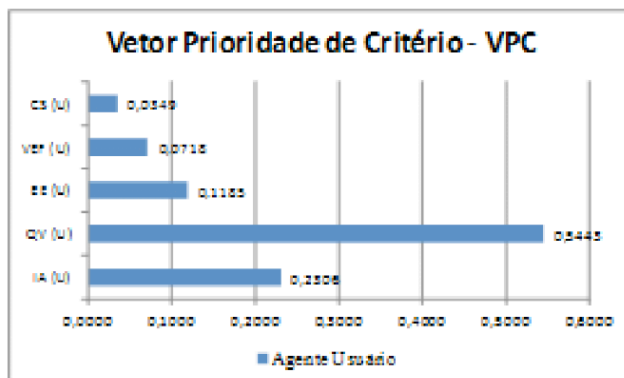


Figura 47 - Vetor Prioridade de Critérios (VPC). Agente Usuário – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

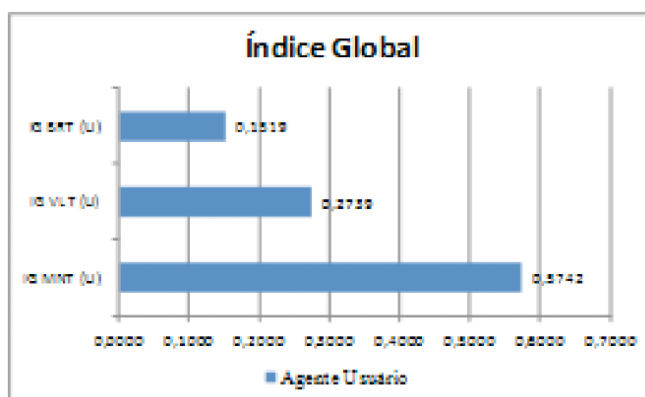


Figura 48 - Índice Global das Alternativas. Agente Usuário – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Novamente o resultado mostrado na Figura 48 não indica modificação na ordem de preferência pelas alternativas. O que é possível observar é que o agente Usuário é preocupado com o critério Qualidade da Viagem, seguido por IA, EE, VEF e CS (Figura 47).

O critério Qualidade da Viagem tem pontuação de preferência maior do que 50% em relação aos demais critérios. Intuitivamente essa preferência tem sentido, ela é bem próxima da visão dos agentes agregados e tem que ser tratada de forma adequada pelo agente Tomador de Decisão e pelo Operador.

A Figura 50 mostra o efeito na ordem das alternativas quando o critério QV (Figura 49) é zerado; a ordem das alternativas não muda.

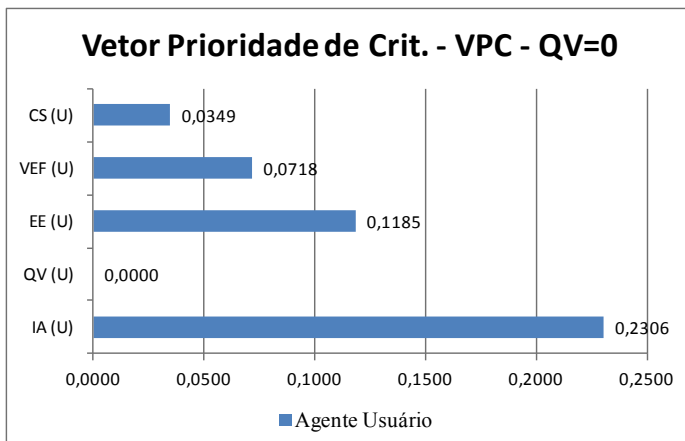


Figura 49 - Vetor Prioridade de Critérios (VPC). Agente Usuário – QV = 0 – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

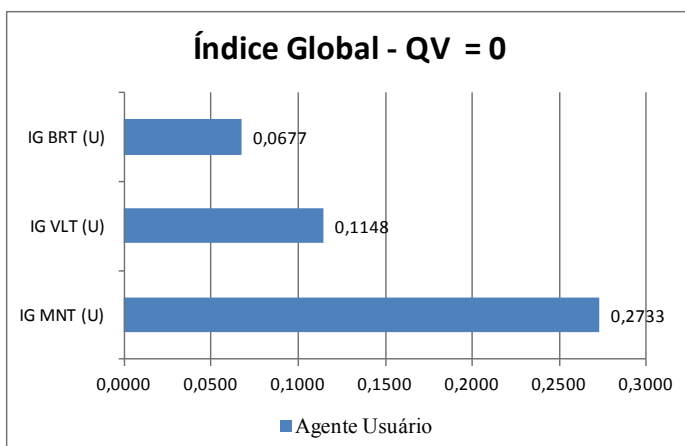


Figura 50 - Índice Global das Alternativas. Agente Usuário – QV = 0 – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Agente Fornecedor

Novamente o resultado mostrado na Figura 52 não indica modificação na ordem de preferência pelas alternativas. O que é possível inferir a partir da Figura 51 é que o agente Fornecedor tem um comportamento mais comercial (VEF) quando perguntado sobre equipamentos e serviços, pois sua prioridade elenca os critérios na ordem: VEF; CS; EE; QV e IA.

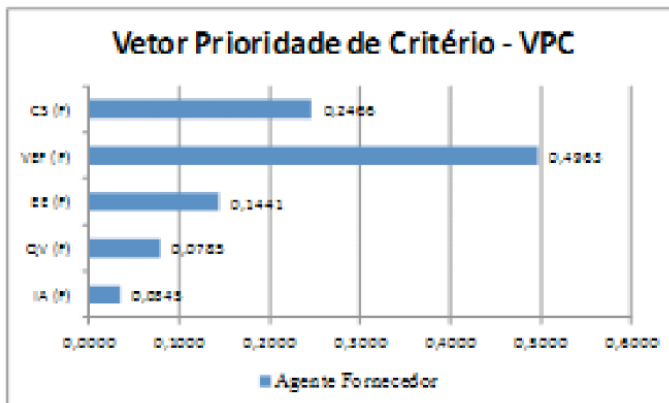


Figura 51 - Vetor Prioridade de Critérios (VPC). Agente Fornecedor – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

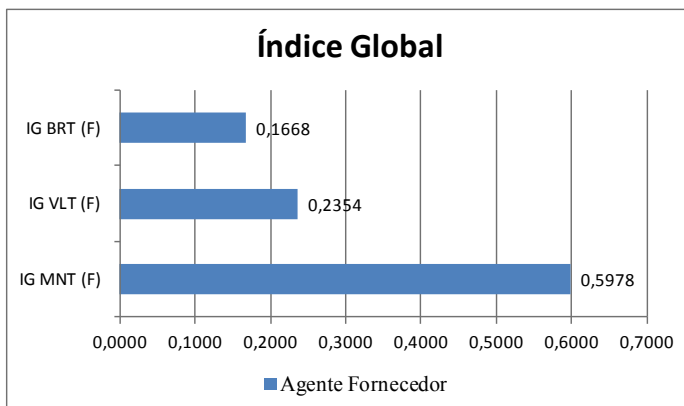


Figura 52 - Índice Global das Alternativas. Agente Fornecedor – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 54 mostra o efeito na ordem das alternativas quando o critério VEF (Figura 53) é zerado; a ordem das alternativas não muda.

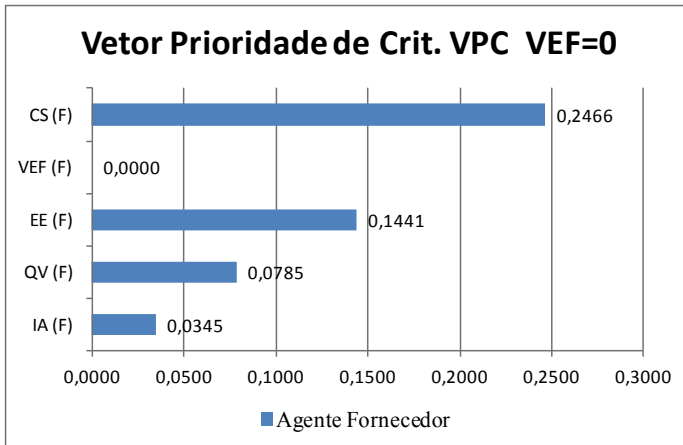


Figura 53 - Vetor Prioridade de Critérios (VPC). Agente Fornecedor – VEF = 0 – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

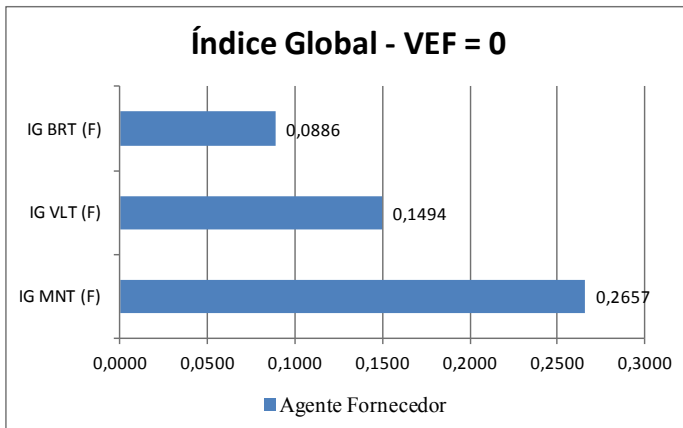


Figura 54 - Índice Global das Alternativas. Agente Fornecedor – VEF = 0 – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

Agente Consultor

Como mostra a Figura 56, o agente Consultor, isoladamente, também não modifica a ordem de preferência pelas alternativas; já a Figura 55 apresenta este agente dando prioridade para o critério Qualidade da Viagem, seguido por CS, EE, IA e VEF. Esta visão iguala as preferências dos agentes Usuário e Operador.

A Figura 58 mostra o efeito na ordem das alternativas quando o critério QV (Figura 57) é zerado; a ordem das alternativas não muda.

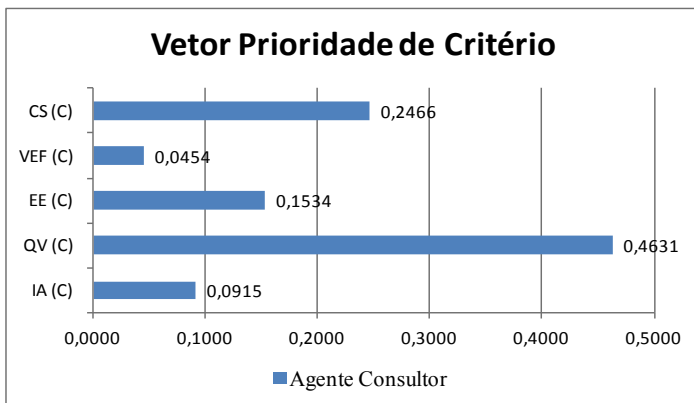


Figura 55 - Vetor Prioridade de Critérios (VPC). Agente Consultor – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

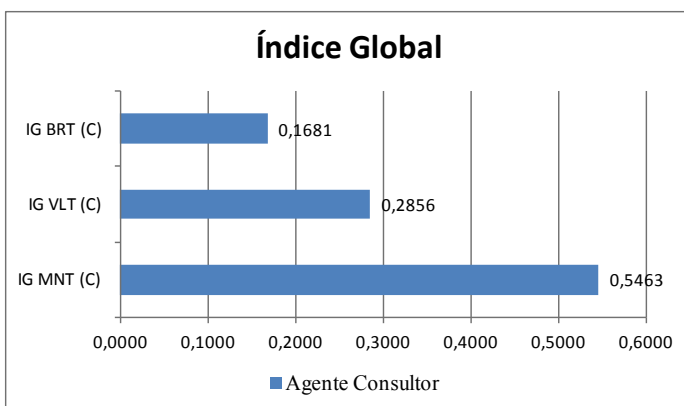


Figura 56 - Índice Global das Alternativas. Agente Consultor – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

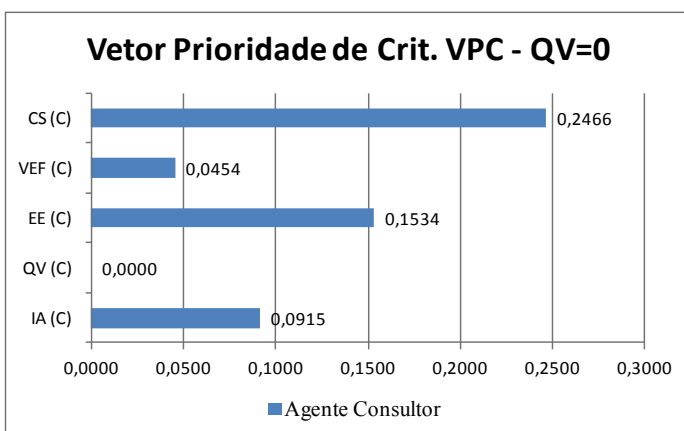


Figura 57 - Vetor Prioridade de Critérios (VPC). Agente Consultor – QV = 0 – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

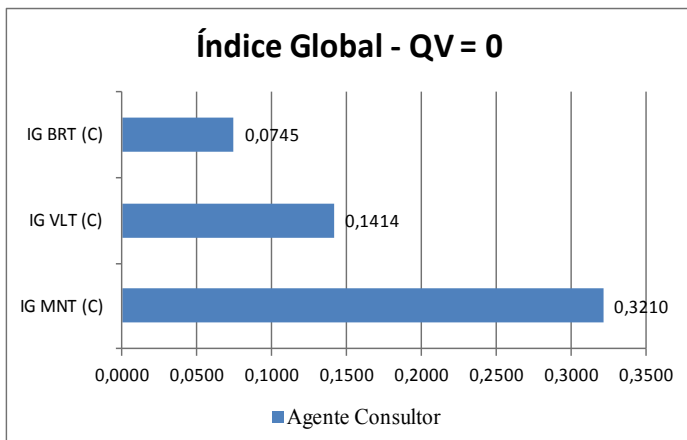


Figura 58 - Índice Global das Alternativas. Agente Consultor – QV = 0 – Estudo de Caso

Fonte: Elaborada pelo autor.

A ordem de preferências, consideradas isoladamente, mais uma vez indica que há robustez no resultado obtido com relação à ordem de prioridade das alternativas.

A conclusão dessa análise limitada é que a completa exclusão do critério melhor avaliado, por cada classe de agente, não afeta a sequência de prioridade das alternativas.

4.3 Preferências pelos Critérios – Cenários atribuídos pelo autor

A análise que se segue é limitada a estudar quatro outros cenários atribuídos pelo autor, todos com infraestruturas elevadas, modificando-se as preferências atribuídas pelos *stakeholders*. As novas preferências são inseridas diretamente no vetor VPC (Tabela 51). Essa ação terá influência nos Índices Globais (Figuras 59 a 62):

- Cenário 1: a pontuação (0,4954) atribuída ao critério Qualidade da Viagem (QV) é trocada com a pontuação (0,0810) atribuída ao critério Custo (CS). De forma indireta, esse novo quadro de preferências privilegia os agentes Operadores e Fornecedores de Equipamentos e Serviços e o resultado dessa simulação irá indicar qual seria o modal melhor pontuado para atendê-los;
- Cenário 2: a pontuação (0,4954) atribuída ao critério Qualidade da Viagem (QV) é trocada com a pontuação (0,2419) atribuída ao critério Impacto Ambiental (IA). De forma indireta, essa troca privilegia os Vizinhos do sistema e, com a mesma lógica, essa simulação irá indicar qual seria o modal melhor pontuado para atendê-los;
- Cenário 3: a pontuação (0,4954) atribuída ao critério Qualidade da Viagem (QV) é trocada com a pontuação (0,1445) atribuída ao critério Eficiência Energética (EE). De forma indireta, essa troca privilegia novamente as preferências dos agentes Operadores e Fornecedores. Com a mesma lógica, essa simulação irá indicar qual seria o modal melhor pontuado para atendê-los em termos de

eficiência energética;

- Cenário 4: Este cenário foi construído com preferências atribuídas pelo autor, privilegiando os critérios de custo e eficiência energética frente aos demais, buscando uma situação que pudesse identificar a priorização do BRT em relação ao MNT.

	Cenário Original	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Critérios	VPC				
CS	0,0810	0,4954	0,0810	0,0810	0,8750
VEF	0,0372	0,0372	0,0372	0,0372	0,0250
EE	0,1445	0,1445	0,1445	0,4954	0,0500
QV	0,4954	0,0810	0,2419	0,1445	0,0250
IA	0,2419	0,2419	0,4954	0,2419	0,0250

Tabela 51 - Vetor VPC – Cenário original – Cenários 1, 2, 3 e 4

Fonte: Elaborada pelo autor.

Nas figuras que se seguem, o BRT fica melhor pontuado em relação ao VLT no Cenário 1 e avança sobre os outros dois modais no Cenário 4.

Cenário 1

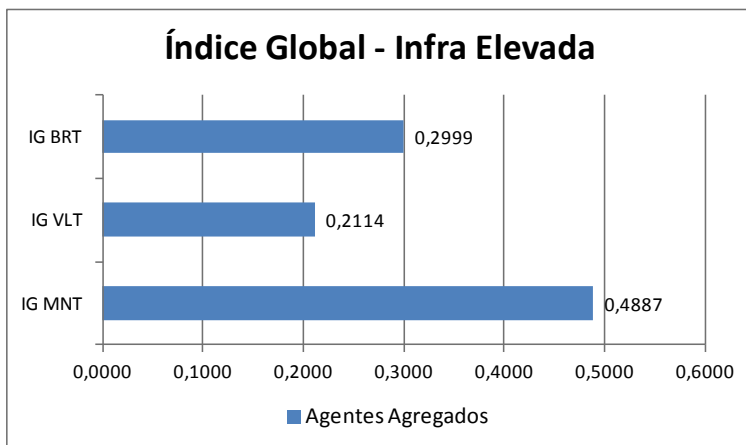


Figura 59 - Índice Global - Cenário 1

Fonte: Elaborada pelo autor.

Cenário 2

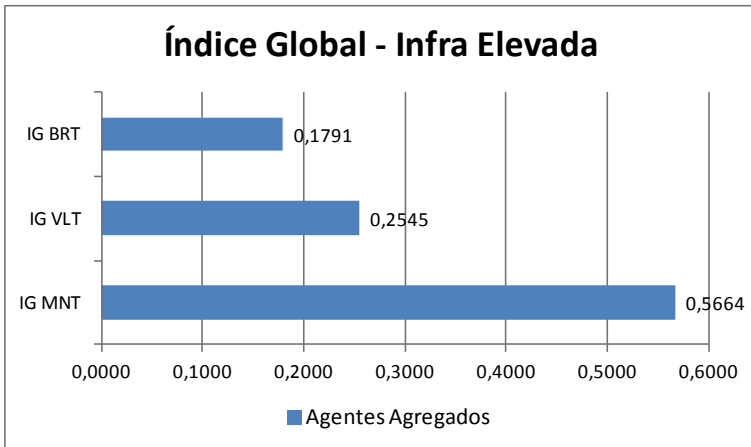


Figura 60 - Índice Global - Cenário 2

Fonte: Elaborada pelo autor.

Cenário 3

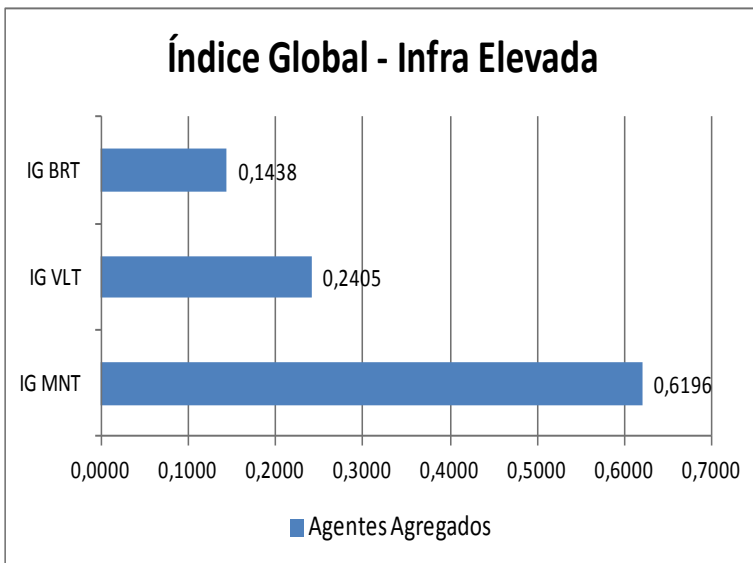


Figura 61 - Índice Global - Cenário 3

Fonte: Elaborada pelo autor.

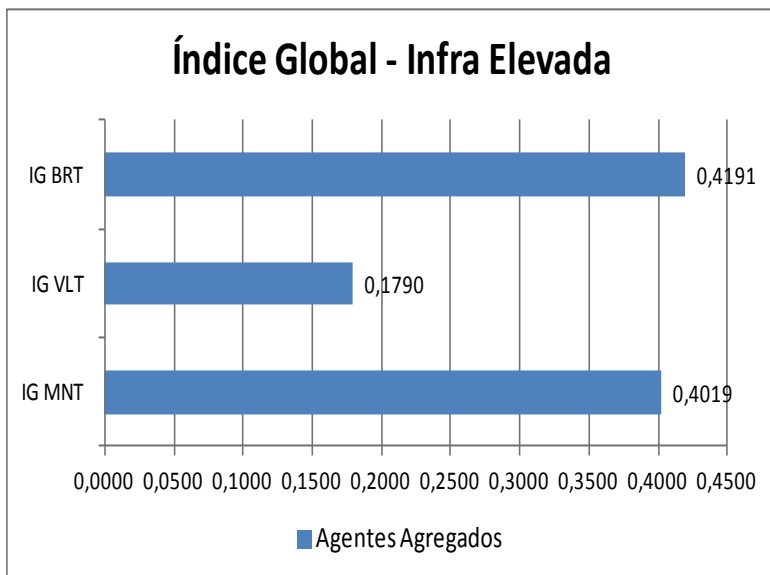


Figura 62 - Índice Global - Cenário 4

Fonte: Elaborada pelo autor.

5 | RESULTADOS QUANTO AOS DESEMPENHOS DAS ALTERNATIVAS

A análise até então efetuada se limitou a estudar cenários que refletem alterações feitas nas preferências pelos critérios, mas não foram alterados os desempenhos dos modais, ou seja, não se introduziram modificações no vetor de preferência de alternativas (VPA). Alterações no VPA implicam em se estudarem modificações técnicas nas alternativas. Seguem-se comentários pertinentes a este assunto.

No critério custo da infraestrutura de via instalada ao nível do sistema viário e em veículos, o BRT se destacou entre os demais modais, fato que alerta aos fabricantes dos outros modais para que trabalhem os seus custos. Custos são importantes nas análises de investimentos e viabilidade econômica e financeira.

Com relação a Eficiência Energética, destacaram-se os veículos do MNT. Isso pode ser explicado em parte pelo fato de os veículos serem leves para que possam trafegar nas vigas guias elevadas. Como consequência, a relação carga útil pela tara é relativamente melhor no MNT.

No critério Qualidade da Viagem, o MNT foi o modal com melhor desempenho. Destacam-se o nível de segurança relativo a acidentes entre os veículos do sistema e do sistema viário (Infraestrutura sempre elevada), a pontualidade da viagem, melhor disponibilidade de informação aos passageiros nas estações e nos veículos, menor nível

de ruído interno ao veículo e a maior velocidade média operacional.

O VLT mostrou melhor desempenho com relação à acessibilidade universal.

Quanto ao Impacto Ambiental, o modal melhor pontuado foi o MNT, que apresentou melhor desempenho nos quesitos de emissão GEE – área ocupada no sistema viário, visual estético, ruído externo ao veículo, tempo de instalação da infraestrutura de via e divisão do sistema viário.

6 | RESULTADOS FACE AO REFERENCIAL TEÓRICO

A grande maioria das tentativas de comparações feitas entre os modais BRT, VLT e MNT, geralmente encontradas na bibliografia, apenas relevam as características de melhor desempenho de cada um dos modais, isto é, aquelas em que cada sistema é mais eficiente. Ocorre que este tipo de avaliação resulta em comparações feitas sem que se levem em conta uma base de critérios ampla, bem como a utilização de configurações adequadas dos três modais que visem a resolução dos mesmos requisitos operacionais e funcionais de um problema de transporte de passageiros.

As comparações realizadas com o modelo empregado neste trabalho foram feitas de forma ampla. Com base em uma aplicação comum definida por requisitos de uma unidade funcional. Atendendo a tais requisitos os três modais foram previamente configurados para, em seguida, serem comparados. Eles foram comparados frente às preferências dos agentes de decisão e aos desempenhos de cada um dos três modais em relação a um único sistema de critérios e subcritérios.

De acordo com o referencial teórico consultado, os três modais em análise puderam atender, após devidamente configurados aos requisitos da unidade funcional do estudo de caso, cada um deles em maior ou menor grau de aderência a esses requisitos. Nesse sentido, o problema de decisão consistiu em se identificar o modal mais eficiente.

7 | EFICÁCIA E EFICIÊNCIA DO MODELO DE DECISÃO PROPOSTO

Dentro das premissas da análise, dos limites das preferências e desempenhos e das avaliações de consistência sobre os resultados obtidos com o modelo da Figura 19 entende-se que o resultado obtido é bastante robusto. O modelo foi também adequado para resolver o problema de decisão do estudo de caso.

O procedimento de coleta dos dados das preferências dos agentes de decisão tem uma versão básica que foi utilizada neste trabalho e está disponível para futuras aplicações. Apesar de eficaz, a recomendação do autor é que ele seja simplificado visando melhorar a sua eficiência.

O procedimento para coleta de dados dos desempenhos das alternativas foi

basicamente o de pesquisa bibliográfica, combinada com observações de campo.

E o método AHP, que é a base do modelo (Figura 19), tem vários exemplos de aplicações que atestam a sua eficácia e eficiência para avaliar e comparar sistemas. O método é bem documentado e tem sido objeto de aprimoramentos por parte de especialistas que se dedicam ao estudo dessa ferramenta.

Por fim, ressalta-se que a decisão pelo melhor modal, em última instância, deve ser feita sempre pelo Tomador de Decisão (TD). A Figura 19 mostra que são apresentados, para a análise do TD, os Índices Globais e também as preferências individuais dos agentes de decisão. A essas informações, o TD poderá eventualmente adicionar, por exemplo, critérios políticos ou atribuir importâncias diferentes às preferências de cada classe de agente de decisão.

DISCUSSÃO GLOBAL

1 | RESULTADOS FACE AOS OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

Os resultados obtidos atenderam plenamente ao Objetivo Geral, pois, dentro dos limites pré-estabelecidos para a pesquisa, os desempenhos funcional e operacional das tecnologias BRT, VLT e MNT foram comparadas e os modais elencados em ordem de prioridade.

Os Objetivos Específicos também foram desenvolvidos ao longo do trabalho, evidenciados pelos elementos de:

- Definição dos múltiplos critérios e subcritérios de avaliação;
- Levantamento das preferências dos agentes de decisão (Anexos I e II);
- Levantamento dos desempenhos dos três modais (Anexo III);
- Síntese das preferências e com função aditiva;
- Elaboração do estudo de caso.

2 | RESULTADOS FACE ÀS HIPÓTESES

A pesquisa produziu elementos adequados que ratificam as hipóteses pré-estabelecidas. A primeira hipótese, sobre a necessidade de se comparar os modais a partir de uma unidade funcional, foi validada no estudo de caso. A segunda hipótese, sobre a possibilidade de se elaborar um modelo – com procedimentos para se processar as preferências de agentes de decisão, em conjunto com dados de desempenhos de alternativas, e ser capaz de listar as alternativas em ordem de preferência – também foi validada no estudo de caso. A terceira hipótese, sobre a possibilidade de se elaborar um modelo capaz de ratificar ou retificar a escolha do modal MNT para a Linha 15 do Metrô, foi validada no estudo de caso com resultado que ratifica a opção dentro das premissas e limites estabelecidos no estudo.

3 | RESULTADOS FACE AOS LIMITES DA ANÁLISE

Os resultados obtidos no estudo de caso são coerentes dentro dos limites:

- Da unidade funcional definida;
- Das preferências subjetivas declaradas pelos agentes de decisão pelos critérios e subcritérios definidos;
- Dos desempenhos das alternativas em relação aos critérios e subcritérios, obtidos pelo autor na bibliografia consultada e em observações de campo;
- Da agregação de preferências e desempenhos via função de valor linear aditiva.

4 | LIÇÕES APRENDIDAS

Destacam-se algumas lições aprendidas ao longo da pesquisa.

4.1 Procedimento - Anexo I

O procedimento para a obtenção das preferências subjetivas dos agentes entrevistados (Anexo I) é utilizável em outras pesquisas correlatas ao tema, mas recomenda-se uma simplificação para ser mais eficiente. Os *stakeholders* devem ser solicitados a fazer anotações simples nos questionários de perguntas, como números, anotações dos tipos “x”, “sim” ou “não” etc. Solicitações de longas respostas textuais devem ser minimizadas. Outro ponto que se destaca é que entrevistas face a face são mais eficazes e eficientes do que o processo de entrega, preenchimento remoto e retorno do formulário. Neste caso, há que se fazerem boas análises de coerências no material recebido. Também foi constatado, durante entrevistas, que o *stakeholder* revisa muito a sua preferência antes de finalizar o seu juízo.

4.2 Preferências dos Agentes de Decisão - Agregadas e Individualizadas

Outra constatação obtida na pesquisa é que a utilização das preferências agregadas dos agentes de decisão deve ser tratada com cuidado porque a agregação pode mascarar as preferências individuais, fato mostrado no estudo de caso. A sugestão é que os dois resultados sejam apresentados e discutidos entre o (s) analista (s) e o (s) tomador (es) da decisão, durante a fase final de escolha da melhor alternativa.

4.3 Planejamento e Empenho

Um terceiro ponto a ser destacado é sobre a experiência que se ganhou no desenvolvimento de quatro grandes blocos componentes da pesquisa em termos de carga de trabalho (empenho) e tempo e dificuldade de realização. Em ordem, iniciando a lista pelo mais complexo, são: definição do formulário de pesquisa de preferências (Anexo I) e realização de entrevistas e consolidação das preferências dos stakeholders (Anexo II); quantificação dos desempenhos das alternativas (Anexo III); prototipagem feita para se estudar e exercitar os passos do modelo de decisão (Figura 19) e montagem da plataforma Excel para processar os vetores VPC, VPSC, VPA e as equações aditivas; e, por fim, a análise de todas as informações coletadas e a consolidação dos resultados.

5 | SUGESTÕES DE NOVAS PESQUISAS

Sugerem-se duas abordagens para seleção de novas pesquisas relacionadas com os temas discutidos neste trabalho. A primeira visa o aprimoramento dos resultados aqui obtidos. E a segunda objetiva a aplicação da estrutura proposta para o modelo de apoio à tomada de decisão em novos cenários. Com a primeira abordagem, recomendam-se

mais estudos: sobre como se melhor coletar com mais assertividade as preferências dos agentes de decisão pelo conjunto de critérios e subcritérios; e ampliar a base de dados da quantificação dos desempenhos das alternativas. Mais especificamente, desenvolver ações como:

- Aplicar a pesquisa de preferências em maior número de agentes com perfis de Operador, agregando-se representantes do Poder Público;
- Aplicar a Pesquisa de Preferências de agentes de decisão pelos critérios e subcritérios propostos para transportes urbanos coletivos em outras cidades, além da feita em São Paulo, com o objetivo de identificar se há, e, se sim, qual seria um padrão de preferência;
- Adicionar o critério Benefícios Sociais. Este critério foi sugerido em alguns formulários, ele se refere à quantificação de benefícios que as alternativas de transportes coletivos, com boa qualidade, podem criar, como entre outros: diminuição de automóveis particulares nas ruas; menor consumo de energia em congestionamentos; menor poluição ambiental; menor tempo de viagem; melhoria da qualidade de vida e menores despesas em tratamentos médicos;
- Aprimorar a Análise de Sensibilidade das preferências quanto às mudanças nos juízos dos agentes entrevistados, utilizando-se o software Expert Choice (Gomes, 2004), que não foi empregado nessa pesquisa;
- Aprofundar a avaliação dos Custos Operacionais dos modais separadamente para a infraestrutura de via e veículos. Como demonstrado na quantificação dos desempenhos de viabilidade econômica e financeira, os custos operacionais de cada alternativa têm grande impacto no cômputo dos subcritérios TRI, TIR e VPL;
- Pesquisar mais a bibliografia, buscando melhorar a quantificação subjetiva atribuída aos Impactos Visuais e Estéticos da infraestrutura de via.

Com a segunda abordagem, sugerem-se pesquisas aplicando o modelo proposto sem a intenção de esgotar as possibilidades em áreas como: Planejamento Energético, Avaliação do Ciclo de Vida; Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos e mesmo em Transportes, ampliando o escopo desenvolvido nesse trabalho. Seguem sugestões de temas:

- Em Transportes, este trabalho focou na avaliação de três modais específicos, mas o modelo pode avaliar desempenhos de outros modais de interesse. Para estudos de casos na cidade São Paulo, área em que foi feita pesquisa de preferência dos agentes de decisão, podem ser utilizadas as preferências já disponíveis. Novos modais, que são introduzidos, devem ter os seus desempenhos calculados caso a caso (ver o exemplo de comparação entre os modais GLT e LRT no Anexo V);
- Ainda em Transportes, o modelo pode avaliar o caso de escolha de alternativa energética para o diesel tradicional em ônibus urbano, especialmente em siste-

mas BRT. Como já descrito, o BRT é um modal utilizado com grande sucesso em cidades no Brasil e no exterior. No entanto, as externalidades ambientais negativas que ele produz, em função da utilização do óleo diesel nos motores de combustão interna, são mencionadas em trabalhos que estudam esse modal. Quase sempre os trabalhos recomendam novas pesquisas visando atenuar os efeitos ambientais. Cinquina (2008) propõe que projetos para futuras expansões do BRT de Curitiba sejam avaliados em cenários que contemplem como alternativas o Metrô, o VLT e ônibus alimentados com biocombustíveis. Propõe também que representantes das comunidades interessadas em transportes (*stakeholders*) sejam convidados em reuniões de discussões para a escolha da melhor solução para a região. Lascala (2011) estudou a substituição do diesel pelo etanol aditivado e identificou, quantificou e monetizou as principais externalidades dessa substituição na frota de ônibus urbanos na região metropolitana de São Paulo. Para a continuidade da pesquisa, a autora sugeriu aprofundar o conhecimento das externalidades produzidas pelo diesel com relação aos efeitos das emissões gases SO_x e aos efeitos cancerígenos causados pelas emissões de partículas ultrafinas e pelas emissões também presentes internamente aos veículos. Em seu estudo de comparação entre os desempenhos ambientais de combustíveis alternativos ao diesel para a frota de ônibus urbanos da cidade de São Paulo, Granville (2014) avaliou o gás natural, biogás, biodiesel, biodiesel B20 (diesel com biodiesel) e diesel de cana-de-açúcar. O desempenho dos trólebus com a energia elétrica foi um elemento que também entrou na comparação. O estudo sugere a continuidade das avaliações em uma série de considerações, como a introdução de melhorias nos protocolos de testes estudados no trabalho para que considerem critérios como a quantidade de veículos avaliados (amostras), as características da via de teste (com adição de rampas), as tecnologias das usinas de geração de energia elétrica (termoelétricas a óleo? carvão?) e os custos de operação e manutenção das diferentes tecnologias de veículos. Os novos estudos sugeridos, nos trabalhos acima mencionados, indicam que há elementos presentes no processo de escolha da melhor energia de tração (combustível ou energia elétrica) para substituir o diesel tradicional em sistemas BRT, que caracterizam um problema de tomada de decisão em cenário complexo. No cenário estão presentes múltiplos critérios (custos, impactos ambientais), múltiplos *stakeholders* (usuários, vizinhos, fabricantes e operadores) e múltiplas alternativas (tecnologias de combustíveis e tecnologias de geração de energia elétrica). Pode-se então dizer que este é um caso que pode ser estudado com a utilização do modelo multicritério discutido nessa pesquisa;

- Há outras possibilidades de aplicações do modelo de apoio à decisão nessa mesma área: infraestrutura (seleção de traçados viários); energia (seleção de locais para armazenamento de combustíveis e para abastecimento de veículos) e fabricação (seleção de materiais menos impactantes ao meio ambiente para uso em veículos e infraestrutura de via);
- Planejamento Energético: geração de energia (seleção de localizações para

instalação de plantas para geração); distribuição de energia (seleção de rotas de distribuição e logísticas para transporte, armazenamento e distribuição) e usos finais (seleção de diferentes tipos de energia química – fósseis, renováveis, alternativas);

- Avaliação do Ciclo de Vida: fabricação (seleção de locais para fabricação; emissões ambientais; seleção de insumos e energias menos impactantes ao meio ambiente) e descarte (seleção de tecnologias para tratamento e descarte de produtos);
- Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos: tecnologia (seleção de tecnologias para reaproveitamento, tratamento e preparação para descarte); coleta (seleção de rotas de coleta e logísticas para transporte) e descarte (seleção de locais para tratamento e descarte).

CONCLUSÃO

A escolha de uma alternativa viável para resolver um determinado problema de decisão em transporte urbano coletivo não se resume a um estudo de seleção de modais que atendam a critérios como eficiência energética ou engenharia econômica e financeira. Deve-se, no entanto, realizar uma ampla avaliação sistêmica, que envolva o estudo de preferências e desempenhos por um amplo conjunto de critérios e subcritérios. Foram apresentadas neste trabalho as linhas gerais dessa engenharia de sistema, desenvolvida com estudos bibliográficos e pesquisa de campo. O estudo não teve a intenção de esgotar a pesquisa dos temas desenvolvidos. Espera-se que o material disponibilizado, mais as referências citadas, possam ser úteis para incentivar desenvolvimentos de outros estudos correlatos.

De forma global, conclui-se que a pesquisa atendeu aos objetivos gerais e específicos propostos. Ressalta-se por fim que o modelo proposto pode ser utilizado tanto em fases iniciais de planejamento de projetos como em fases de execução ou mesmo já implantados para a realização de avaliações de possíveis ajustes em função de modificações em preferências de *stakeholders* ou avanços tecnológicos em alternativas.

REFERÊNCIAS

AES ELETROPAULO. **Tarifa de Energia Elétrica**. Disponível em: <<https://www.aeseletpaulo.com.br/poder-publico/prazos-e-tarifas/conteudo/tarifa-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

ARTESP - AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DE TRANSPORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Aprova a especificação Técnica de Veículos Automotores de Transporte Coletivo de Passageiros Rodoviário e Urbano Intermunicipal**. Portaria ARTESP – 21 de 29 novembro de 2004. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo 30 nov.2004.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Síntese dos Preços Praticados** - SAO PAULO, Resumo II - Diesel S10 R\$/l, Período: De 22/01/2017 a 28/01/2017.

ALOUICHE P. L. **A disputa “BRT x VLT”: uma falsa polêmica**. São Paulo: 12ª AEAMESP. São Paulo, 29 agosto, 2006.

_____. **VLT Transporte de média capacidade para São Paulo**. Mobilidade urbana no contexto do Plano Estratégico do ESP2040. SEESP, São Paulo, 9 fev. 2012.

ALSTOM. **Citadis Dualis**. Disponível em: <alstom.com/transport/citadisdualis>. Acesso em: 30 mar. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14040**: Gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida - princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2009a.

_____. **ABNT NBR ISO 14044**: Gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida - requisitos e orientações. Rio de Janeiro: ABNT, 2009b.

_____. **ABNT NBR 14145: 2004**: Medição de ruído emitido por veículos rodoviários automotores em aceleração. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **ABNT NBR 1367:1997**: Ruído interno e externo em carro metropolitano e veículo leve sobre trilhos (VLT) – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **ABNT NBR 13068:1994**: Ruídos interno e externo em carro metropolitano: procedimento. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **ABNT NBR 9079:1985**: Veículo automotor - determinação do ruído interno - método de ensaio. Rio de Janeiro, 1985.

_____. **ABNT NBR 50001:2011**: Gestão de riscos – princípios e diretrizes. Rio de Janeiro, 2011.

ANTP - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES PÚBLICOS. **Sistema de informações da mobilidade urbana da ANTP – julho/2014. Relatório comparativo 2003/2012**. Disponível em: <http://files-server.antp.org.br/_5dotSystem/userFiles/SIMOB/Comp_Sum%20Exe_03_12_V1.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2017

AUDENHOVE, F. et al, 2014. **The future of urban mobility 2.0: imperatives to shape extended mobility ecosystems of tomorrow**. UITP - Arthur De Little, 2014. Disponível em: <<http://www.uitp.org>> Acesso em: 10 nov. 2016

BACEN – BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Evolução da cotação do dólar**. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

BÁFERO, M.T. **Fornecimento de 22 (vinte e dois) veículos leves sobre trilhos – VLT, a serem utilizados na rede de veículos leves sobre trilhos – VLT, da região metropolitana da baixada Santista - RMBS**. Comissão especial julgadora de licitações para a concorrência nº 004/2012. Publicado no DOE DE 31/08/2012 - caderno empresarial. EMTU, São Paulo, 2012.

BAEDEKER, S.B.; HÜGING, H. **Urban transport and energy efficiency**. In: Sustainable transport: a sourcebook for policy-makers in developing cities. Berlin: DGf, 2012. Disponível em: <<http://www.giz.de>>. Acesso em: 12 dez. 2014.

BALALI, V.; ZHRARIE, B.; ROOZBAHANI, A. **A comparidon of AHP and promethee family decision-making methods for selecting of building structural system**. American Journal of Civil and Engineering and Architecture, vol. 2, N. 5, 149-159, 2014.

BANAI, R. **Public Transportation Decision-Making: a case analysis of the memphis light rail corridor and route selection with analytic hierarchy process**. Journal of Public Transportation, vol. 9, N° 2, 2006.

BARAN, J.; ZAK, J. **Multiple Criteria Evaluation of transportation performance for select agribusiness companies**. Procedia – Social and Behaviour Scisnces, Elsevier, v.111 , p. 320-329, 2014.

BASANI, A. **Único BRT da Capital Paulista era para ser moderno sistema de trólebus: história, dez anos de Expresso Tiradentes**. São Paulo: Diário do Transporte. São Paulo, 12 mar 2017. Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2017/03/12/historia-10-anos-de-expresso-tiradentes/>>. Acesso em 10 set 2017.

BOARETO, R. **A política de mobilidade urbana e a construção de cidades sustentáveis**. Revista dos Transportes Públicos - ANTP - Ano 30/31 - 2008 - 3º e 4º trimestres. Disponível em: <<http://www.fetranspordocs.com.br/downloads/10APoliticaConstrucaoCidadesSustentaveis.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2017.

BOMBARDIER TRANSPORTATION. **Innovia monorail 300 technology**. Disponível em: <http://www.bombardier.com>>. Acesso em: 10 fev. 2017.

BOORSE, J.W.; TENNYSON, E.L.; SCHUMANN, J.W. **This is light rail transit**. Washington, D.C: Transportation Research Board, November 2000.

BOUJELBENE, Y.; DERBEL, A. **The performance analysis of public transport operators in Tunisia using AHP method**. Procedia Computer Science, v. 73, p.498-508, 2015.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituição/Constitui%C3%A7ao.htm>. Acesso em: 10 nov. 2009.

_____. Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. **Institui o Código de Trânsito Brasileiro**. Diário Oficial da União, Brasília, 24 set. 1997.

_____. Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012. **Institui as diretrizes da política nacional de mobilidade urbana**. Diário Oficial da União, Brasília, 4 jan. 2012.

BRTBRASIL. **O BRT TransCarioca**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.brtbrasil.org.br/index.php/brt-brasil/cidades-com-sistema-brt/rio-de-janeiro/brt-transcarioca#.WO-puPnytdg>>. Acesso em: 30 mar 2017.

BRT Sunway Line. **Began Operation in 02 June 2015**. Malaysia, 2015. Disponível em: <https://en.m.wikipedia.org/wiki/BRT_Sunway_Line>. Acesso em: 10 set 2017.

BRT UK Member Organization - BRTUK. **Scania reveals ‘mega bus’ for bus rapid transit brt latin america transit market**. BRTukTest. UK, 2015. Disponível em <<http://www.brtuk.com/scania-reveals-mega-bus-for-bus-rapid-transit/>>. Acesso em: 18 Jan. 2017.

BRT Xiamen. **Began Operation in 01 sep 2008**. Xiamen, China, 2008. Disponível em: <<https://m.brtdata.net/en/cities/xiamen.aspx>>. Acesso em: 10 set 2017.

BRYSON, J.M., PATTON, M.Q., BOWMAN, R.A.Q. **Working with evaluation stakeholders: A rationale, step-wise approach and toolkit**. Journal of Evaluation and Program Planning, v.34, p. 1-12, 2011.

BUO, T. **Environmental assessment of bus transport in the trondheim region: evaluation of relevant bus and fuel technologies and their potential for mitigating emissions from passenger transportation**. Dissertation (Master in Industrial Ecology) Kjartan Steen-Olsen, EPT Department of Energy and Process Engineering. Submission date: June 2015, Norwegian University of Science and Technology. Disponível em: <https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2350148/13898_FULLTEXT.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2017.

CONSELHO MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Audiência pública, linha 2 – verde – trecho oratório – cidade Tiradentes**. 129ª Reunião Plenária Ordinária do CADES. Prefeitura do Município de São Paulo, 02 fev. 2011.

_____. **Verde – Trecho Oratório – Cidade Tiradentes**. Prefeitura do Município de São Paulo, 24 fev, 2011.

CARVALHO, C. H. R. **Emissões relativas de poluentes do transporte urbano**. Boletim regional, urbano e ambiental. Brasília, 2011. Disponível em: <www.ipea.gov.br>. Acesso em: 01 out 2014.

CARREIRA, R. et al. **Understanding the travel experience and its impact on attitudes, emotions and loyalty towards the transportation provider: A quantitative study with mid-distance bus trip**. Transport Policy, n. 31, p. 35-46, 2014

CASAROTTO, N.; KOPITKE, B. **Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica e tomada de decisão**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1985.

CATANHO, M. G. **Análise dos impactos ambientais e urbanos decorrentes dos investimentos em implantação ou operação de Sistemas BRT – Classe I (Transporte Rápido por Ônibus): o caso do Expresso Tiradentes em São Paulo**. 201 f. Dissertação (Mestrado) – IPT/SP, São Paulo, 2009.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Emissões veiculares no Estado de São Paulo, 2013**. Disponível em: <<http://www.cetesb.gov.br/ar/emissao-veicular/>> 2015. Acesso em 10 mar. 2016.

CHEHEBE, J. R. **Análise do ciclo de vida de produtos**. Ferramenta gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2002.

CHESTER, M. et al. **Life cycle assessment for transportation decision making**. UCLA Institute of the Environment and Sustainability. California Energy Commission, Publication Number: CEC-500-2010-XXXX. Disponível em: <<http://www.transportationlca.com/>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

CICHINELLI, G. **Monotrilho Leste Modal inédito no País chama a atenção pela velocidade executiva e precisão milimétrica das vias e estações elevadas**. São Paulo: Rodriguez Arquitetura, 2013. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?isbn=8582603894>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

CINQUINA, A. **Sustainable public urban transport system: the case of Curitiba**. Sweden: Lund University, 2008. Disponível em: <<http://www.lumes.lu.se>>. Acesso em: 30 dez. 2016.

CET - COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRAFEGO – CET/SP. **Critérios para a classificação das vias públicas de São Paulo. Portaria 21/02**. São Paulo: DSV, 2002.

COSTA, P. M. **BRT Transcarioca terá superônibus para até 270 passageiros**. O Dia, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://odia.ig.com.br/noticia/rio-de-janeiro/2014-08-25/brt-transcarioca-tera-superonibus-para-ate-270-passageiros.html>>. Acesso em: 17 jan. 2017.

D'AGOSTO, M. A. **Alternativas tecnológicas para ônibus no Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: COPRE, UFRJ, PET 14857, 2012.

DAVE, S. **Life cycle assessment of transportation options for commuters**. Massachusetts Institute of Technology (MIT) February 2010. Disponível em: <<http://files.meetup.com/1468133/LCAwhitepaper.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2017.

De la Rue du Can, S. et al. Energy **Efficiency indicators methodology booklet**. Berkley, Berkeley National Laboratory 2010. Environmental Energy Technologies Division May 2010, LBNL 3702E.

DELL'OLIO, L.; IBEAS, A.; CECIN, P. The quality of service desired by public transport users. **Transport Policy**. Elsevier, v. 18, n. 1, p. 217-227, 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de projeto geométrico de travessias urbanas**. - Rio de Janeiro, 2009.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mitigação das emissões de gases de efeito estufa: Uso de etanol da cana-de-açúcar produzido no Brasil**. In São Paulo: Revista do Agro Negócio, FGV, v. 29, n. 4, abril 2009.

EMTU - EMPRESA METROPOLITANA DE TRANSPORTES URBANOS. **Audiência Pública da PPP do SIM da RMBS**. Santos, 22 de outubro de 2013a.

_____. **VLT da Baixada Santista**. In: SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA, 2013, São Paulo. São Paulo: AEAMESP, 2013b.

EPAMINONDAS D., **Os mon trilhos nas implantações de projetos metro-ferroviários** in: SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 17. 2011, São Paulo. São Paulo: AEAMESP, 2011.

EPE – MME. **Consumo de energia no Brasil: análises setoriais**. Rio de Janeiro, 2014. Nota Técnica DEA 10/14

FAJERSZTAJIN, M. **Ruas e avenidas: contribuição à classificação viária para a cidade de São Paulo**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

FREEMAN, R. E. ; McVEA, J. A. **Stakeholder approach to strategic management**. Darden Graduate School of Business Administration, University of Virginia, Working Paper No. 01-02. Disponível em: <http://papers.ssrn.com/paper.taf?abstract_id=263511>. Acesso em: 20 Jan. 2017.

FREEMAN, R. E. **Strategic management: a stakeholder approach**. Boston: Pitman, 1984.

FREITAS, B. **Scania lança no Brasil ônibus biarticulado com motor dianteiro**. Portal Vrum, Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <http://estadodeminas.vrum.com.br/app/noticia/noticias/2015/10/11/interna_noticias,51509/scania-lanca-no-brasil-onibus-biarticulado-com-motor-dianteiro.shtml>. Acesso em: 10 jan. 2017.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS – FGV. **Atualização de valores, através do IGP-DI e INCC da Fundação Getúlio Vargas**. Disponível em: <<http://www.fee.rs.gov.br/servicos/atualizacao-valores/>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. S. **Métodos de pesquisa**. UAB/UFRS. Porto Alegre: Ed. UFRS, 2009.

GOMES. L. F. A. M; GOMES, C. F. S. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. 5ª Ed. São Paulo: Atlas, 2014.

GOMES. L. F. A. M. et al. **Tomada de decisões em cenários complexos**. São Paulo: Cengage Learning, 2004.

GRANVILLE, A. **Estudo comparativo entre combustíveis utilizados na frota de ônibus urbanos da cidade de São Paulo**. Dissertação (Mestrado.) - Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

HENRY, L. **LRT beats BRT on key metrics: FTA**. RailwayAge, July, 17, 2015. Disponível em: <<http://www.railwayage.com/index.php/blogs/lyndon-henry/lrt-beats-brt-on-key-metrics-fta.html>>. Acesso em: 10 dez. 2016.

HITACHI-RAIL-HITACHI MONORAIL. **System capacity**. Disponível em: <http://www.hitachi-rail.com/products/rolling_stock/monorail/feature01.html>. Acesso em: 10 fev. 2017.

HOLLINGWORTH, B. et al, 2010. **Urban transportation indicators: fourth survey**. Transportation Association of Canada – www.tac-atc.ca. Ottawa, 2010.

HUBBELL, J.; COLQUHOUN, D. **Light rail transit in Calgary: the First 25 Years**. In: JOINT INTERNATIONAL LIGHT RAIL CONFERENCE, 2006, Missouri. Proceedings. Washington: Transportation Research Board, 2006.

IEE/USP, Programa de Pós-Graduação em Energia. **Objetivos gerais do programa, perspectivas de evolução e tendências**. Disponível em: <<http://www.energia.usp.br/energia/pdf/historico.pdf>>. Acesso em :10 out 2013.

ISO - ORGANIZATION FOR INTERNATIONAL STANDARDIZATION. **ISO 50001:2011** - Energy management systems - Requirements with guidance for use, 2011.

ITDP - INSTITUTE FOR TRANSPORTATION & DEVELOPMENT POLICY. **The BRT standard 2014**. New York: ITDP, 2014. Disponível em: <<http://www.itdp.org>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

_____. **The BRT standard 2016**. New York: ITDP, 2016. Disponível em: <<http://www.itdp.org>>. Acesso em: 20 se. 2017.

JAPAN MONORAIL ASSOCIATION. **Monorails: future of urban travel**. Japan, 2016. Disponível em: <<http://www.nihon-monorail.or.jp>>. Acesso em: 15 fev 2017.

KATO, H. et al. **A systemic approach for evaluating public transport systems throughout LCA**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ECOBALANCE, 7, Japan, 2006. Proceedings. Japan: Yokohama National University, 2006

KLIUCININKAS, L. et al. **The life cycle assessment os alternatives of fuel chains for urban buses and trolley buses**. Journal of Environmental Management. v.99, p. 98-103, 2012.

KUWABARA, T. et al. **New solution for urban traffic: small-type monorail system**. Hitachi Review, vol. 50, n° 4, 2001. Disponível em: <https://www.hitachi.com.rev/pdf/2001/r_2001_04_104.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2017.

KUMAR, M. **Sustainable urban transport indicators**. New Delhi: The Energy and Resources Institute, 2014. TERI-NFA Working Paper n. 12 Disponível em <<http://www.teriin.org/projects/nfa/pdf/working-paper-12-Sustainable-urban-transport-indicators.pdf>>. Acesso em: 10 Jan. 2015.

KÜHN, F. **Bus rapid or light rail for intermediate cities?** France: Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité, Arcueil, 2002.

LASCALA, T. L. S. **Externalidades da substituição do diesel pelo etanol no transporte público urbano da região metropolitana de São Paulo**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

LERNER, J. **Avaliação comparativa das modalidades de transporte público urbano**. Curitiba : Athalaia, 2009.

LIGHT RAIL NOW. **Calgary: train light rail growth continues with northeast extension**. Light Rail Now Project Team - January 2008. Disponível em: <http://www.lightrailnow.org/news/n_cal_2008-01a.htm>. Acesso em: 17 nov. 2011.

LONGO, G.; MEDEOSI, G.; PADOANO, E. **Multi-Criteria analysis to support mobility management at a university campus**. Transportation Research Procedia, Elsevier, v. 5, p.175-185, 2015.

LOPES, M.R. **Forum de mobilidade urbana**. São Paulo: Ministério Público, 2013. Disponível em: <<http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/noticias/noticia?idnoticia=10974580idgrupo=118>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

LUCA, S. **Public engagement in strategic transportation planning: An analytic hierarchy process based approach**. Transport Policy, n. 33, p. 110-124, 2014.

LUPO, T. **Handling stakeholder uncertain judgments in strategic transport service analyses**. Transport Policy, Elsevier, v. 29, p. 54-63, 2013.

McFEDRIES, P. **Fórmulas e funções com Microsoft Office Excel 2007**.3 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2012.

MACHARIS, C.; BERNARDINI, A. **Reviewing the use of Multi-Criteria Decision Analysis for the evaluation of transport projects: time for a multi-actor approach**. Transport Policy, Jan., 2015. DOI: 10.1016/j.transpol.2014.11.002

MACHARIS, C. et al. **The multi-actor, multi-criteria analysis methodology (MAMCA) for the evaluation of transport projects: theory and practice**. Journal of Advanced Transportation, vol 43, n. 2, April, p. 183-202, 2009.

MADISON BRT TRANSIT. **Corridor study proposed BRT travel time estimation approach**. Madison, 2013. Disponível em: <<http://www.madisonareampo.org/documents/DBRTTravelTimeEstimationApproach.pdf>> Acesso em: 10 abr. 2017.

MAGALHÃES, M. T. Q. **Fundamentos para a pesquisa em transportes: reflexões filosóficas e contribuição da ontologia de Bunge**. Tese (Doutorado em Transportes) Brasília: Universidade de Brasília, 2010.

MANOEL, M.V.; HERNÁNDEZ, C.T. **Transporte rodoviário de passageiros: a escolha de alternativas em relação ao custo, tempo e emissão de CO₂**. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 9., 2014, Rio Janeiro 2014. Proceedings. Alagoas, Universidade Federal de Alagoas, 2014.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: Os requisitos ambientais dos produtos industriais**. São Paulo: Edusp, 2008.

MASCARÓ, J.; YOSHINAGA, M. **Infraestrutura Urbana**. Porto Alegre: Masquatro editora Ltda, 2013.

MECHANICAL DESIGN Forum – MDForum. **Conversion of specific fuel consumptions**. Disponível em: <<http://www.mechanicaldesignforum.com>>. Acesso em: 15 out. 2014.

MECA, P. S. A., **Prolongamento da linha 2: verde do metro de São Paulo**. In: 17ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA, 17., 2011, São Paulo. **AEAMESP**. São Paulo.

_____. **Os Desafios da implantação do monotrilho: linha 15 prata: Metro de São Paulo**. SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA, 19., 2013, São Paulo. **AEAMESP**. São Paulo.

MERCEDES-BENZ. **Chassi 0-500 MA 2836 motor OM-457 la principais características.** Disponível em: <www.mercedes-benz.com.br>. Acesso em :10 dez. 2016.

METRÔ de São Paulo. **Indicadores, 2014a.** Disponível em <<http://www.metro.sp.gov.br/metro/numeros-pesquisa/indicadores.aspx>>. Acesso em: 10 jul. 2015.

_____. **Indicadores, 2016.** Disponível em: <<http://www.metro.sp.gov.br/metro/numeros-pesquisa/indicadores.aspx>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

METRÔ de São Paulo - Linha 4. **Via Quatro, 26 de fevereiro de 2016:** balanço 2015. Disponível em: <www.grupoccr.com.br/ri2015/pdf/gri-ccr-2015.pdf>. Acesso em: 10 jan 2017.

METRÔ de São Paulo – Monotrilho, Linha 15 – Prata, 2017. **Características da Linha.** Disponível em: <<http://www.metro.sp.gov.br/obras/monotrilho-linha-15-prata/caracteristicas.aspx>>. Acesso em: 11 jan. 2017.

METRÔ de São Paulo. **Relatório da Administração, 2014b.** Disponível em: <<http://www.metro.sp.gov.br/metro/institucional/pdf/rel-administracao.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2015.

_____. **Relatório da Administração, 2016.** Disponível em: <<http://www.metro.sp.gov.br/metro/institucional/pdf/rel-administracao.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

MICHAELIS, L. (1996). **Mitigation Options in the Transportation Sector.** Disponível em: <http://www.ipcc-wg2.gov/publications/SAR/SAR_chapter%2021.pdf>. Acesso: 3 jun. 2013.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Fatores de emissões de CO₂eq por MWh gerado.** MCT, 2017. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana. **Manual de BRT:** bus rapid transit. Brasília, 2008. Guia de Planejamento.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional: BEN 2014 ano base 2013.** Rio de Janeiro: EPE, 2014. Relatório Síntese

_____. **Demanda de energia 2050:** nota técnica 13/14. Rio de Janeiro: EPE, 2014. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/DEA%2013-14%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

_____. **Plano nacional de eficiência energética - premissas básicas (PNEf).** In: PLANO NACIONAL E ENERGIA 2030. Disponível em: <http://www.orcamentofederal.gov.br/projeto-esplanada-sustentavel/pasta-para-arquivar-dados-do-pes/Plano_Nacional_de_Eficiencia_Energetica.pdf>. Acesso em: 10 jan 2015.

MPSP - Ministério Público de São Paulo. **Fórum de mobilidade urbana: tarifa e financiamento - alternativas para a região metropolitana de São Paulo.** Organização: Promotor Dr. Maurício Ribeiro Lopes. São Paulo, 07 e 08, outubro, 2013. Disponível em: <http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/noticias/noticia?id_noticia=10974580&id_grupo=118>. Acesso em: 10 jan. 2015.

MITSUBICHI HEAVY INDUSTRIES. **Suspended monorail**. Disponível em: <<http://mhi.com/products/category/monorail.html>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

MONORAILS AUSTRALIA (a). **Beating the gridlock on the ground**. ABN: 62 621 816 146. Disponível em: <<http://www.monorailsaustralia.com.au/index.html>>. Acesso em 25 mar 2017.

MONORAILS AUSTRALIA (b). **Mitsubishi “Urban Flyer” Assessment, 2015**. Disponível em: <<http://www.monorailsaustralia.com.au>>. Acesso em: 25 mar 2017.

MORADI, M. et al, 2014. **Comparison of conventional and modern public transport systems**. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology , v.7 n.4, p. 791 – 794, 2014.

MRAIHI R. **Transport intensity and energy efficiency: analysis of policy implications of coupling and decoupling**. In: Tech, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5772/50808>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

MU, E.; PEREYRA-ROJAS, M. **Practical decision making**. SpringerBriefs in Operations Reserarch, DOI 10.1007/978-3-319-33861-3_2, 2017.

MUNIER, N. **Methodology to select a set of urban sustainability indicators to measure the state of the city, and performance assessment**. Ecological Indicators, Elsevier, v. 11, p. 1020-1026, 2011.

OLIVEIRA, G. T.; ROSA, B. T. **Comparativo de desempenho de sistemas de transporte público de média capacidade via AHP: estudo BRT x VLT no Rio de Janeiro**. Disponível em: <<http://www.anpet.org.br>>; Acesso em: 10 dez. 2016.

PATTERSON, M. G. **What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues**. Energy Policy. V. 24, n. 5, p. 377-390, 1996.

PEDROSO, G.; TEIXEIRA, C. E. ; SANCHES JR., O. **Comparative evaluation of BRT (Bus Rapid Transit) and LRT (Light Rail Transit) systems: Life Cycle simulation using the GABI Software tool**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIFE CYCLE ASSESSMENT, 5., 2013, Mendoza. Proceedings, CICLA. Mendoza: Facultad Regional Mendoza. 2013a. p. 245 – 251.

_____. **A gestão de sustentabilidade nos planos ambiental, econômico e social: prospecção de métodos e indicadores no segmento de transportes urbanos**. In: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM ADMINISTRAÇÃO, 37, 2013. Rio de Janeiro: Anais. XXXVII EnANPAD, 2013b.

_____. **Avaliação comparativa de sustentabilidade de sistemas VLP (Veículo leve sobre pneus) e VLT (Veículo leve sobre trilhos): um estudo exploratório**. Dissertação (Mestrado). São Paulo: IPT/SP, 2012.

PIMENTA, L.C.; CASTRO, E. **Volvo entrega 124 ônibus articulados para o BRT do Rio de Janeiro**. Volvo Bus Latin America. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://blogdocaminhoneiro.com/2014/05/volvo-entrega-124-onibus-articulados-para-o-brt-do-rio-de-janeiro/>>. Acesso em: 17 jan. 2017.

PLANUS. **Plano de mobilidade urbana sustentável da grande Florianópolis**. Logit Engenharia Consultiva. Florianópolis, 2015.

PORTAL DE TECNOLOGIA. **Expresso Tiradentes atende 40 mil usuários por dia**. 2009. Disponível em: <<http://www.portaldetecnologia.com.br/?s=Expresso+Tiradentes+>>. Acesso em: 7 jul. 2011.

POTTER, Stephen, 2003. **Transport energy and emissions: urban public transport, in handbook of transportation and the environment**. Amsterdam, Boston: Elsevier. Eds: Hensher, D.A., and K.J.Button

PREFEITURA-RIO-SECPAR. **Veículo leve sobre trilhos: VLT**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/secpar/vlt>>. Acesso em: 03 abr. 2017.

RAIL SYSTEM.NET. **Light Rail System – cost comparison to other rail transit modes, 2010**. Disponível em <<http://www.railsystem.net/light-rail-transit/>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

RAILWAY-TECHNOLOGY.COM. **Manila light rail, philippines**. Disponível em: <<http://www.railway-technology.com/projects/manila/>>. Acesso em: 10 abr 2017.

REIS, S. **A mercedes-benz desponta no BRT do Rio de Janeiro: montadora vende 50 superarticulados para o consórcio que opera o sistema transoeste, transcarioca, transolímpica**. Rio de Janeiro: AB Notícias, 2016. Disponível em: <<http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/24056/mercedes-benz-desponta-no-brt-do-rio-de-janeiro>>. Acesso em: 17 jan. 2017.

REVISTA FERROVIÁRIA. **Transporte urbano sobre trilhos**. Editora Ferroviária Ltda, Ano 76, junho/julho, 2015.

REVOLVY. **Manila light rail transit system**. Disponível em: <https://www.revolv.com/topic/Manila%20Light%20Rail%20Transit%20System&item_>

ROCHA R. **Estado muda estratégia para Linha 18**. Diário do Grande ABC, 30 jul. 2016. Disponível em: <<http://www.dgabc.com.br/Mobile/Noticia/1996009/estado-muda-estrategia-para-linha-18>>. Acesso em: 15 jan. 2017.

RODRIGUES, M. A. **Análise do transporte coletivo urbano com base em indicadores de qualidade**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia 2008.

SAATY, T. L. **Decision making with the analytic hierarchy process**. International Journal of Sciences, v. 1, n° 1, 2008.

_____. **Método de análise hierárquica**. Rio de Janeiro: Ed. McGraw Hill: Makron Books do Brasil. 1991.

_____. **The Analytic hierarchy process**. New York: McGraw Hill, 1980.

SCANIA Group. **Motor DC13 114 (360)**. Disponível em: <<http://www.scania.com/group/en/wp/p11x21EN/Per-Rrik Nordstöm/25-10-2011>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

SCHILLER, L. P.; BRUUN, E. C.; KENWORTHY, J. R. **An Introduction to Sustainable Transportation: Policy, Planning and Implementation**. London: Earthscan, 2010.

SCOMIRAIL. Monorail – **The revolution of urban transit**. Disponível em: <<http://www.scomiengineering.com.my>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

SETMSP - SECRETARIA DE ESTADO DOS TRANSPORTES METROPOLITANOS. **Requerimento de informação nº 273/2013**. São Paulo, 08 out. 2013. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/propositura/?id=1155939>> Acesso em: 15 jan. 2017.

SEIFE, C. **Os números não mentem**. Ed. Zahar, NY, 2010. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=1lktaoyGym4C&pg=PA31&lpg=PA31&dq=poder+de+compra+do+dolar+americano+em+1970>>. Acesso em: 10 Jan. 2017.

SEKITANI, T. et al. **China's first urban monorail system in chongqing**. Hitachi Review v. 54, n. 4. 2005

SENADO FEDERAL. **Mobilidade urbana - hora de mudar os rumos**. Revista de audiências públicas do Senado Federal, Ano 4, n. 18, nov, 2013. Disponível em <http://www.senado.leg.br/em_discussão>. Acesso em: 10 fev. 2017.

SMT - SECRETARIA de MOBILIDADE e TRANSPORTE. **e-NegóciosCidadeSp: consulta pública**. Prefeitura de São Paulo, São Paulo, 14 out. 2015. Disponível em: <<http://e-negocioscidade.sp.prefeitura.sp.gov.br/DetailEvento.aspx?!=oe%2Bia14m8bs%3D&e=wgBughkmk9g%3D>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

SHANG, J.S.; TJADER, Y; DING, Y. **A unified framework for multicriteria evaluation of transportation projects**. IEE Transactions on Engineering Management, vol. 51, n. 3, Aug. 2004.

SHAOXUAN, F. et al. **Electrical components and air-conditioning units for low-environmental-impact trains for subway systems in China**. Hitachi Review, vol. 57, nº 1, 2008. Disponível em <[https://www.hitachi.com/ICS Files/](https://www.hitachi.com/ICS%20Files/)>. Acesso em: 15 fev. 2017.

SHI, W., et al., **Comparison study on moving and transportation performance of transportation modes**. International Journal of Energy and Environment. v.2, n. 4, 2008.

SCHILLER et al. **An introduction to the sustainable transportation: policy, planning and implementation**. London: Earthscan, 2010.

SILVA, C. O **Elevado Presidente João Goulart, o Minhocão**. São Paulo, 04 ago 2016. Disponível em <<http://www.blogmobilidadeurbana.com/single-post/2016/08/04/Elevado-Presidente-Jo%C3%A3o-Goulart-o-Minhoc%C3%A3o>> Acesso em: 09 jan. 2017.

SKYTRAINCORP. **Monorail history & technology of successful technology**. Disponível em: <http://www.skytraincorp.com/pp/stc_mht.pdf>. Acesso em: 10 jan 2017.

SKYSCRAPERCITY. **VLT de Atenas e Bordeaux**. Disponível em: <<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=887842&page=3>>. Acesso em: 17 nov. 2011.

SOARES, L. H. B.; ALVES, J. B. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Mitigação das emissões de gases de efeito estufa. **Agro Analysis – FGV**, São Paulo, v. 29, n. 4, abr. 2009. Disponível em: <<http://www.agroanalysis.com.br/4/2009/conteudo-especial/especial-embrapa-mitigacao-das-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa>>. Acesso em: 06 ago. 2014.

SOLTANI, A. et al. **Multiple stakeholders in multi criteria decision making in the context of Municipal Solid Waste Management: A review**. Elsevier, Waste Management, v.35, p. 318-328, 2015.

SPTRANS. **RT-020.00/RA2/004 - Anexo IV: padrões técnicos de veículos**. São Paulo Transportes, São Paulo, SP, 2013.

_____. Base de dados da São Paulo Transportes. Disponível em: <<http://www.sptrans.net/>>. Acesso em: 10 out. 2017.

STANGER, R. **Comparative performance on Los Angeles's transit modes**. In: JOINT LIGHT RAIL CONFERENCE, 11., 2009, Los Angeles. **Proceedings...**Los Angeles, 2009.

SYSTRA. **Manila LRT: line LRT1 philippines**. Disponível em: <https://www.systra.com/IMG/pdf/metro_manillelrt1_en.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2017.

STRUKTONRAIL. **Traction inverters for kuala lumpur monorail vehicles**. Disponível em: <<http://struktonrail.com/projects/traction-inverters/>>. Acesso em: 05 jan. 2017.

TÁVORA, P. **Unidades de medida**. São Bernardo do Campo: van Rossi Editora, 1975.

TCHERTCHIAN, N.; MILLET, D.; YVARIS, P.A. **The influence of the level of definition of functional specifications on the environmental performances of a complex system**. EcoCSP approach. International Journal of Sustainable Engineering, v. 9, n.4, p.277 – 290, 2016

TERRADOS, G. A.; AGUILERA, J. (2010). **Energy planning: a sustainable approach, paths to sustainable energy**. Dr Artie Ng (Ed.), ISBN: 978-953-307-401-6, In Tech. Disponível em: <<http://www.interchopen.com/books/paths-to-sustainable-energy/energy-planning-a-sustainable-approach>>. Acesso em: 10 mar 2017.

THE MONORAIL SOCIETYa. **How much does monorail cost?** Disponível em: <<http://www.monorails.org/tMspages/HowMuch.html>>. Acesso em: 15 jan. 2017.

THE MONORAIL SOCIETYb. **What is a monorail?** Disponível em: <<http://www.monorails.org/>>. Acesso em: 05 fev 2017.

TOPEU, Y.I.; ONAR, S.C. **A multi-criteria decision model for urban mass transit system**. In: 41 International Conference on Computers & Industrial Engineering., 41 Los Angeles, 25 out 2011, USA.

TORTORIELLO, L.F.P.; PEREIRA, W.F. **Estudo de demanda do VLT do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://files-server.antp.org.br/Document/2013.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. **Energy savings strategies for transit agencies: a synthesis of transit practice**. Washington, DC, 2013. www.TRB.org, USA.

VELASQUES. M; HESTER., P.T. **An analysis of multi-criteria decision making methods**. International Journal of Operations Research , v. 10, n. 2, p. 56-66, 2013. Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Monorail>>. Acesso em: 10 jan 2017.

VOLVO Bus Corporation. **Volvo buses. when productivity counts: DH12E 340/380/420/460 EURO 4, EURO 5, EEV.** Volvo Bus Corporation, Göteborg, Sweden. Disponível em <www.volvobuses.com>. Acesso em: 15 dez 2016.

VOLVO DO BRASIL. **Transportadores demandam motores cada vez mais potentes.** VOLVO EURODO, Ano XXIII, Nº117, 2009. Disponível em: <<http://www.volvo.com.br/corp/eurodo/er117/er117bx.pdf>>. Acesso em 10 out 2016.

VOSSLOH Rail Vehicles. **Tramlink family.** Disponível em: <<http://www.vossloh-rail-vehicles.com>>. Acesso em: 10 dez 2016.

VOUCHIC, V. R. **Urban public transportation: systems and technology.** New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1981.

_____. **Urban transit: systems and technology.** New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2007.

VTA - Santa Clara Valley Transportation Authority (VTA). **VTA light rail transit service guidelines.** Santa Clara, Califórnia, 2007. Disponível em: <<http://www.vta.org/sfc/servlet.shepherd/version/download/068A0000001FcC7>>. Acesso em: 10 Abr. 2017.

WHEELAN, CHARLES. **Economia nua e crua: o que é, para que serve, como funciona.** Ed. Zahar, NY, 2014. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=h7izBAAAQBAJ&pg=PT245&dq=QUANTO+CUSTAVA+UM+CARRO+EM+D%C3%93LARES+AMERICANOS+EM+1970>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

WIKIPEDIA.ORG. **List of monorail systems.** Disponível em: <https://en.m.wikipedia.org/wiki/List_of_monorail_systems>. Acesso em: 10 jan. 2017.

YIN, R. K. **Case study research: design and methods.** 5ª ed. Los Angeles: SAGE, 2014.

YU, A.S. O. **Tomada de decisão nas organizações: uma visão multidisciplinar.** São Paulo: Saraiva, 2011.

ZIELINSKI, S. **Uma ótica inovadora sobre a mobilidade sustentável.** Revista NTUurbano, Ano III, Número 16, jul / ago 2015. Disponível em: <http://www.ntu.org.br/novo/upload/Publicacao/Pub635757768254141036.pdf>>. Acesso em 16 nov. 2016.

ANEXO I – PROCEDIMENTO - PREFERÊNCIAS DOS AGENTES DE DECISÃO

1 | OBJETIVO

O objetivo deste anexo é descrever o procedimento que foi aplicado pelo autor na pesquisa de preferências (importâncias) dos *stakeholders* (agentes de decisão) pelos critérios e subcritérios selecionados para a análise do trabalho. A pesquisa foi conduzida entre maio de 2016 e abril de 2017.

2 | PROCEDIMENTO

Tomada de decisão em cenário de Múltiplos Critérios, *Stakeholders* e Alternativas Seleção e Avaliação de Critérios e Subcritérios para Estudo de Caso Pesquisa em andamento no Instituto de Energia e Ambiente – IEE/USP

Guilherme Pedroso – 2016 – e-mail: guipedro@uol.com.br

Esse procedimento tem como objetivo coletar informações sobre os Critérios e Subcritérios considerados importantes para um estudo acadêmico em tomada de decisão para a escolha de modais rodoviários e ferroviários para transporte urbano coletivo. A fonte dessas informações, sejam elas provenientes de pessoas físicas ou jurídicas, não será mencionada no estudo. Para efeito de classificação do material recebido, solicita-se que o entrevistado indique (marcar um “X”) o seu perfil quanto a sua relação com o transporte urbano coletivo (utilizar todos os perfis que sejam aplicáveis):

Operador (O) _____; Vizinho dos sistemas (V); _____; Usuário (U) _____; Fornecedor de sistema, equipamento ou serviço (F) _____; Consultor ou Pesquisador (C) _____; Outro (mencionar) _____.

3 | INTRODUÇÃO

A Tomada de Decisão que trata da seleção de uma entre várias Alternativas possíveis para resolver determinado Problema deve (ou pode, dependendo das circunstâncias) ser apoiada por métodos apropriados quando o contexto em estudo é o de um cenário complexo. Um cenário complexo é aquele em que estão presentes, além de múltiplas alternativas, também múltiplos critérios e subcritérios e múltiplos agentes de decisão. Entre os métodos de apoio há o denominado Método de Análise Hierárquica (SAATY, 1980, 1990, 1991).

Segundo esse método, os passos que devem ser seguidos para se identificar a alternativa, que melhor atende ao problema em estudo, são:

- a) Definir claramente o Problema de Decisão;
- b) Identificar os Tomadores de Decisão;
- c) Elencar as Alternativas candidatas a resolver o Problema de Decisão;
- d) Definir os Critérios e os Subcritérios Relevantes que as Alternativas devem atender;
- e) Desenhar o Problema de Decisão segundo uma estrutura hierárquica que organiza os Tomadores de Decisão, os Critérios e Subcritérios e as Alternativas;
- f) Quantificar as importâncias relativas entre os Critérios Relevantes e entre os Subcritérios Relevantes, atribuindo-lhes graus de importância definidos por Saaty (1991);
- g) Calcular o denominado Índice Global (Ibidem, 1991) para cada Alternativa. Ele é calculado pela somatória dos pesos atribuídos aos Critérios e Subcritérios multiplicados pelos parâmetros específicos de cada Alternativa. Os parâmetros são calculados por técnicos analistas. São exemplos de parâmetros específicos de uma determinada Alternativa: custos para implantação; operação e manutenção; quantidade real ou estimada das emissões de gás CO₂eq e níveis de ruídos produzidos no interior dos veículos e no meio ambiente etc.
- h) Selecionar a Alternativa que tenha o melhor Índice Global ou listá-las em ordem de preferência para que possam ser avaliadas na seleção final.

4 | ESTUDO DE CASO

- a) Problema de Decisão:

Um grupo de Tomadores de Decisão tem como meta escolher um modal de transporte urbano coletivo de passageiros para equipar um corredor linear de superfície de média capacidade de transporte.

- b) Tomadores de Decisão:

O Grupo de Tomadores de Decisão é formado por especialistas em Planejamento de sistemas de transportes urbanos de passageiros.

- c) Alternativas disponíveis:

Há três Alternativas de solução com as quais os Tomadores de Decisão estão trabalhando: Bus Rapid Transit (BRT); Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) e Monotrilho.

- d) Critérios e Subcritérios Relevantes:

Os Tomadores de Decisão estão:

- Montando o conjunto de Critérios e Subcritérios Relevantes (item 1.d acima);
- E quantificando as importâncias relativas entre eles (item 1.f acima).

Para tanto, eles solicitam a sua contribuição nessa montagem, fazendo as seguintes avaliações:

AVALIAÇÃO (1): Seleção de Critérios (1a) e Subcritérios (1b) Relevantes;

AVALIAÇÃO (2): Comparação de importância entre os Critérios pré-selecionados;

AVALIAÇÃO (3a): Comparação de importância entre os Subcritérios de Custo pré-selecionados;

AVALIAÇÃO (3b): Comparação de importância entre Subcritérios de Viabilidade Econômica e Financeira pré-selecionados;

AVALIAÇÃO (3c): Comparação de Importância entre os Subcritérios de Viabilidade Econômica e Financeira pré-selecionados;

AVALIAÇÃO (3d); Comparação de importância entre Subcritérios de Qualidade da Viagem pré-selecionados;

AVALIAÇÃO (3e): Comparação de importância entre Subcritérios de Impactos Ambientais pré-selecionados.

5 | NÍVEIS DE IMPORTÂNCIA

A Tabela **AI-1**, desenvolvida por Saaty (1991), define os Níveis de Importância (1, 3, 5, 7 e 9) que devem ser usados para comparar, dois a dois, os Critérios e Subcritérios Relevantes.

Nível 1	Os critérios A e B contribuem IGUALMENTE para a obtenção do Objetivo final da Decisão (os critérios têm igual importância);
Nível 3	O critério A tem IMPORTÂNCIA PEQUENA em relação ao critério B para a obtenção do Objetivo final da Decisão;
Nível 5	O critério A tem IMPORTÂNCIA GRANDE ou essencial em relação ao critério B para a obtenção do Objetivo final da Decisão;
Nível 7	O critério A tem IMPORTÂNCIA MUITO GRANDE (que pode ser demonstrada na prática) em relação ao critério B, para a obtenção do Objetivo final da Decisão;
Nível 9	O critério A tem IMPORTÂNCIA ABSOLUTA (com alto grau de certeza) em relação ao critério B, para a obtenção do Objetivo final da Decisão.

Tabela AI-1 – Níveis de importância entre Critérios e Subcritérios

Fonte: Elaborada pelo autor com base em Saaty (1991).

6 I CRITÉRIOS E SUBCRITÉRIOS RELEVANTES

O Grupo de Tomadores de Decisão fez uma seleção prévia de Critérios e Subcritérios considerados por eles como sendo Relevantes para a análise de sistemas de transportes urbanos coletivos (Quadro AI-1) e solicita sua contribuição com comentários e atribuindo a eles os pesos (1, 3, 5, 7 e 9) de importância.

O	V	U	F	C	Critérios Relevantes	Subcritérios Relevantes	O	V	U	F	C
					Custo do Sistema	Investimento em infraestrutura de via (INFRA: via de rolamento; pontos de embarque e desembarque; sistema de distribuição e captação de energia elétrica de tração);					
						Investimento em Veículos necessários para atender a demanda da Linha;					
						Custo da energia para operar os veículos ao longo da vida útil do sistema;					
						Custo de Operação e Manutenção (O&M) dos VEÍCULOS ao longo da vida útil do sistema					
						Custo de Operação e Manutenção (O&M) da INFRA ao longo da vida útil do sistema;					
						Custo para renovação do sistema (INFRA e VEÍCULOS) ao longo da vida útil do sistema.					
					Viabilidade Econômica Financeira	Tempo de Retorno do Investimento (TRI);					
						Taxa Interna de Retorno (TIR);					
						Valor Presente Líquido (VPL);					
					Eficiência Energética	Energia consumida por passageiro/km.					
					Qualidade da Viagem	Segurança: acidente entre os veículos do sistema;					
						Segurança: acidente entre os veículos do sistema e os veículos do sistema viário;					
						Tempo de viagem (função da velocidade média dos veículos);					
						Pontualidade da viagem (função da gestão da operação);					
						Acessibilidade universal;					
						Sistema de Informação aos passageiros;					
						Nível de ruído produzido no ambiente interno ao veículo.					

				Impacto Ambiental	Emissão de Gases de Efeito estufa - GEE (CO ₂ eq) ao longo da vida útil do sistema (emissão veicular);					
					Área do sistema viário ocupada pela infraestrutura (INFRA) de via;					
					Impacto visual estético da infraestrutura (INFRA) de via;					
					Divisão do sistema viário causado pela infraestrutura (INFRA) de via;					
					Nível de ruído produzido no ambiente externo ao veículo (causado pelo veículo);					
					Interferência (tempo e logística) no entorno do empreendimento durante a sua implantação.					

Quadro AI-1 – Formulário para atribuição de pesos de importância a Critérios e Subcritério

Fonte: Elaborado pelo autor.

Avaliação (1)

1a) Os Critérios Relevantes pré selecionados pelos Tomadores de Decisão SÃO SUFICIENTES para o Estudo de Caso (marque sua avaliação com um “X”):

SIM _____ NÃO _____

Se você marcou NÃO, indique outros Critérios que você entende que sejam Relevantes para esse Estudo de Caso:

1b) Os Subcritérios Relevantes pré selecionados pelos Tomadores de Decisão SÃO SUFICIENTES para o Estudo de Caso (marque sua avaliação com um “X”):

SIM _____ NÃO _____

Se você marcou NÃO, indique outros Subcritérios que você entende que sejam Relevantes para esse Estudo de Caso:

7 I COMPARAÇÃO DE IMPORTÂNCIA ENTRE CRITÉRIOS RELEVANTES

Avaliação (2)

Considere a Tabela de Níveis de Importância desenvolvida por Saaty (1991) e atribua um Nível de Importância (1 a 9) para comparar, **dois a dois**, os **Critérios Relevantes Pré-Selecionados** pelos Tomadores de Decisão.

Substitua o X pelo Nível de sua escolha, no quadro que se segue:

Nota: se você considera que A **é mais importante** do que B, marque (X).

Nota: se você considera que B **é mais importante** do que A, marque (1/X).

COMPARAÇÃO ENTRE OS CRITÉRIOS		NÍVEL
A	B	1 a 9
CUSTO	VIABIL ECON FINANCEIRA	X
CUSTO	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	X
CUSTO	QUALIDADE DE VIAGEM	X
CUSTO	IMPACTO AMBIENTAL	X
VIABIL ECON FINANCEIRA	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	X
VIABIL ECON FINANCEIRA	QUALIDADE DE VIAGEM	X
VIABIL ECON FINANCEIRA	IMPACTO AMBIENTAL	X
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	QUALIDADE DA VIAGEM	X
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	IMPACTO AMBIENTAL	X
QUALIDADE DA VIAGEM	IMPACTO AMBIENTAL	X

Quadro AI -2 – Comparação entre Critérios

Fonte: Elaborado pelo autor.

8 I COMPARAÇÃO DE IMPORTÂNCIA ENTRE SUBCRITÉRIOS RELEVANTES DE CUSTO

Avaliação (3a)

Considere a Tabela de Níveis de Importância desenvolvida por Saaty (1991) e atribua um Nível de Importância (1 a 9) para comparar, **dois a dois**, os **Subcritérios Relevantes de Custo** pré-selecionados pelos Tomadores de Decisão.

Substitua o X pelo Nível de sua escolha no quadro que se segue:

Nota: se você considera que A é **mais importante** do que B, marque (X).

Nota: se você considera que B é **mais importante** do que A, marque (1/X).

COMPARAÇÃO ENTRE OS SUBCRITÉRIOS DE CUSTO		NÍVEL
A	B	1 a 9
INVESTIMENTO EM INFRA	INVESTIMENTO EM VEÍCULOS	X
INVESTIMENTO EM INFRA	CUSTO DA ENERGIA PARA OPERAR VEÍCULOS	X
INVESTIMENTO EM INFRA	CUSTO DE O&M DOS VEÍCULOS	X
INVESTIMENTO EM INFRA	CUSTO DE O&M DA INFRA	X
INVESTIMENTO EM VEÍCULOS	CUSTO DA ENERGIA PARA OPERAR VEÍCULOS	X
INVESTIMENTO EM VEÍCULOS	CUSTO DE O&M DOS VEÍCULOS	X
INVESTIMENTO EM VEÍCULOS	CUSTO DE O&M DA INFRA	X
CUSTO DA ENERGIA PARA OPERAR VEÍCULOS	CUSTO DE O&M DOS VEÍCULOS	X
CUSTO DA ENERGIA PARA OPERAR VEÍCULOS	CUSTO DE O&M DA INFRA	X
CUSTO DE O&M DOS VEÍCULOS	CUSTO DE O&M DA INFRA	X

Quadro AI-3 – Comparação entre Subcritérios de Custo

Fonte: Elaborado pelo autor.

9 | COMPARAÇÃO DE IMPORTÂNCIA ENTRE SUBCRITÉRIOS RELEVANTES DE VIABILIDADE ECONÔMICA E FINANCEIRA

Avaliação (3b)

Considere a Tabela de Níveis de Importância desenvolvida por Saaty (1991) e atribua um Nível de Importância (1 a 9) para comparar, **dois a dois**, os **Subcritérios Relevantes de Benefício Econômico** pré-selecionados pelos Tomadores de Decisão.

Substitua o X pelo Nível de sua escolha no quadro que se segue:

Nota: se você considera que A é mais importante do que B, marque (X).

Nota: se você considera que B é mais importante do que A, marque (1/X).

COMPARAÇÃO ENTRE OS SUBCRITÉRIOS DE VIABILID ECON E FINANC		NÍVEL
A	B	1 a 9
TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO	TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)	X
TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO	VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)	X
TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)	VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)	X

Quadro AI-4 – Comparação entre Subcritérios de Viabilidade Econômica e Financeira

Fonte: Elaborado pelo autor.

10 | COMPARAÇÃO DE IMPORTÂNCIA ENTRE SUBCRITÉRIOS RELEVANTES DE QUALIDADE DA VIAGEM

Avaliação (3c)

Considere a Tabela de Níveis de Importância e atribua um Nível de Importância (1 a 9) para comparar, **dois a dois**, os **Subcritérios Relevantes de Qualidade da Viagem pré-selecionados** pelos **Tomadores de Decisão**.

Substitua o X pelo Nível de sua escolha no quadro que se segue:

Nota: se você considera que A é mais importante do que B, marque (X).

Nota: se você considera que B é mais importante do que A, marque (1/X).

COMPARAÇÃO ENTRE OS SUBCRITÉRIOS DE QUALIDADE DA VIAGEM		NÍVEL
A	B	1 a 9
SEGURANÇA: ACIDENTES ENTRE VEÍCULOS DO SISTEMA	SEGURANÇA: ACIDENTES ENTRE VEÍCULOS DO SISTEMA E VEÍCULOS DO SISTEMA VIÁRIO	X
SEGURANÇA: ACIDENTES ENTRE VEÍCULOS DO SISTEMA	VELOCIDADE MÉDIA DOS VEÍCULOS	X
SEGURANÇA: ACIDENTES ENTRE VEÍCULOS DO SISTEMA	PONTUALIDADE DA VIAGEM	X
SEGURANÇA: ACIDENTES ENTRE VEÍCULOS DO SISTEMA	ACESSIBILIDADE UNIVERSAL PARA EMBARQUE E DESEMBARQUE DO VEÍCULO	X
SEGURANÇA: ACIDENTES ENTRE VEÍCULOS DO SISTEMA	SISTEMA DE INFORMAÇÕES AOS PASSAGEIROS	X
SEGURANÇA: ACIDENTES ENTRE VEÍCULOS DO SISTEMA E VEÍCULOS DO SISTEMA VIÁRIO	VELOCIDADE MÉDIA DOS VEÍCULOS	X

SEGURANÇA: ACIDENTES ENTRE VEÍCULOS DO SISTEMA E VEÍCULOS DO SISTEMA VIÁRIO	PONTUALIDADE DA VIAGEM	X
SEGURANÇA: ACIDENTES ENTRE VEÍCULOS DO SISTEMA E VEÍCULOS DO SISTEMA VIÁRIO	ACESSIBILIDADE UNIVERSAL PARA EMBARQUE E DESEMBARQUE DO VEÍCULO	X
SEGURANÇA: ACIDENTES ENTRE VEÍCULOS DO SISTEMA E VEÍCULOS DO SISTEMA VIÁRIO	SISTEMA DE INFORMAÇÕES AOS PASSAGEIROS	X
VELOCIDADE MÉDIA DOS VEÍCULOS	PONTUALIDADE DA VIAGEM	X
VELOCIDADE MÉDIA DOS VEÍCULOS	ACESSIBILIDADE UNIVERSAL PARA EMBARQUE E DESEMBARQUE DO VEÍCULO	X
VELOCIDADE MÉDIA DOS VEÍCULOS	SISTEMA DE INFORMAÇÕES AOS PASSAGEIROS	X
PONTUALIDADE DA VIAGEM	ACESSIBILIDADE UNIVERSAL PARA EMBARQUE E DESEMBARQUE DO VEÍCULO	X
PONTUALIDADE DA VIAGEM	SISTEMA DE INFORMAÇÕES AOS PASSAGEIROS	X
ACESSIBILIDADE UNIVERSAL PARA EMBARQUE E DESEMBARQUE DO VEÍCULO	SISTEMA DE INFORMAÇÕES AOS PASSAGEIROS	X

Quadro AI-5 – Comparação entre Subcritérios de Qualidade da Viagem

Fonte: Elaborado pelo autor.

11 | COMPARAÇÃO DE IMPORTÂNCIA ENTRE SUBCRITÉRIOS RELEVANTES DE IMPACTO AMBIENTAL

Avaliação (3d)

Considere a Tabela de Níveis de Importância desenvolvida por Saaty (1991) e atribua um Nível de Importância (1 a 9) para comparar, **dois a dois**, os **Subcritérios Relevantes de Impacto Ambiental** pré-selecionados pelos **Tomadores de Decisão**.

Substitua o X pelo Nível de sua escolha no quadro que se segue:

Nota: se você considera que A é mais importante do que B, marque (**X**).

Nota: se você considera que B é mais importante do que A, marque (**1/X**).

COMPARAÇÃO ENTRE OS SUBCRITÉRIOS DE IMPACTO AMBIENTAL		NÍVEL
A	B	1 a 9
EMISSÃO DE CO ₂ eq	ÁREA OCUPADA NO SISTEMA VIÁRIO	X
EMISSÃO DE CO ₂ eq	IMPACTO VISUAL E ESTÉTICO DA INFRA DE VIA	X
EMISSÃO DE CO ₂ eq	DIVISÃO DO VIÁRIO PELA INFRA DO SISTEMA	X
EMISSÃO DE CO ₂ eq	NÍVEL DE RUÍDO EXTERNO AO VEÍCULO	X
ÁREA OCUPADA NO SISTEMA VIÁRIO	IMPACTO VISUAL E ESTÉTICO DA INFRA DE VIA	X
ÁREA OCUPADA NO SISTEMA VIÁRIO	DIVISÃO DO VIÁRIO PELA INFRA DO SISTEMA	X
ÁREA OCUPADA NO SISTEMA VIÁRIO	NÍVEL DE RUÍDO EXTERNO AO VEÍCULO	X
IMPACTO VISUAL E ESTÉTICO DA INFRA DE VIA	DIVISÃO DO VIÁRIO PELA INFRA DO SISTEMA	X
IMPACTO VISUAL E ESTÉTICO DA INFRA DE VIA	NÍVEL DE RUÍDO EXTERNO AO VEÍCULO	X
DIVISÃO DO VIÁRIO PELA INFRA DO SISTEMA	NÍVEL DE RUÍDO EXTERNO AO VEÍCULO	X

Quadro AI-6 – Comparação entre Subcritérios de Impacto Ambiental

Fonte: Elaborado pelo autor.

FIM DA AVALIAÇÃO (envie para o seguinte endereço de e-mail: guipedro@uol.com.br)

REFERÊNCIAS

SAATY, T. L. **Multicriteria Decision Making**. The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill, 1980.

_____. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. **European Journal of Operation Research**. North-Holland, v. 48, p. 9-26, 1990.

_____. **Método de Análise Hierárquica**. São Paulo: McGraw-Hill, 1991.

ANEXO II – TABELAS – PREFERÊNCIAS DOS AGENTES DE DECISÃO

1 | OBJETIVO

O objetivo deste anexo é mostrar de forma consolidada os dados obtidos das pesquisas de opinião quanto às preferências pelos critérios e subcritérios do problema de decisão deste trabalho.

2 | ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

Os dados estão organizados em tabelas.

2.1 Critérios

Tabelas

- Tabela AII-1: Operador - Critérios (Custo; Viabilidade Econômica e Financeira; Eficiência Energética; Qualidade da Viagem e Impacto Ambiental);
- Tabela AII-2: Vizinho - Critérios (Custo; Viabilidade Econômica e Financeira; Eficiência Energética; Qualidade da Viagem e Impacto Ambiental);
- Tabela AII-3: Usuário - Critérios (Custo; Viabilidade Econômica e Financeira; Eficiência Energética; Qualidade da Viagem e Impacto Ambiental);
- Tabela AII-4: Fornecedor - Critérios (Custo; Viabilidade Econômica e Financeira; Eficiência Energética; Qualidade da Viagem e Impacto Ambiental);
- Tabela AII-5: Consultor - Critérios (Custo; Viabilidade Econômica e Financeira; Eficiência Energética; Qualidade da Viagem e Impacto Ambiental).

		CLASSE: OPERADOR				
Nº DE	ID DO	CRITÉRIO PONTUADO				
ENTREVISTADOS	ENTREVISTADO	CUSTO	VIABIL ECON	EFIC ENERGÉTICA	QUAL VIAGEM	IMPACTO AMB
1	CREE	8	9	9	7	7
2	DMEB	9	9	9	9	7
3	GPEB	9	9	9	7	5
4	RAEH	7	9	7	9	7
5	MDEH	5	5	9	9	9
6	JFEM	7	7	9	5	3
7	RGEO	9	9	9	5	5
8	RBFM	5,4	5,58	8	5,58	5,4
9	HB	7	9	5	3	1
10	PLFM	5,4	4,8	7,75	4,4	3

CLASSE: OPERADOR					
CRITÉRIO PONTUADO					
CUSTO	VIABIL ECON	EFIC ENERGÉTICA	QUAL VIAGEM	IMPACTO AMB	
MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA
7,18	7,64	8,18	6,40	5,24	
MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	
7,00	9,00	9,00	6,29	5,20	
MODO	MODO	MODO	MODO	MODO	
9,00	9,00	9,00	9,00	7,00	
DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO
1,56	1,85	1,32	2,14	2,39	

Tabela All-1 – Operador – Critérios

Fonte: Elaborada pelo autor.

		CLASSE: VIZINHO				
Nº DE	ID DO	CRITÉRIO E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA				
ENTREVISTADOS	ENTREVISTADO	CUSTO	VIABIL ECON	EFIC ENERGÉTICA	QUAL VIAGEM	IMPACTO AMB
1	JFEM	3	3	3	9	7
2	GPEB	3	1	9	5	9
3	ESEB	1	3	5	5	9
4	CLEB	3	3	3	7	9
5	JCEB	1	1	9	3	9
6	MBEB	7	3	5	9	9
7	RLEB	3	1	1	9	9
8	CAEB	1	1	5	3	9
9	SSEB	3	1	7	5	9
10	ERAH	3	5	5	7	9
11	WSEB	1	1	7	9	7
12	JBEB	7	3	5	7	7
13	AVEB	9	7	1	7	7
14	FREB	3	1	3	9	9
15	EAEB	5	9	9	9	9
16	AMEB	5	7	3	9	7
17	HDEB	1	1	5	7	9
18	DMEB	3	1	7	5	9
19	TYEC	7	5	1	9	3
20	SGEH	7	7	5	5	5
21	TNEH	7	9	7	7	7
22	MDEH	3	9	5	9	9

CLASSE: VIZINHO					
CRITÉRIO E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA					
CUSTO	VIABIL ECON	EFIC ENERGÉTICA	QUAL VIAGEM	IMPACTO AMB	
MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA
3,91	3,73	5,00	7,00	8,00	
MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	
3,00	3,00	5,00	7,00	9,00	
MODO	MODO	MODO	MODO	MODO	
3,00	1,00	5,00	9,00	9,00	
DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO
2,45	2,99	2,47	2,05	1,60	

Tabela All-2 – Vizinho – Critérios

Fonte: Elaborada pelo autor.

CLASSE: USUÁRIO						
		CRITÉRIO E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA				
Nº DE ENTREVISTADOS	ID DO ENTREVISTADO	CUSTO	VIABIL ECON	EFIC ENERGÉTICA	QUAL VIAGEM	IMPACTO AMB
1	LVFF	2,5	2,5		7	3
2	SMFC	4	4		5	9
3	JPFA	7,5	7,4		9	7,6
4	KHFA	3	2,9		5	3,4
5	SSEB	3	1	5	7	7
6	JEEB	5	1	5	9	3
7	LAEB	5	1	5	9	5
8	GPEB	1	1	1	9	5
9	ESEB	1	5	7	9	7
10	CLEB	7	7	5	7	3
11	JCEB	1	9	1	9	3
12	SBE	3	3	7	9	9
13	DNEB	3	3	7	9	7
14	MBEB	7	3	5	9	7
15	MBFB	2,75	4,25		3	2,75
16	RLEB	3	1	1	9	7
17	CAFB	4,2	4,75		4,3	4,9
18	CAEB	1	1	5	9	7
19	DPFB	4	5		3,75	7
20	FBFB	2,75	3	3	3	2,75
21	WSEB	1	5	5	9	7
22	JBEB	5	3	5	7	7
23	AVEB	9	7	1	7	2
24	FREB	1	1	3	9	5
25	EAEB	3	9	9	7	9
26	AMEB	5	7	3	9	7
27	HDEB	5	7	7	9	7
28	DMEB	5	9	7	9	7
29	SNFA	7	7,6		6,6	5,5
30	JPFA	7,5	7,4		9	7,6
31	KHFA	3	2,9		5	3,4
32	HMFB	5,5	6,3		6	4,9
33	HPFC	6,75	7,75		8,9	7
34	CPEC	5	1		9	9
35	FPPF	2,9	7		5	5,4
36	FPFC	7,8	7,75		9	8,25
37	GLFC	7	6		6,9	8,9
38	JFEM	3	3	3	9	5
39	FIEM	3	5	5	9	7
40	MKEQ	9	8,75	8,75	7,9	6,75
41	JCEG	1	1	5	9	3
42	JBEG	1	1	1	9	5
43	TMFF	5	2,75		5	3,5
44	RAEH	3	5	2	7	7
45	TYEC	7	5	1	9	3
46	SGEH	7	9	5	5	3
47	TNEH	3	3	3	9	7
48	MDEH	7	3	5	9	7
49	RGEO	5	1	5	9	9
50	JMFM	8,75	8,75		9	9
51	IPT1	1	1	2	9	7
52	IPT2	7	5	5	9	8
53	IPT3	5	8	6	6	3
54	IPT4	1	3	6	9	7
55	IPT5	3	2	3	5	4
56	IPT6	3	1	4	9	8
57	HB	5	1	3	9	7
58	PLFM	5,4	4,8	7,75	4,4	3

CLASSE: USUÁRIO				
CRITÉRIO E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA				
CUSTO	VIABIL ECON	EFIC ENERGÉTICA	QUAL VIAGEM	IMPACTO AMB
MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA
4,32	4,37	4,44	7,62	5,92
MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA
4,10	4,13	5,00	9,00	7,00
MODO	MODO	MODO	MODO	MODO
3,00	1,00	5,00	9,00	7,00
DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO
2,33	2,73	2,21	1,88	2,10

Tabela AII-3 – Usuário – Critérios

Fonte: Elaborada pelo autor.

		CLASSE: FORNECEDOR DE EQUIPAMENTOS E SERVIÇOS				
Nº DE	ID DO	CRITÉRIO PONTUADO				
ENTREVISTADOS	ENTREVISTADO	CUSTO	VIABIL ECON	EFIC ENERGÉTICA	QUAL VIAGEM	IMPACTO AMB
1	GPEB	9	5	9	9	7
2	ESEB	7	9	7	9	7
3	CLEB	5	9	7	7	5
4	CFEB	3	6		2,75	3
5	JCEB	5	9	5	9	9
6	SBEB	9	9	9	7	7
7	WSEB	7	7	7	7	5
8	JBEB	9	9	7	7	9
9	AVEB	9	9	9	9	7
10	FREB	9	9	7	9	7
11	EAEB	9	9	9	5	7
12	DNEB	7	9	7	7	9
13	HCEB	5	7		3	2,75
14	MBEB	9	9	5	5	5
15	MBFB	2,5	3,75		4	7
16	CAFB	4,2	4,75		4,3	4,9
17	RLEB	7	9	1	3	5
18	CAEB	5	5	5	3	5
19	DPFB	4	5		3,75	7
20	SSEB	7	5	9	7	5
21	FBFB	2,75	3	3	3	2,75
22	CCFB	4,25	3,5	2	3	2
23	ECFB	3,5	4		3	2,75
24	NGFB	3,5	3,7		3,5	3,5
25	SBFX	5,8	5,8		5,8	9
26	RBFX	7,5	8,25		6,4	8,7
27	VLFA	2,75	2,7		2,9	3,4
28	SNFA	7	7,6		6,6	5,5
29	JPFA	7,5	7,4		9	7,6
30	KHFA	3	2,9		5	3,4
31	CPFT	6,25	6,75	5,5	5,4	4,4
32	MKEA	5	5,7	5	7,3	7
33	TYEA	9	5	1	7	3
34	SGEH	9	9	7	5	3
35	TNEH	9	9	5	5	5
36	MDEH	9	7	5	7	5
37	JCEAG	9	3	7	3	5
38	JBEAG	9	9	9	5	9

CLASSE: FORNECEDOR DE EQUIPAMENTOS E SERVIÇOS				
CRITÉRIO PONTUADO				
CUSTO	VIABIL ECON	EFIC ENERGÉTICA	QUAL VIAGEM	IMPACTO AMB
MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA
6,43	6,60	6,10	5,62	5,62
MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA
7,00	7,00	7,00	5,20	5,00
MODO	MODO	MODO	MODO	MODO
9,00	9,00	7,00	7,00	7,00
DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO
2,32	2,27	2,44	2,12	2,12

Tabela AII-4 – Fornecedor – Critérios

Fonte: Elaborada pelo autor.

		CLASSE: CONSULTORES E PESQUISADORES				
Nº DE	ID DO	CRITÉRIO PONTUADO				
ENTREVISTADOS	ENTREVISTADO	CUSTO	VIABIL ECON	EFIC ENERGÉTICA	QUAL VIAGEM	IMPACTO AMB
1	LVFDTE	2,5	2,5		7	3
2	RGFDTE	2,5	3		3	3
3	BSFDTE	7,5	4		3,5	6
4	TMFDTE	5	2,75		5	3,5
5	AVFDTE	3	2,75		5,5	2,75
6	VAFDTE	3,5	3		4,5	4,25
7	PAFX	7	7	5	5	5
8	RCFX	6	3,5	4	3	4,5
9	SGFH	6,5	2	5	8	5
10	SMFX	4	4		5	9

CLASSE: CONSULTORES E PESQUISADORES					
CRITÉRIO PONTUADO					
CUSTO	VIABIL ECON	EFIC ENERGÉTICA	QUAL VIAGEM	IMPACTO AMB	
MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	
4,75	3,45	4,67	4,95	4,60	
MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	
4,50	3,00	5,00	5,00	4,38	
MODO	MODO	MODO	MODO	MODO	
2,50	3,00	5,00	5,00	3,00	
DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	
1,90	1,40	0,58	1,62	1,87	

Tabela AII-5 – Consultor – Critérios

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figuras

- Figura AII-1: Operador – Critérios;
- Figura AII-2: Vizinho – Critérios;
- Figura AII-3: Usuário – Critérios;
- Figura AII-4: Fornecedor – Critérios;
- Figura AII-5: Consultor – Critérios.

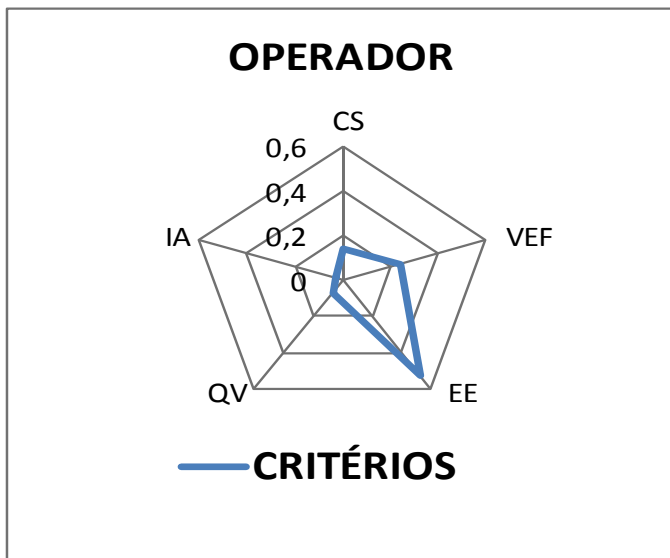


Figura All-1– Operador – Critérios

Fonte: Elaborada pelo autor.

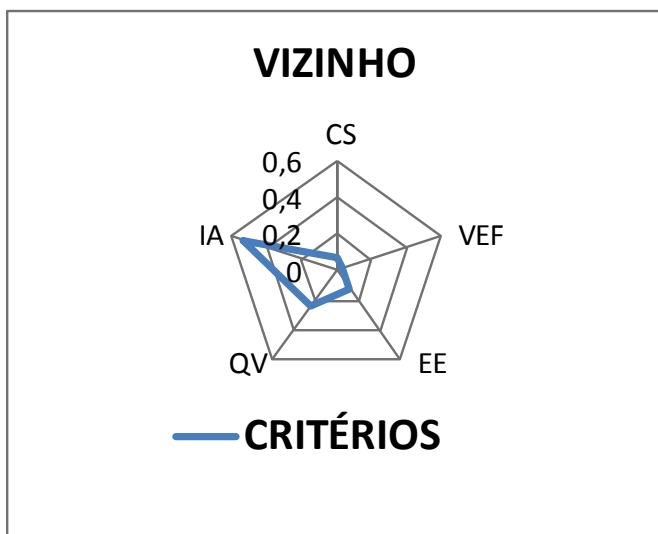


Figura All-2 – Vizinho – Critérios

Fonte: Elaborada pelo autor.

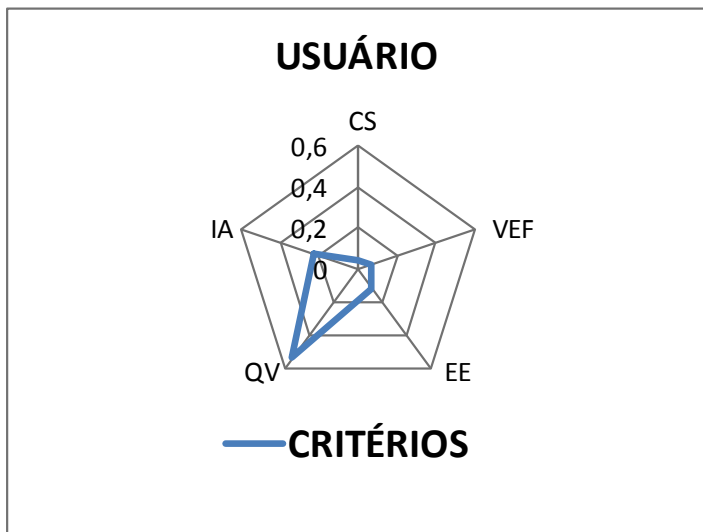


Figura All-3 – Usuário – Critérios

Fonte: Elaborada pelo autor.

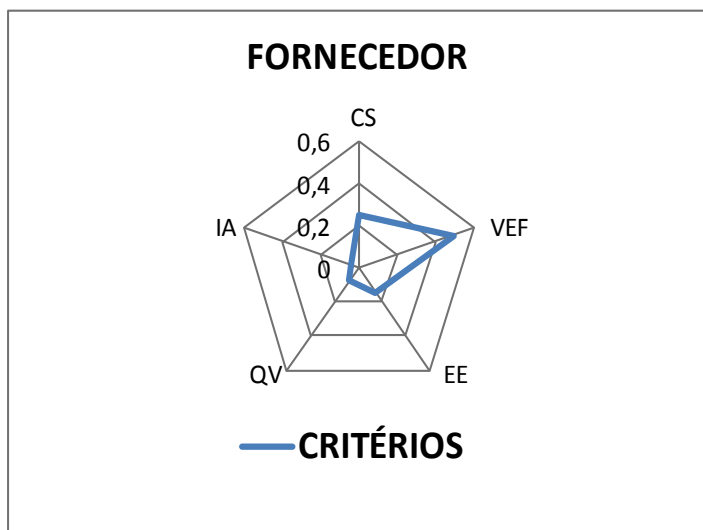


Figura All-4 – Fornecedor – Critérios

Fonte: Elaborada pelo autor.

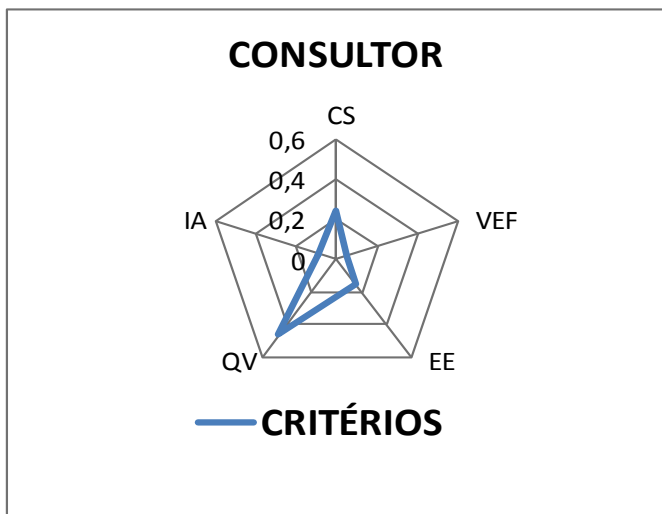


Figura AII-5 – Consultor – Critérios

Fonte: Elaborada pelo autor.

2.2 Subcritérios

2.2.1 Operador

- Tabela AII-6: Operador – Subcritérios de Custo;
- Tabela AII-7: Operador – Subcritérios de Viabilidade Econômica e Financeira;
- Tabela AII-8: Operador – Subcritérios de Qualidade da Viagem;
- Tabela AII-9: Operador – Subcritérios de Impacto Ambiental.

		CLASSE OPERADOR					
Nº DE ENTREVISTADOS	ID DO ENTREVISTADO	SUBCRITÉRIO DE CUSTO E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA					
		INVESTIM INFRA	INVEST EM VEÍCULOS	CUSTO DE ENERG PARA VEÍCULOS	CUSTO O&M VEÍCULOS	CUSTO O&M INFRA	CUSTO PARA RENOVACÃO
1	CREE	7	5	7	5	3	3
2	DMEB	9	9	9	9	9	9
3	GPEB	9	7	7	7	5	3
4	RAEH	7	5	9	9	9	7
5	MDEH	5	5	9	9	9	9
6	JFEM	9	7	9	7	7	5
7	RGEO	9	7	9	9	9	9
8	RBFM	3,5	4,25	3,3	4	3	
9	HB	9	9	9	5	5	7
10	PLFM	4,2	4	4,5	6,5	3,75	5,2

		CLASSE OPERADOR					
		SUBCRITÉRIO DE CUSTO E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA					
		INVESTIM INFRA	INVEST EM VEÍCULOS	CUSTO DE ENERG PARA VEÍCULOS	CUSTO O&M VEÍCULOS	CUSTO O&M INFRA	CUSTO PARA RENOVACÃO
MÉDIA	MÉDIA	7,17	6,28	7,38	7,05	6,28	6,36
MEDIANA	MEDIANA	6,00	6,00	8,00	7,00	6,00	7,00
MODOS	MODOS	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	2,21	1,84	2,30	1,92	2,61	2,44

Tabela AII-6 – Operador – Subcritérios de Custo

Fonte: Elaborada pelo autor.

		CLASSE: OPERADOR		
Nº DE ENTREVISTADOS	ID DO ENTREVISTADO	SUBCRITÉRIO DE VIABIL ECON E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA		
		TEMPO DE RET DO INVEST	TAXA INTERNA DE RETORNO	VALOR PRESENTE LÍQUIDO
1	CREE	1	1	7
2	DMEB	7	5	9
3	GPEB	5	7	7
4	RAEH	9	7	7
5	MDEH	9	9	9
6	JFEM	7	9	5
7	RGEO	1	7	3
8	RBFM	2,75		3
9	HB	5	9	7
10	PLFM	5,75	5	4

		CLASSE: OPERADOR		
		SUBCRITÉRIO DE VIABIL ECON E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA		
		TEMPO DE RET DO INVEST	TAXA INTERNA DE RETORNO	VALOR PRESENTE LÍQUIDO
MÉDIA	MÉDIA	5,25	6,56	6,10
MEDIANA	MEDIANA	5,38	7,00	7,00
MODOS	MODOS	1,00	7,00	7,00
DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	2,92	2,60	2,23

Tabela AII-7 – Operador – Subcritérios de Viabilidade Econômica e Financeira

Fonte: Elaborada pelo autor.

		CLASSE: OPERADOR						
Nº DE	ID DO	SUBCRITÉRIO QUALIDADE DA VIAGEM E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA						
ENTREVISTADOS	ENTREVISTADO	SEG VEÍC DO SIST	SEG VEÍC DO SIST E DO VIÁRIO	TEMPO DE VIAGEM	PONTUALIDADE	ACESSIBILIDADE UNIV	SIST INFORMAÇÕES	RUIDO NO INTER DO VEÍC
1	CREE	7	7	5	7	3	9	3
2	DMEB	9	9	9	9	5	7	5
3	GPEB	9	7	7	9	5	7	5
4	RAEH	9	9	7	9	7	9	7
5	MDEH	9	9	9	7	7	7	7
6	JFEM	9	9	7	7	5	7	5
7	RGEO	9	9	5	5	7	7	5
8	RBFM	3,7	3	3	3,7	3	3	
9	HB	7	7	9	7	7	5	5
10	PLFM	7,4	7	7,3	6	5	6,5	

		CLASSE: OPERADOR						
		SUBCRITÉRIO QUALIDADE DA VIAGEM E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA						
		SEG VEÍC DO SIST	SEG VEÍC DO SIST E DO VIÁRIO	TEMPO DE VIAGEM	PONTUALIDADE	ACESSIBILIDADE UNIV	SIST INFORMAÇÕES	RUIDO NO INTER DO VEÍC
	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA
	7,91	7,60	6,83	6,97	5,40	6,75	5,25	
	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	
	9,00	8,00	7,00	7,00	5,00	7,00	5,00	
	MODO	MODO	MODO	MODO	MODO	MODO	MODO	
	9,00	9,00	9,00	7,00	5,00	7,00	5,00	
	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	
	1,72	1,90	1,99	1,76	1,58	1,75	1,28	

Tabela AII-8 – Operador – Subcritérios de Qualidade da Viagem

Fonte: Elaborada pelo autor.

		CLASSE: OPERADOR					
Nº DE	ID DO	SUBCRITÉRIO DE IMPACTO AMBIENTAL E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA					
ENTREVISTADOS	ENTREVISTADO	EMISSÃO DE GASES	ÁREA OCUP NO SIST VIÁRIO	IMPACTO VISUAL E ESTÉTICO	DIVISÃO DO SIST VIÁRIO	RUIDO AMBIENTAL	INTERFER NO VIÁRIO DUR CONSTR
1	CREE	7	3	3	3	3	3
2	DMEB	7	7	7	5	9	9
3	GPEB	7	5	5	3	5	1
4	RAEH	7	5	5	5	7	9
5	MDEH	7	5	9	7	7	5
6	JFEM	7	5	5	5	7	1
7	RGEO	5	3	3	5	1	3
8	RBFM	3	4	3,25	3	3,5	
9	HB	5	9	1	7	5	3
10	PLFM	5,14	6,4	5,25	7	4,3	

		CLASSE: OPERADOR					
		SUBCRITÉRIO DE IMPACTO AMBIENTAL E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA					
		EMISSÃO DE GASES	ÁREA OCUP NO SIST VIÁRIO	IMPACTO VISUAL E ESTÉTICO	DIVISÃO DO SIST VIÁRIO	RUIDO AMBIENTAL	INTERFER NO VIÁRIO DUR CONSTR
	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA
	6,11	5,24	4,65	5,00	5,18	4,25	
	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	
	7,00	5,00	5,00	5,00	5,00	3,00	
	MODO	MODO	MODO	MODO	MODO	MODO	
	7,00	5,00	5,00	5,00	7,00	3,00	
	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	
	1,45	1,84	2,26	1,63	2,37	3,20	

Tabela AII-9 - Operador – Subcritérios de Impacto Ambiental

Fonte: Elaborada pelo autor.

2.2.2 Vizinho

- Tabela AII-10: Vizinho – Subcritérios de Custo;
- Tabela AII-11: Vizinho – Subcritérios de Viabilidade Econômica e Financeira;
- Tabela AII-12: Vizinho – Subcritérios de Qualidade da Viagem;

- Tabela AII-13: Vizinho – Subcritérios de Impacto Ambiental.

		CLASSE: VIZINHO DO SISTEMA					
Nº DE ENTREVISTADOS	ID DO ENTREVISTADO	SUBCRITÉRIO DE CUSTO E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA					
		INVEST EM INFRA	INVEST EM VEÍCULOS	CUSTO DE ENERG PARA VEÍCULOS	CUSTO O&M VEÍCULOS	CUSTO O&M INFRA	CUSTO PARA RENOVACÃO
1	JFEM	5	1	3	3	3	1
2	GPFB	9	5	3	3	7	7
3	ESEB	1	5	3	3	3	1
4	CLEB	9	5	1	1	1	3
5	JCFB	1	1	1	1	1	1
6	MSEB	9	9	5	5	5	5
7	RLEB	3	7	3	7	9	5
8	CAEB	9	1	1	1	1	1
9	SSEB	1	1	1	1	1	1
10	RAEH	5	7	7	7	3	3
11	WSEB	7	9	1	1	1	7
12	JBEB	7	9	7	5	5	7
13	AVEB	3	3	3	3	3	3
14	FREB	7	5	5	1	1	5
15	EAEB	3	3	3	3	3	3
16	AMEB	7	9	7	9	5	5
17	HDEB	3	3	3	3	3	3
18	DMEB	3	3	3	3	3	3
19	TYEC	9	7	5	7	5	9
20	SGEH	7	5	3	3	3	5
21	TNEH	3	1	1	1	1	7
22	MDEH	7	7	5	3	3	5

CLASSE: VIZINHO DO SISTEMA						
SUBCRITÉRIO DE CUSTO E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA						
INVEST EM INFRA	INVEST EM VEÍCULOS	CUSTO DE ENERG PARA VEÍCULOS	CUSTO O&M VEÍCULOS	CUSTO O&M INFRA	CUSTO PARA RENOVACÃO	
MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA
5,36	4,82	3,36	3,36	3,18	4,09	
MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	
6,00	5,00	3,00	3,00	3,00	4,00	
MOD0	MOD0	MOD0	MOD0	MOD0	MOD0	
3,00	1,00	3,00	3,00	3,00	3,00	
DESVM0 PADRÃO	DESVM0 PADRÃO	DESVM0 PADRÃO	DESVM0 PADRÃO	DESVM0 PADRÃO	DESVM0 PADRÃO	
2,87	2,89	2,01	2,36	2,13	2,37	

Tabela AII-10 – Vizinho – Subcritérios de Custo

Fonte: Elaborada pelo autor.

		CLASSE: VIZINHO DO SISTEMA		
N° DE	ID DO	SUBCRITÉRIO DE VIABIL ECON E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA		
ENTREVISTADOS	ENTREVISTADO	TEMPO DE RET DO INVEST	TAXA INTERNA DE RETORNO	VALOR PRESENTE LÍQUIDO
1	JFEM	1	1	1
2	GPEB	1	1	1
3	ESEB	1	1	3
4	CLEB	3	3	5
5	JCEB	1	1	1
6	MBEB	3	3	3
7	RLEB	1	1	1
8	CAEB	1	1	1
9	SSEB	1	1	1
10	RAEH	3	3	1
11	WSEB	1	1	1
12	JBEB	1	1	1
13	AVEB	1	1	1
14	FREB	5	1	1
15	EAEB	9	5	7
16	AMEB	5	5	5
17	HDEB	1	1	1
18	DMEB	1	1	1
19	TYEC	9	5	5
20	SGEH	5	7	1
21	TNEH	9	1	1
22	MDEH	5	5	5

CLASSE: VIZINHO DO SISTEMA		
SUBCRITÉRIO DE VIABIL ECON E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA		
TEMPO DE RET DO INVEST	TAXA INTERNA DE RETORNO	VALOR PRESENTE LÍQUIDO
MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA
3,09	2,27	2,18
MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA
1,00	1,00	1,00
MODO	MODO	MODO
1,00	1,00	1,00
DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO
2,86	1,91	1,92

Tabela All-11 – Vizinho – Subcritérios de Viabilidade Econômica e Financeira

Fonte: Elaborada pelo autor.

		CLASSE: VIZINHO DO SISTEMA						
		SUBCRITÉRIO QUALIDADE DA VIAGEM E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA						
Nº DE ENTREVISTADOS	ID DO ENTREVISTADO	SEG VEÍC DO SIST	SEG VEÍC DO SIST E DO VIÁRIO	TEMPO DE VIAGEM	PONTUALIDADE	ACESSIBILIDADE UNIV	SIST INFORMACOES	RUIDO NO INTER DO VEIC
1	JFEM	7	5	9	7	5	7	5
2	GPEB	5	5	3	3	3	1	1
3	ESEB	9	9	3	3	5	5	3
4	CLER	9	9	5	5	3	3	3
5	JCEB	1	1	1	1	1	1	1
6	MBEB	9	7	7	7	5	7	9
7	RLEB	9	9	7	5	1	3	7
8	CAEB	9	9	7	9	7	9	1
9	SSEB	9	9	5	5	7	5	5
10	ERAH	9	9	9	9	9	7	9
11	WSEB	9	9	7	9	7	7	5
12	JBEB	5	5	1	7	7	5	3
13	AVEB	9	9	7	9	9	3	9
14	FREB	9	9	7	7	9	7	5
15	EAEB	9	9	7	9	9	5	3
16	AMEB	7	7	5	7	9	5	7
17	HDEB	9	7	7	9	7	7	7
18	DMEB	9	9	7	9	7	7	9
19	TYEC	9	9	5	7	3	3	1
20	SGEH	9	9	7	5	3	1	3
21	TNEH	1	7	9	5	5	5	7
22	MDEH	7	7	5	5	7	5	9

		CLASSE: VIZINHO DO SISTEMA						
		SUBCRITÉRIO QUALIDADE DA VIAGEM E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA						
	SEG VEÍC DO SIST	SEG VEÍC DO SIST E DO VIÁRIO	TEMPO DE VIAGEM	PONTUALIDADE	ACESSIBILIDADE UNIV	SIST INFORMACOES	RUIDO NO INTER DO VEIC	
MÉDIA	7,64	7,64	5,91	6,45	5,82	4,91	5,09	
MEDIANA	9,00	9,00	7,00	7,00	7,00	5,00	5,00	
MODO	9,00	9,00	7,00	9,00	7,00	7,00	3,00	
DESVIO PADRÃO	2,50	2,08	2,29	2,32	2,59	2,27	2,93	

Tabela AII-12 – Vizinho – Subcritérios de Qualidade da Viagem

Fonte: Elaborada pelo autor.

		CLASSE: VIZINHO DO SISTEMA					
		SUBCRITÉRIO DE IMPACTO AMBIENTAL E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA					
Nº DE ENTREVISTADOS	ID DO ENTREVISTADO	EMISÃO DE GASES	ÁREA OCUP NO SIST VIÁRIO	IMPACTO VISUAL E ESTÉTICO	DIVISÃO DO SIST VIÁRIO	RUIDO AMBIENTAL	INTERFER NO VIÁRIO DUR CONSTR
1	JFEM	7	5	5	7	7	9
2	GPEB	3	3	7	7	5	9
3	ESEB	9	9	9	9	9	9
4	CLER	9	9	7	9	9	9
5	JCEB	9	9	9	9	9	9
6	MBEB	9	9	9	9	9	9
7	RLEB	9	5	3	3	9	5
8	CAEB	7	3	9	9	9	9
9	SSEB	9	7	7	7	9	9
10	RAEH	9	9	9	9	9	9
11	WSEB	9	9	7	7	9	9
12	JBEB	9	9	7	7	7	5
13	AVEB	5	7	7	9	9	7
14	FREB	9	5	3	7	9	7
15	EAEB	9	9	9	9	9	9
16	AMEB	7	5	5	7	7	5
17	HDEB	9	7	7	9	9	9
18	DMEB	9	5	5	9	9	5
19	TYEC	3	3	3	3	3	3
20	SGEH	7	5	5	7	9	5
21	TNEH	9	9	9	9	9	9
22	MDEH	9	7	9	9	9	7

		CLASSE: VIZINHO DO SISTEMA					
		SUBCRITÉRIO DE IMPACTO AMBIENTAL E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA					
	EMISÃO DE GASES	ÁREA OCUP NO SIST VIÁRIO	IMPACTO VISUAL E ESTÉTICO	DIVISÃO DO SIST VIÁRIO	RUIDO AMBIENTAL	INTERFER NO VIÁRIO DUR CONSTR	
MÉDIA	7,91	6,73	6,82	7,73	8,27	7,55	
MEDIANA	9,00	7,00	7,00	9,00	9,00	9,00	
MODO	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	
DESVIO PADRÃO	1,93	2,25	2,13	1,80	1,58	1,97	

Tabela AII-13 – Vizinho – Subcritérios de Impacto Ambiental

Fonte: Elaborada pelo autor.

2.2.3 Usuário

- Tabela AII-14: Usuário – Subcritérios de Custo;
- Tabela AII-15: Usuário – Subcritérios de Viabilidade Econômica e Financeira;

- Tabela AII-16: Usuário – Subcritérios de Qualidade da Viagem;
- Tabela AII-17: Usuário – Subcritérios de Impacto Ambiental.

		CLASSE: USUÁRIO					
Nº DE	ID DO	SUBCRITÉRIO DE CUSTO E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA					
ENTREVISTADOS	ENTREVISTADO	INVEST EM INFRA	INVEST EM VEÍCULOS	CUSTO DE ENERG PARA VEÍCULOS	CUSTO O&M VEÍCULOS	CUSTO O&M INFRA	CUSTO PARA RENOVACÃO
1	LVDTE	5	5	4,5	5	5	
2	SMFX	9	7	5	5	1	
3	JPFA	5	5	5	5	4,75	
4	KHFA	3,7	3,7	3,3	2,8	3,75	
5	SSEB	1	1	1	1	1	1
6	JFER	5	5	5	3	3	5
7	LAEB	7	9	7	7	7	5
8	GPER	7	9	7	7	5	5
9	ESEB	7	7	3	3	3	1
10	CLEB	7	9	7	5	5	3
11	JCEB	9	9	1	1	1	1
12	SBEB	3	3	3	3	3	3
13	DNEB	7	3	3	3	3	3
14	MBEB	5	9	5	5	5	5
15	MBFB	4,75	7	2,75	4,75	4,75	2,75
16	RLEB	3	7	5	7	9	5
17	CAFB	2,9	2,8	4	3,4	3,25	
18	CAEB	9	5	1	1	1	1
19	DPFB	4	4,25	4,5	4	4	6,75
20	FBFB	3,5	3	5	5	3	2,75
21	WSEB	7	9	1	1	1	7
22	JBEB	5	7	7	3	5	5
23	AVEB	3	3	3	3	3	3
24	FREB	1	3	5	1	1	5
25	EAEB	3	3	3	3	3	3
26	AMEB	7	9	7	9	5	5
27	HDEB	7	7	5	5	5	7
28	DMEB	3	3	3	3	3	3
29	SNFA	6,75	6,6	6,75	7	7,25	
30	JPFA	5	5	5	5	4,75	
31	KHFA	3,7	3,7	3,3	2,8	3,75	
32	HMFB	4,75	4,75	5	5,9	4,75	
33	HPFC	6,3	5	5	6,75	4,75	
34	CPEC	9	7	7	5	3	
35	FPPP	6	4,75	3,7	2,75	3	
36	FPFC	7,9	8,25	7,8	7,6	8	
37	GLFC	9	5	5,8	6	6,2	
38	JFEM	5	1	3	3	3	1
39	FIEM	9	9	5	7	5	3
40	MKEQ	5	6,3	4,4	3,75	4,75	2,75
41	JCEAG	1	1	1	1	1	1
42	JBEAG	1	1	1	1	1	1
43	TMPDTE	4	3,75	3,75	3,75	4	
44	RAEH	5	7	5	7	3	3
45	TYEC	9	7	5	7	5	9
46	SGEH	7	5	3	3	3	5
47	TNEH	5	5	7	7	5	9
48	MDEH	3	3	7	5	5	7
49	RCEO	9	9	1	1	1	1
50	JMFM	5	5	4,75	5	5	
51	IPT1	5	7	4	9	8	6
52	IPT2	5	5	5	5	5	7
53	IPT3	5	5	5	5	5	6
54	IPT4	6	8	9	7	5	3
55	IPT5	2	2	3	3	4	4
56	IPT6	7	8	2	2	2	6
57	HB	7	7	5	3	3	5
58	PLFM	4,2	4	4,5	6,5	3,75	5,2

		CLASSE: USUÁRIO					
		SUBCRITÉRIO DE CUSTO E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA					
		INVEST EM INFRA	INVEST EM VEÍCULOS	CUSTO DE ENERG PARA VEÍCULOS	CUSTO O&M VEÍCULOS	CUSTO O&M INFRA	CUSTO PARA RENOVACÃO
	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA
	5,37	5,46	4,38	4,36	3,94	4,12	
	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA
	5,00	5,00	4,88	4,88	4,00	4,50	
	MOD0	MOD0	MOD0	MOD0	MOD0	MOD0	MOD0
	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO
	2,25	2,39	1,92	2,15	1,87		2,22

Tabela AII-14 –Usuário –Subcritérios de Custo.

Fonte: Elaborada pelo autor.

		CLASSE: USUÁRIO		
		SUBCRITÉRIO DE VIABIL ECON E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA		
Nº DE ENTREVISTADOS	ID DO ENTREVISTADO	TEMPO DE RET DO INVEST	TAXA INTERNA DE RETORNO	VALOR PRESENTE LÍQUIDO
1	LVFDTE	1		
2	SMFX	1		1
3	JPFA	4,75		5
4	KHFA	1		1
5	SSEB	1	1	1
6	JEEB	3	3	3
7	LAEB	1	1	1
8	GPEB	1	1	1
9	ESEB	5	5	5
10	CLEB	5	5	7
11	JCEB	1	1	1
12	SBE	1	1	1
13	DNEB	1	1	1
14	MBEB	3	3	3
15	MBFB	1		1
16	RLEB	1	1	1
17	CAFB	1		1
18	CAEB	1	1	1
19	DPFB	6,75		7
20	FBFB	3	2,75	2,75
21	WSEB	1	1	1
22	JBEB	1	1	1
23	AVEB	1	1	1
24	FREB	5	1	1
25	EAEB	9	5	7
26	AMEB	5	5	5
27	HDEB	1	1	1
28	DMEB	1	1	1
29	SNFA	6,75		7
30	JPFA	4,75		5
31	KHFA	1		1
32	HMFB	3		2,75
33	HPFC	1		1
34	CPEC	1		1
35	FPFP	5		4,75
36	FPFC	7,75		8
37	GLFC	2		1,75
38	JFEM	1	1	1
39	FIEM	3	3	7
40	MKEQ	1	1	1
41	JCEAG	9	3	1
42	JBEAG	1	1	1
43	TMFDTE	5		3
44	RAEH	3	3	1
45	TYEC	9	5	9
46	SGEH	5	7	1
47	TNEH	5	3	5
48	MDEH	1	1	1
49	RGEO	1	1	1
50	JMFM	1		1
51	IPT1	8	9	7
52	IPT2	7	7	7
53	IPT3	8	8	8
54	IPT4	8	6	3
55	IPT5	1	1	2
56	IPT6	3	3	3
57	HB	5	5	5
58	PLFM	5,75	5	4

CLASSE: USUÁRIO			
SUBCRITÉRIO DE VIABIL ECON E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA			
	TEMPO DE RET DO INVEST	TAXA INTERNA DE RETORNO	VALOR PRESENTE LÍQUIDO
MÉDIA	3,28	2,89	2,93
MEDIANA	2,50	1,88	1,00
MODOS	1,00	1,00	1,00
DESVIO PADRÃO	2,67	2,32	2,49

Tabela All-15 –Usuário –Subcritérios de Viabilidade Econômica e Financeira

Fonte: Elaborada pelo autor.

		CLASSE: USUÁRIO						
Nº DE	ID DO	SUBCRITÉRIO QUALIDADE DA VIAGEM E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA						
ENTREVISTADOS	ENTREVISTADO	SEG VEÍC DO SIST	SEG VEÍC DO SIST E DO VIÁRIO	TEMPO DE VIAGEM	PONTUALIDADE	ACESSIBILIDADE UNIV	SIST INFORMACÕES	RUIDO NO INTER DO VEÍC
1	LVDTE	9	9	5	5,5	6	4	
2	SMFX	9	7	5	7	5	3	7
3	JPFA	9	8,5	6,75	7,5	7	5,5	
4	KHFA	5,5	4,15	3,3	4,5	4,4	5,25	
5	SSEB	9	9	7	9	7	5	5
6	JEEB	9	9	7	9	5	3	5
7	LAEB	9	9	5	7	9	7	5
8	GPFB	9	7	5	9	5	7	7
9	ESEB	9	9	9	9	7	7	7
10	CLEB	9	9	7	5	3	3	7
11	JCEB	9	9	7	9	9	9	9
12	SBEB	9	9	7	9	7	7	7
13	DNEB	9	9	9	9	7	5	7
14	MIBEB	9	9	7	9	5	7	7
15	MBFB	4,5	3,5	6,25	6	2,75	2,75	
16	RLEB	9	9	7	5	1	5	7
17	CAFB	9	9	7,25	8,5	7,25	7,75	
18	CAEB	9	9	7	9	7	9	7
19	DPPFB	7	7	3	5,25	5,3	4,75	
20	FBFB	7	7	3	6,25	8	5	
21	WSEB	9	9	7	9	7	5	5
22	JBEB	7	7	3	7	7	7	5
23	AVEB	9	9	7	9	9	7	5
24	FREB	9	9	7	7	9	7	5
25	EAEB	9	9	7	9	9	7	9
26	AMEB	7	7	5	7	9	5	7
27	HDEB	9	7	7	9	7	9	7
28	DMEB	9	9	7	9	7	7	9
29	SNFA	9	9	8	7	7,65	7,15	
30	JPFA	9	8,5	6,75	7,5	7	5,5	
31	KHFA	5,5	4,15	3,3	4,5	4,4	5,25	
32	HMFBB	5	6,2	4,8	6,45	5,5	6,35	
33	HPFC	6,8	5,75	6,8	7,4	7,35	6	
34	CPEC	9	9	5	7	5	5	
35	FPFP	5,4	5,35	5,55	4,75	6,2	5,5	
36	FPFC	7,4	8	7	7,55	7,4	8	
37	GLFC	7	5	5	4,85	4,8	4,75	
38	JFEM	7	5	9	7	5	7	5
39	FIEM	9	9	5	7	5	7	
40	MKEQ	6,5	6	6	5	4,5	7,15	
41	JCEAG	9	9	7	9	9	9	7
42	JBEAG	5	7	9	9	9	9	9
43	TMFDTE	5,5	6,5	6	7,5	5,5	5	
44	RAEH	9	9	9	9	7	7	7
45	TYEC	9	9	5	7	3	3	1
46	SGEH	9	9	7	5	5	3	1
47	TNEH	9	7	9	9	9	7	9
48	MDEH	9	9	9	7	7	5	7
49	RGEO	9	5	9	9	9	9	9
50	JMFM	9	9	8	9	9	7,5	
51	IPT1	4	5	8	9	6	7	3
52	IPT2	9	9	9	9	9	8	8
53	IPT3	5	6	6	6	7	6	6
54	IPT4	6	7	8	9	5	4	3
55	IPT5	4	4	3	5	3	5	5
56	IPT6	9	8	6	7	7	8	8
57	HB	9	9	7	7	7	5	5
58	PLFM	7,4	7	7,3	6	5	6,5	

CLASSE: USUÁRIO							
SUBCRITÉRIO QUALIDADE DA VIAGEM E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA							
SEG VEÍC DO SIST	SEG VEÍC DO SIST E DO VIÁRIO	TEMPO DE VIAGEM	PONTUALIDADE	ACESSIBILIDADE UNIV	SIST INFORMACÕES	RUIDO NO INTER DO VEÍC	
MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA
7,91	7,63	6,52	7,40	6,43	6,11	6,27	
MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA
9,00	8,75	7,00	7,20	7,00	6,43	7,00	
MOD0	MOD0	MOD0	MOD0	MOD0	MOD0	MOD0	MOD0
9,00	9,00	7,00	9,00	7,00	7,00	7,00	
DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO
1,61	1,68	1,71	1,55	1,91	1,72	2,05	

Tabela AII-16 –Usuário –Subcritérios de Qualidade da Viagem

Fonte: Elaborada pelo autor.

		CLASSE: USUÁRIO					
		SUBCRITÉRIO DE IMPACTO AMBIENTAL E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA					
Nº DE ENTREVISTADOS	ID DO ENTREVISTADO	EMISSÃO DE GASES	ÁREA OCUP NO SIST VIÁRIO	IMPACTO VISUAL E ESTÉTICO	DIVISÃO DO SIST VIÁRIO	RUÍDO AMBIENTAL	INTERFER NO VIÁRIO DUR CONSTR
1	LVDTE	4,5	2	2,5	2,5	3	
2	SMFX	3	3	4	2	3	
3	JPFA	7	5,75	5,75	5,75	5,5	
4	KHFA	3,75	2,75	3,75	4,5	3,75	3,4
5	SSEB	5	5	3	3	5	3
6	JEEB	9	5	7	5	5	5
7	LAEB	7	9	3	5	1	5
8	GPEB	5	3	5	5	5	3
9	ESEB	9	5	7	3	5	3
10	CLEB	5	1	3	7	5	5
11	JCEB	9	9	3	1	1	9
12	SRE	9	5	7	7	9	7
13	DNEB	9	3	3	1	9	3
14	MNEB	5	7	7	5	5	9
15	MBFB	3,5	2,75	5	2,75	3	
16	RLEB	7	1	1	3	7	9
17	CAFB	3	2,9	2,8	2,8	2,9	
18	CAEB	7	3	7	9	9	3
19	DPFB	4	5	3,75	3,75	7	7
20	FBFB	5,5	4,25	6	6	5,5	
21	WSEB	9	5	5	5	9	7
22	JBEB	9	5	5	5	5	7
23	AVEB	3	5	1	1	1	1
24	FRFB	9	7	7	3	3	1
25	EAEB	9	5	5	3	3	3
26	AMEB	7	5	5	7	7	5
27	HDEB	9	7	5	5	7	7
28	DMEB	9	5	5	3	9	5
29	SNFA	6,75	7,2	6,7	6,8	6,8	
30	JPFA	7	5,75	5,75	5,75	5,5	
31	KHFA	3,75	2,75	3,75	4,5	3,75	3,4
32	HMFBB	5	4,4	4,75	3,4	3,9	
33	HPFC	5,4	6	5,4	5,75	4,8	
34	CPEC	9	9	5	3	5	
35	FPFP	6,75	5	2,75	2,75	4,5	
36	FPFC	7,75	8	7,5	7,6	7,6	
37	GLFC	2	4	3,25	3,25	1,2	
38	JFEM	1	3	3	5	5	5
39	FIEM	9	5	5	7	7	
40	MKEQ	4,75	4,75	5	5	5	
41	JCEG	9	9	7	7	1	5
42	JBEG	5	5	7	3	5	7
43	TMFDTE	4,5	3,5	4,75	7	5	
44	RAEH	7	3	3	5	7	5
45	TYEC	3	3	3	3	3	3
46	SGEH	1	3	1	5	5	3
47	TNEH	9	9	7	7	9	9
48	MDEH	7	1	5	9	7	5
49	RCEO	7	5	7	9	1	1
50	JMFM	8	5,4	5	6	5	
51	IPT1	7	5	9	7	8	6
52	IPT2	8	7	5	5	7	7
53	IPT3	1	2	3	3	3	3
54	IPT4	7	9	8	5	4	2
55	IPT5	4	2	3	1	5	3
56	IPT6	9	4	4	7	5	3
57	HB	9	5	5	5	7	7
58	PLFM	5,14	6,4	5,25	7	4,3	

		CLASSE: USUÁRIO					
		SUBCRITÉRIO DE IMPACTO AMBIENTAL E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA					
EMISSÃO DE GASES	ÁREA OCUP NO SIST VIÁRIO	IMPACTO VISUAL E ESTÉTICO	DIVISÃO DO SIST VIÁRIO	RUÍDO AMBIENTAL	INTERFER NO VIÁRIO DUR CONSTR		
MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	
6,28	4,84	4,80	4,77	5,09	4,82		
MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	
7,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	
MOD0	MOD0	MOD0	MOD0	MOD0	MOD0	MOD0	
9,00	5,00	5,00	5,00	5,00	3,00		
DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	
2,45	2,14	1,83	2,05	2,23	2,30		

Tabela AII-17: Usuário – Subcritérios de Impacto Ambiental.

Fonte: Elaborada pelo autor.

2.2.4 Fornecedor de equipamento de serviço

- Tabela AII-18: Fornecedor – Subcritérios de Custo;
- Tabela AII-19: Fornecedor – Subcritérios de Viabilidade Econômica e Financeira;

ra;

- Tabela AII-20: Fornecedor – Subcritérios de Qualidade da Viagem;
- Tabela AII-21: Fornecedor – Subcritérios de Impacto Ambiental.

Nº DE ENTREVISTADOS	ID DO ENTREVISTADO	CLASSE: FORNECEDOR DE EQUIPAMENTO E SERVIÇO					
		INVEST EM INFRA	INVEST EM VEÍCULOS	CUSTO DE ENERG PARA VEÍCULOS	CUSTO O&M VEÍCULOS	CUSTO O&M INFRA	CUSTO PARA RENOVACÃO
1	GPFB	7	7	7	9	7	9
2	ESEB	5	7	9	9	5	9
3	CLEB	3	9	7	5	5	7
4	CFEB	3	3	3	2,75	2,75	
5	JCEB	9	9	9	7	7	7
6	SBEB	9	9	9	9	9	9
7	WSEB	5	5	7	7	7	7
8	JBEB	9	7	7	9	9	7
9	AVEB	9	9	9	9	9	9
10	FREB	9	9	9	9	9	9
11	EAEB	9	3	3	3	3	3
12	DPFB	4	4,25	4,5	4	4	6,75
13	HCEB	7	6,75	7	6,75	9	
14	MBEB	9	9	9	7	5	7
15	MBFB	3	4,5	3	3,5	2,75	
16	CAFB	2,9	2,8	4	3,4	3,25	
17	RLEB	5	5	1	7	9	9
18	CAEB	3	5	1	5	5	1
19	CAFB	2,9	2,8	4	3,4	3,25	
20	SSEB	9	7	7	5	5	7
21	FBFB	3,5	3	5	5	3	2,75
22	CCFB	2,5	3	2,25	2	2,25	4,5
23	ECFB	5,5	7,5	5,5	3,75	5,4	
24	NGFB	3	3	3	2,75	2,75	
25	SBFX	5,9	5,75	5,9	5,8	6	
26	RBFX	6	6	6,7	5,5	6	
27	VLFA	3,4	3,6	4,3	3,5	3,4	
28	SNFA	6,75	6,6	6,75	7	7,25	
29	JPFA	5	5	5	5	4,75	
30	KHFA	3,7	3,7	3,3	2,8	3,75	
31	CPFT	6,9	7,5	6,15	6,45	5,85	7,25
32	MKEA	5	5	6,4	6,4	6,3	6,75
33	TYEC	9	9	5	5	5	9
34	SGEH	9	7	5	7	7	7
35	TNEH	9	7	7	7	7	9
36	MDEH	7	9	5	5	5	3
37	JCEAG	9	9	9	9	1	5
38	JBEAG	9	9	5	7	7	9

CLASSE: FORNECEDOR DE EQUIPAMENTO E SERVIÇO					
SUBCRITÉRIO DE CUSTO E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA					
INVEST EM INFRA	INVEST EM VEÍCULOS	CUSTO DE ENERG PARA VEÍCULOS	CUSTO O&M VEÍCULOS	CUSTO O&M INFRA	CUSTO PARA RENOVACÃO
MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA
6,10	6,15	5,68	5,78	5,47	6,80
MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA
5,95	6,68	5,70	5,65	5,00	7,00
MOD0	MOD0	MOD0	MOD0	MOD0	MOD0
9,00	9,00	7,00	7,00	5,00	9,00
DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO
2,47	2,25	2,29	2,14	2,20	2,34

Tabela AII-18 – Fornecedor – Subcritérios de Custo

Fonte: Elaborada pelo autor.

		CLASSE: FORNECEDOR DE EQUIPAMENTO E SERVIÇO		
Nº DE	ID DO	SUBCRITÉRIO DE VIABIL ECON E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA		
ENTREVISTADOS	ENTREVISTADO	TEMPO DE RET DO INVEST	TAXA INTERNA DE RETORNO	VALOR PRESENTE LÍQUIDO
1	GPEB	7	7	7
2	ESEB	7	7	9
3	CLEB	7	7	9
4	CFEB	8		9
5	JCEB	5	7	7
6	SBEB	9	7	9
7	WSEB	9	7	9
8	JBEB	9	7	9
9	AVEB	9	9	9
10	FREB	9	9	9
11	EAEB	9	9	9
12	DPFB	6,75		7
13	HCEB	9		8
14	MBEB	9	9	4
15	MBFB	1		1
16	CAFB	1		1
17	RLEB	7	9	3
18	CAEB	5	5	1
19	CAFB	1		1
20	SSEB	5	5	5
21	FBFB	3	2,75	2,75
22	CCFB	4,75	3,5	1,75
23	ECFB	9		7,75
24	NGFB	1		1
25	SBFX	6,75		7
26	RBFX	8		7,75
27	VLFA	3		2,75
28	SNFA	6,75		7
29	JPFA	4,75		5
30	KHFA	1		1
31	CPFT	5,75	7	5,9
32	MKEA	9	8,75	8,75
33	TYEC	9	5	5
34	SGEH	5	7	3
35	TNEH	9	9	3
36	MDEH	1	1	1
37	JCEAG	5	3	7
38	JBEAG	9	7	7
		CLASSE: FORNECEDOR DE EQUIPAMENTO E SERVIÇO		
		SUBCRITÉRIO DE VIABIL ECON E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA		
		TEMPO DE RET DO INVEST	TAXA INTERNA DE RETORNO	VALOR PRESENTE LÍQUIDO
		MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA
		6,14	6,58	5,54
		MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA
		6,88	7,00	7,00
		MODOS	MODOS	MODOS
		9,00	7,00	9,00
		DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO
		2,88	2,26	3,06

Tabela All-19 – Fornecedor – Subcritérios de Viabilidade Econômica e Financeira

Fonte: Elaborada pelo autor.

		CLASSE: FORNECEDOR DE EQUIPAMENTO E SERVIÇO							
		SUBCRITÉRIO QUALIDADE DA VIAGEM E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA							
Nº DE ENTREVISTADOS	ID DO ENTREVISTADO	SEG VEÍC DO SIST	SEG VEÍC DO SIST E DO VIÁRIO	TEMPO DE VIAGEM	PONTUALIDADE	ACESSIBILIDADE UNIV	SIST INFORMACÕES	RUIDO NO INTER DO VEÍC	
1	GPFB	9	9	7	9	5	7	9	
2	ESFB	9	9	9	9	7	7	7	
3	CLFB	9	9	7	9	5	5	7	
4	CFEB	6	7,5	2,85	3	3	2,75		
5	JCEB	9	9	5	5	9	5	5	
6	SBEB	9	9	9	9	7	7	7	
7	WSEB	9	9	7	9	7	7	5	
8	JBEB	7	7	5	7	9	7	7	
9	AVEB	9	9	9	9	9	9	7	
10	FREB	9	9	7	7	7	5	7	
11	EAEB	7	7	5	7	7	5	7	
12	DPFB	7	7	3	5,25	5,3	4,75		
13	HCEB	6	4	4	5	5	4		
14	MBEB	9	7	7	7	7	5	7	
15	MBFB	7	3,75	8	6	2,75	3		
16	CAFB	9	9	7,25	8,5	7,25	7,75		
17	RLEB	9	9	7	7	3	5	1	
18	CAEB	9	9	3	3	3	3	5	
19	CAFB	9	9	7,25	8,5	7,25	7,75		
20	SSEB	9	9	7	7	7	7	7	
21	FBFB	7	7	3	6,25	8	5		
22	CCFB	9	9	1,75	5,25	2	1,75		
23	ECFB	9	9	7,75	7	9	7		
24	NGFB	9	9	5,2	5,8	5,8	5		
25	SBFX	8,2	7,5	7,5	7	7,45	6,75		
26	RBFX	8,2	8,15	7,75	8	7,85	8,2		
27	VLFA	7,5	8,15	3,75	4,25	5,2	3		
28	SNFA	9	9	8	7	7,65	7,15		
29	JPFA	9	8,5	6,75	7,5	7	5,5		
30	KHFA	5,5	4,15	3,3	4,5	4,4	5,25		
31	CPFT	9	9	7,75	7,7	6,85	6,75		
32	MKEA	6,5	6	6	5	4,5	7,15		
33	TYEC	9	9	5	9	3	3	1	
34	SGEH	9	9	7	5	3	5	1	
35	TNEH	7	7	5	5	5	9	9	
36	MDEH	9	7	3	3	5	5	5	
37	JCEAG	7	7	7	9	9	5	7	
38	JBEAG	7	7	5	5	5	5	5	
		CLASSE: FORNECEDOR DE EQUIPAMENTO E SERVIÇO							
		SUBCRITÉRIO QUALIDADE DA VIAGEM E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA							
		SEG VEÍC DO SIST	SEG VEÍC DO SIST E DO VIÁRIO	TEMPO DE VIAGEM	PONTUALIDADE	ACESSIBILIDADE UNIV	SIST INFORMACÕES	RUIDO NO INTER DO VEÍC	
	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	
	8,18	7,91	5,97	6,62	6,01	5,64	5,80		
	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA		
	9,00	9,00	7,00	7,00	6,99	5,00	7,00		
	MOD0	MOD0	MOD0	MOD0	MOD0	MOD0	MOD0		
	9,00	9,00	7,00	7,00	7,00	5,00	7,00		
	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO		
	1,12	1,49	1,99	1,86	2,03	1,79	2,38		

Tabela AII-20 – Fornecedor – Subcritérios de Qualidade da Viagem

Fonte: Elaborada pelo autor.

CLASSE: FORNECEDOR DE EQUIPAMENTO E SERVIÇO							
SUBCRITÉRIO DE IMPACTO AMBIENTAL E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA							
Nº DE ENTREVISTADOS	ID DO ENTREVISTADO	EMISSÃO DE GASES	ÁREA OCUP NO SIST VIÁRIO	IMPACTO VISUAL E ESTÉTICO	DIVISÃO DO SIST VIÁRIO	RUÍDO AMBIENTAL	INTERFER NO VIÁRIO DUR CONSTR
1	GPFB	5	7	7	5	5	7
2	ESEB	9	1	5	5	7	3
3	CLEB	7	1	1	5	5	5
4	CFEB	3	2,75	3	2,75	3	
5	JCEB	9	1	3	1	5	5
6	SBEB	9	7	7	7	5	7
7	WSEB	5	1	5	9	5	5
8	JBEB	9	7	5	7	7	9
9	AVEB	7	3	1	3	3	7
10	FRFB	9	3	5	3	7	1
11	EAEB	7	3	3	1	1	1
12	DPFB	4	5		3,75	7	7
13	HCEB	3	3	7	9	7	7
14	MBEB	5	5	5	7	7	7
15	MBFB	5,5	3	4	5	2,75	
16	CAFB	3	2,9	2,8	2,8	2,9	
17	RLEB	5	5	1	7	3	9
18	CAEB	5	3	5	7	5	3
19	CAFB	3	2,9	2,8	2,8	2,9	
20	SSEB	9	7	5	5	7	7
21	FBFB	5,5	4,25	6	6	5,5	
22	CCFB	3,75	3,5	4,5	2	4,5	
23	ECFB	5	7,5	5,25	5	7,5	
24	NGFB	4	3	3,25	4	4	
25	SBFX	8	7	7,25	7,3	7,7	
26	RBFX	7	6,6	7,5	6	8,2	
27	VLFX	3	2,8	3	2,75	3	
28	SNFA	6,75	7,2	6,7	6,8	6,8	
29	JPFA	7	5,75	5,75	5,75	5,5	
30	KHFA	3,75	2,75	3,75	4,5	3,75	3,4
31	CPFT	5	5	5,75	6	6,25	
32	MKEA	4,75	4,75	5	5	5	
33	TYEC	3	3	3	3	3	3
34	SGEH	3	3	3	5	3	3
35	TNEH	9	9	9	9	5	9
36	MDEH	3	1	1	5	5	3
37	JCEAG	9	9	7	7	1	5
38	JBEAG	7	5	5	5	5	3

CLASSE: FORNECEDOR DE EQUIPAMENTO E SERVIÇO							
SUBCRITÉRIO DE IMPACTO AMBIENTAL E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA							
EMISSÃO DE GASES	ÁREA OCUP NO SIST VIÁRIO	IMPACTO VISUAL E ESTÉTICO	DIVISÃO DO SIST VIÁRIO	RUÍDO AMBIENTAL	INTERFER NO VIÁRIO DUR CONSTR		
MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	
5,76	4,31	4,58	5,08	5,03	5,19		
MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	
5,00	3,25	5,00	5,00	5,00	5,00		
MODDO	MODDO	MODDO	MODDO	MODDO	MODDO	MODDO	
9,00	3,00	5,00	5,00	5,00	7,00		
DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	
2,20	2,27	2,01	2,08	1,87	2,47		

Tabela AII-21 – Fornecedor – Subcritérios de Impacto Ambiental

Fonte: Elaborada pelo autor.

2.2.5 Consultor/Pesquisador

- Tabela AII-22: Consultor – Subcritérios de Custo;
- Tabela AII-23: Consultor – Subcritérios de Viabilidade Econômica e Financeira;
- Tabela AII-24: Consultor – Subcritérios de Qualidade da Viagem;
- Tabela AII-25: Consultor – Subcritérios de Impacto Ambiental.

		CLASSE: CONSULTOR / PESQUISADOR					
Nº DE	ID DO	SUBCRITÉRIO DE CUSTO E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA					
ENTREVISTADOS	ENTREVISTADO	INVEST EM INFRA	INVEST EM VEÍCULOS	CUSTO DE ENERG PARA VEÍCULOS	CUSTO O&M VEÍCULOS	CUSTO O&M INFRA	CUSTO PARA RENOVACÃO
1	LVPDTE	5	5	4,5	5	5	0
2	RGFDTE	4,5	4	4	5	4	0
3	BSFDTE	6,75	4,5	5	4,5	5	0
4	TMPDTE	4	3,75	3,75	3,75	4	0
5	AVFDTE	4	4,75	5	3	3	0
6	VAFDTE	5,25	4	6,25	5	3	0
7	PAFX	7	6	7	7	7	7
8	RCFX	7	4	3	5	6,5	4
9	SGFH	6	5,5	1	6	3	7,5
10	SMFX	9	7	5	5	1	0
		CLASSE: CONSULTOR / PESQUISADOR					
		SUBCRITÉRIO DE CUSTO E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA					
		INVEST EM INFRA	INVEST EM VEÍCULOS	CUSTO DE ENERG PARA VEÍCULOS	CUSTO O&M VEÍCULOS	CUSTO O&M INFRA	CUSTO PARA RENOVACÃO
		MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA
		5,85	4,85	4,45	4,93	4,15	1,85
		MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA
		5,63	4,63	4,75	5,00	4,00	0,00
		MODOS	MODOS	MODOS	MODOS	MODOS	MODOS
		4,00	4,00	5,00	5,00	3,00	0,00
		DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO
		1,60	1,05	1,68	1,09	1,80	3,11

Tabela AII-22 – Consultor – Subcritérios de Custo

Fonte: Elaborada pelo autor.

		CLASSE: CONSULTOR / PESQUISADOR		
Nº DE	ID DO	SUBCRITÉRIO DE VIABIL ECON E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA		
ENTREVISTADOS	ENTREVISTADO	TEMPO DE RET DO INVEST	TAXA INTERNA DE RETORNO	VALOR PRESENTE LÍQUIDO
1	LVPDTE	1		
2	RGFDTE	5		4,5
3	BSFDTE	1		2
4	TMPDTE	5		3
5	AVFDTE	5		4,5
6	VAFDTE	9		8
7	PAFX	7	5	3
8	RCFX	5	5	1
9	SGFH	5	8,5	4
10	SMFX	1		1
		CLASSE: CONSULTOR / PESQUISADOR		
		SUBCRITÉRIO DE VIABIL ECON E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA		
		TEMPO DE RET DO INVEST	TAXA INTERNA DE RETORNO	VALOR PRESENTE LÍQUIDO
		MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA
		4,40	6,17	3,44
		MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA
		5,00	5,00	3,00
		MODOS	MODOS	MODOS
		5,00	5,00	4,50
		DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO
		2,67	2,02	2,17

Tabela AII-23 – Consultor – Subcritérios de Viabilidade Econômica e Financeira

Fonte: Elaborada pelo autor.

N° DE	ID DO	SUBCRITÉRIO QUALIDADE DA VIAGEM E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA						
		SEG VEÍC DO SIST	SEG VEÍC DO SIST E DO VIÁRIO	TEMPO DE VIAGEM	PONTUALIDADE	ACESSIBILIDADE UNIV	SIST INFORMAÇÕES	RUIDO NO INTER DO VEÍC
1	LVPDTE	9	9	5	5,5	6	4	
2	RGFDTE	8,5	8,5	6,5	7	3	3	
3	BSFDTE	4,5	7	3	3	8	2,5	
4	TMFDTE	5,5	6,5	6	7,5	5,5	5	
5	AVFDTE	8	9	4,5	6,25	2,75	3	
6	VAFDTE	9	9	5	7	5	4,75	
7	PAFX	9	9	6	9	7	5	
8	RCFX	3,5	3	2	3	3	3	
9	SGFH	7	6	3,5	5,5	3	2,5	
10	SMFX	9	7	5	7	5	3	
		CLASSE: CONSULTOR / PESQUISADOR						
		SUBCRITÉRIO QUALIDADE DA VIAGEM E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA						
		SEG VEÍC DO SIST	SEG VEÍC DO SIST E DO VIÁRIO	TEMPO DE VIAGEM	PONTUALIDADE	ACESSIBILIDADE UNIV	SIST INFORMAÇÕES	RUIDO NO INTER DO VEÍC
		MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA
		7,30	7,40	4,65	6,08	4,83	3,58	
		MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA
		8,25	7,75	5,00	6,63	5,00	3,00	
		MOD0	MOD0	MOD0	MOD0	MOD0	MOD0	MOD0
		9,00	9,00	5,00	7,00	3,00	3,00	
		DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO
		2,08	1,94	1,43	1,91	1,86	1,01	

Tabela AII-24 – Consultor – Subcritérios de Qualidade da Viagem

Fonte: Elaborada pelo autor.

N° DE	ID DO	SUBCRITÉRIO DE IMPACTO AMBIENTAL E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA					
		EMISSÃO DE GASES	ÁREA OCUP NO SIST VIÁRIO	IMPACTO VISUAL E ESTÉTICO	DIVISÃO DO SIST VIÁRIO	RUIDO AMBIENTAL	INTERFER NO VIÁRIO DUR CONSTR
1	LVPDTE	4,5	2	2,5	2,5	3	0
2	RGFDTE	7	4	3	3	3	0
3	BSFDTE	3,5	4	1,5	4	3,5	0
4	TMFDTE	4,5	3,5	4,75	7	5	0
5	AVFDTE	2,5	2,75	3	3	3	0
6	VAFDTE	8	3	2,75	4	2,75	0
7	PAFX	4	5	7	5	4	0
8	RCFX	4,5	3	3	3	2,5	0
9	SGFH	8	6,5	7	3	4	0
10	SMFX	3	3	4	2	3	0
		CLASSE: CONSULTOR / PESQUISADOR					
		SUBCRITÉRIO DE IMPACTO AMBIENTAL E VALORAÇÃO DE IMPORTÂNCIA					
		EMISSÃO DE GASES	ÁREA OCUP NO SIST VIÁRIO	IMPACTO VISUAL E ESTÉTICO	DIVISÃO DO SIST VIÁRIO	RUIDO AMBIENTAL	INTERFER NO VIÁRIO DUR CONSTR
		MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA
		4,95	3,68	3,85	3,65	3,38	0,00
		MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA
		4,50	3,25	3,00	3,00	3,00	0,00
		MOD0	MOD0	MOD0	MOD0	MOD0	MOD0
		4,50	3,00	3,00	3,00	3,00	0,00
		DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO
		2,01	1,29	1,87	1,45	0,76	0,00

Tabela AII-25 – Consultor – Subcritérios de Impacto Ambiental

Fonte: Elaborada pelo autor.

ANEXO III - DESEMPENHOS - ALTERNATIVAS BRT, VLT E MNT

1 | OBJETIVO

Este anexo mostra as estimativas objetivas e subjetivas das variáveis que caracterizam os desempenhos dos modais BRT, VLT e Monotrilho.

2 | ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

2.1 Critérios

Os critérios relevantes selecionados para o estudo são: Custo do Sistema; Viabilidade Econômica e Financeira; Eficiência Energética; Qualidade da Viagem e Impacto Ambiental. Estes critérios, à exceção de Eficiência Energética, são decompostos em 22 subcritérios, conforme a seguir descritos. Adota-se a sigla MNT para designar o Monotrilho.

2.2 Subcritérios

2.2.1 *Custo do Sistema (CS)*

- Investimento em infraestrutura de via, composta por: via de rolamento; pontos de embarque e desembarque; sistema de distribuição e captação de energia elétrica de tração (CSII);
- Investimento em veículos necessários para atender à demanda da Linha (CSIV);
- Custo da energia para operar os veículos ao longo da vida útil do sistema (CSCE);
- Custo de operação e manutenção dos veículos ao longo da vida útil do sistema (CSOMV);
- Custo de operação e manutenção da infraestrutura de via ao longo da vida útil do sistema (CSOMI);
- Custo para renovação do sistema (infraestrutura de via e veículos) ao longo da vida útil do sistema (CSCR).

2.2.2 *Viabilidade Econômica e Financeira (VEF)*

- Tempo de Retorno do Investimento (VEFTRI);
- Taxa Interna de Retorno (VEFTIR);
- Valor Presente Líquido (VEFVPL).

2.2.3 *Eficiência Energética (EE)*

Não foram definidos subcritérios para Eficiência Energética.

2.2.4 *Qualidade da Viagem (QV)*

- Segurança: acidente entre os veículos do sistema (QVSVS);
- Segurança: acidente entre os veículos do sistema e os veículos do sistema viário (QVSVV);
- Tempo de viagem (função da velocidade média dos veículos) (QVVM);
- Pontualidade da viagem (função da gestão da operação) (QVPV);
- Acessibilidade universal (QVAU);
- Sistema de Informação aos Passageiros (QVSIP);
- Nível de ruído produzido no ambiente interno ao veículo (QVRI).

2.2.5 *Impactos Ambientais (IA)*

- Emissão de Gases de Efeito estufa - GEE (CO₂eq) ao longo da vida útil do sistema (emissão veicular) (IAGEE);
- Área do sistema viário ocupada pela infraestrutura de via (IASO);
- Impacto visual estético da infraestrutura de via (IAVE);
- Divisão do sistema viário causado pela infraestrutura de via (IADV);
- Nível de ruído produzido no ambiente externo ao veículo (causado pelo veículo) (IARE);
- Interferência (tempo e logística) no entorno do empreendimento durante a sua implantação (IATI).

3 | DESEMPENHOS

3.1 Critério de Custo

3.1.1 *Subcritério Investimento em Infraestrutura de Via (CSII)*

Infraestruturas Elevadas para os três modais

As infraestruturas Elevadas são ilustradas nas Figuras AIII-1 a 6.



Figura AIII-1 - Exemplo de estrutura de sustentação de tabuleiro para o BRT

Fonte: Acervo Minhocão – Elevado Costa e Silva – 1970¹.



Figura AIII-2 - Exemplo de tabuleiro de quatro pistas para o BRT

Fonte: Acervo Minhocão – Elevado Costa e Silva – 1970².

1 Disponível em: <<https://www.google.com.br>>.

2 Disponível em: <<https://www.google.com.br>>.

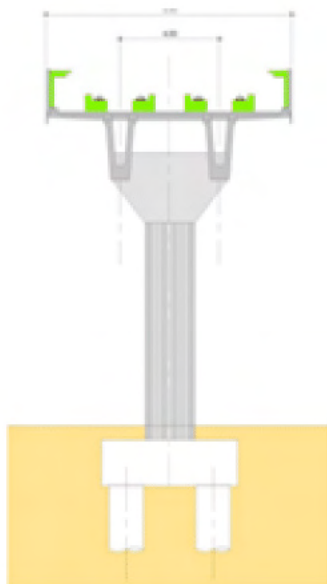


Figura AIII-3 - Estrutura de sustentação do tabuleiro do VLT

Fonte: MECCA, 2013.



Figura AIII-4 - Estrutura de sustentação das Vigas Guias do MNT

Fonte: MECCA, 2013.



Figura AIII-5 – Tabuleiro do VLT

Fonte: MECCA, 2013.



Figura AIII-6 – Vigas Guias do MNT

Fonte: MECCA, 2013.

BRT

Foram feitas três estimativas para o custo por km da infraestrutura elevada do BRT. Os dois primeiros adotam como referência a construção do Elevado Costa e Silva (antigo elevado João Goulart – Minhocão), localizado em São Paulo. Essa referência tem estrutura

elevada de concreto, com quatro faixas, duas para cada sentido de tráfego e tem histórico de custos.

O Elevado custou Cr\$ 37.000.000 em 1970. A obra tem 2,73 km, quatro faixas de rolamento para veículos rodoviários, duas para cada sentido de tráfego, largura de 15,5 a 23,0 metros e 5,5 metros acima do solo. Foi construído em 14 meses, em trabalho contínuo 24h/d. Como curiosidade, a obra consumiu cerca de 300.000 sacos de cimento, 60.000 m³ de concreto e 2.000 t de aço (SILVA, 2016).

O custo atualizado (de fevereiro de 1970 a fevereiro de 2017) dessa construção foi estimado pelo autor considerando dólares da época, corrigidos segundo a média de correção indicada pelos autores consultados. O valor atualizado foi multiplicado por um fator 2,0 (estimativa do autor) para computar o alteamento do tabuleiro, de 5,5 m para 15m acima do viário, em atendimento ao requisito da unidade funcional desse trabalho. A estimativa é de 61,4 US\$ mi/km (WHEELAN, 2014; SEIFE, 2010; BACEN, 2017).

Um segundo método usado para estimar o custo atualizado dessa via com quatro faixas consistiu em se atualizar o valor original da obra pelo INCC (Índice Nacional da Construção Civil da Fundação Getúlio Vargas) e aplicar um fator para o alteamento do tabuleiro. Aplicando-se a correção pelo INCC/FGV de fevereiro de 1970 a fevereiro de 2017, tem-se o valor atualizado de R\$ 237.504.080,37. Multiplicado pelo mesmo fator 2,0 e utilizando-se a taxa do dólar de fevereiro de 2017 (3,1473), tem-se a estimativa final de aproximadamente de US\$ 55,3 mi/km (FGV, 2017; BACEN, 2017).

O terceiro estudo adotou como referência a obra do BRT Expresso Tiradentes. O sistema tem 11,5 km de extensão em infraestrutura elevada, duas faixas sem ultrapassagens nas estações, dois terminais e 11 estações. Foram feitos dois aportes de investimentos, um de R\$ 600 mi entre 2003 e 2005 e outro de R\$ 450 mi entre 2005 e 2007. Em dólares, esses investimentos somam US\$ 419 mi. Sem os custos dos dois terminais, o custo por km é da ordem de US\$ 32,5 mi/km (BACEN, 2017; BASANI, 2017; PlanMob/SP, 2015).

Utiliza-se nessa pesquisa o valor do terceiro estudo, acrescido de 20% (estimativa do autor) para considerar faixas de ultrapassagens em estações: US\$ 39,0 mi/km.

VLT

O custo para a obra civil da infraestrutura de via do VLT é estimado somando-se o custo da infraestrutura ferroviária ao valor calculado para a via de rolamento do BRT sem vias de ultrapassagem, porque não são tipicamente utilizadas no sistema VLT.

O custo por km estimado para a infraestrutura ferroviária composta de trilhos, transformadores, retificadores e dispositivos para distribuição de energia elétrica (catenárias) é de US\$ 26,5/km. Esse valor é uma média entre os valores encontrados na bibliografia consultada: US\$ 30 mi/km e US\$ 23 mi/km (ALOUICHE, P. L., 2012; EMTU - VLT

da Baixada Santista, 2013). Tem-se então a estimativa total de US\$ 59,0 mi/km.

MNT

O custo da infraestrutura de via do Monotrilho da Linha 15 Prata, para 23,8 km de linha é de R\$ 2,33 bi com data base em 01/02/2010 (SETMSP, 2013). Este valor não computa as estações. Atualizado pelo INCC até fevereiro de 2017, o valor é de R\$ 3,83 bi. Em dólares, utilizando-se a taxa de conversão de fevereiro de 2017 (3,1473), tem-se o valor de US\$ 51,1 mi/km.

O Metro (Relatório da Administração, 2016) estima em R\$ 4,72 bi o custo total do Monotrilho da Linha 15 entre as estações Vila Prudente e Iguatemi. O investimento tem custos para 11 estações (R\$ 1,66 bi), Pátio de Oratório (R\$ 400 mi), 27 trens (R\$ 1,2 bi), sistemas de energia (R\$ 0,15 bi) e telecomunicações e auxiliares (R\$ 0,15 bi). Isolando-se somente vias, estações e o sistema de energia e considerando cerca de 17,8 km de vias (15, 3 km na via principal + 2,5 km de acesso ao pátio), tem-se o custo de R\$ 2,97 bi ou R\$ 166,85 bi/km. Aplicando-se a taxa de dezembro de 2016 (3,383) para conversão em dólares (BACEN, 2017), tem-se o custo de US\$ 49,32 / km.

Resumo

Resumindo, utilizam-se neste trabalho os seguintes custos para infraestruturas elevadas: BRT – US\$ 39,00/km; VLT – US\$ 59,00/km e MNT – US\$ 49,32/km.

Infraestruturas em Nível

BRT

Com base no Plano de Investimentos em Corredores e Terminais 2013-2015 da Prefeitura de São Paulo (PlanMob/SP 2013-2015, 2013), a estimativa atualizada para setembro de 2017 é de US\$ 20,75/km (valor médio dos corredores Celso Garcia, Belmira Mirim, Vila Natal, Canal do Cocaia, Miguel Yunes, Nossa Senhora do Sabará e Norte Sul).

VLT

Estima-se para o VLT o custo de US\$ 47,25 mi/km (20,75 para as vias mais 26,50 para o sistema de energia).

MNT

O MNT não é tipicamente instalado em nível. Para efeito de comparações, mantém-se o valor de US\$ 49,32/km.

Resumo

Resumindo, utilizam-se neste trabalho os custos abaixo descritos para as infraestruturas em nível. O BRT, com desapropriações – US\$ 20,75/km, o VLT, com desapropriações – US\$ 47,25/km e o MNT continua com o custo em via elevada – US\$ 49,32/km.

3.1.2 Subcritério Investimento em Veículos (CSIV)

A frota de veículos do MNT estimada pelo Metrô para o trecho VPM a SMT (definição da unidade funcional) é de 27 tens. Com base nesse número de veículos, a frota equivalente do VLT é estimada em 68 veículos. Discutiu-se a frota equivalente do BRT em reuniões com a SPTrans, nas quais estimou-se o número de veículos em 146 ônibus do tipo Superarticulado.

Os investimentos (custos em US\$ mi) estimados em veículos são: Frota BRT – 97,2 100,2; Frota VLT – 432,0 e Frota MNT – 321,3. Segue o memorial de cálculo das frotas e dos custos correspondentes e, também, o memorial do cálculo desses valores.

BRT

O custo médio do veículo BRT é estimado em US\$ 300 mil. Definiu-se esse valor a partir de informações disponíveis de preços praticados pela Mercedes-Benz, Scania e VOLVO, no Brasil, para projetos no Rio de Janeiro, Curitiba e Belo Horizonte e, também, em discussões com a SPTrans (BRTUK, 2015; COSTA, 2014; FREITAS, 2015; LERNER, 2009; PIMENTA, 2014; REIS, 2016, Reuniões do autor com a SPTRans em 05 out 2017).

O preço informado para o Superarticulado Mercedes-Benz, de 23 m de comprimento que transporta entre 170 e 220 passageiros, é de R\$ 650 mil (base junho de 2016). Portanto, da ordem de US\$ 187 mil com a taxa de 3,47 para o dólar da época (BACEN, 2017).

O valor do Superarticulado da Mercedes-Benz, de 23 m que a SPTrans tem base setembro de 2017, é de R\$ 915.000,00. Com taxa de conversão de 3,2 para o dólar, tem o valor de US\$ 277.300,00 a unidade.

A Scania informa os preços para os modelos Articulado e Biarticulado. O custo do Articulado, de 18,6 m de comprimento com capacidade para 160 passageiros, é de R\$ 560 mil (base Outubro de 2015), da ordem de US\$ 146 mil (taxa de 3,83 para o dólar). O Biarticulado modelo F360 HA, com 28 m de comprimento e capacidade para até 270 passageiros, é de R\$ 750 mil (base Outubro de 2015), da ordem de US\$ 196 mil (taxa de 3,83 para o dólar).

O Biarticulado Volvo, com 28 m de comprimento e capacidade para até 250 passageiros (em alguns países da Europa e Ásia transportam da ordem de 256 passageiros),

tem preço de R\$ 1,0 milhão (base Outubro de 2014), portando da ordem de US\$ 412 mil (taxa de 2,43 para o dólar).

A média entre os preços informados para o Superarticulado Mercedes-Benz, Biarticulado Volvo e Biarticulado Scania F360 HA é de US\$ 265 mil. Para harmonizar os dados colhidos nos documentos consultados, que informam valores aproximados, adota-se neste trabalho o custo médio unitário de US\$ 300 mil por unidade. Este é um valor bem próximo do valor informado pela SPTrans para o Superarticulado Mercedes-Benz.

As informações sobre o número de passageiros e o associado conforto interno não estão suficientemente claras nos documentos consultados. A SPTrans considera, em seus dimensionamentos de carga e conforto, 171 passageiros para o Superarticulado Mercedes-Benz, com nível de conforto interno de 6 passageiros por m². Adotando-se a capacidade interna utilizada pela SPTrans, a carga do corredor definido pela unidade funcional e o tempo do ciclo de viagem, estimou-se a frota equivalente do BRT em 146 veículos para a operação do trecho entre Vila Prudente e São Mateus.

Como a legislação do Município de São Paulo (ARTESP, 2004; SMT, 2015) estipula que os ônibus têm que ser renovados a cada 10 anos, a frota total do BRT ao longo da vida útil (30 anos) é de 438 ônibus. Ao custo de US\$ 300 mil a unidade, a frota tem um custo total de US\$ 100,2 mi. A análise financeira, feita mais adiante, considera na rubrica o investimento de três desembolsos de US\$ 33,4 mi, um na data zero e os dois seguintes, a cada 10 anos.

VLT

O custo do VLT tem como base o veículo do VLT da Baixada Santista, ofertado pelo consórcio TREMVIA Santos, formado pela TTrans e Vossloh. A oferta para 22 veículos com capacidade para 400 passageiros, com nível de conforto de 6 passageiros por m², foi de R\$ 284 milhões – base 31/08/2012. Em dólar da época (taxa de 2,03) o valor é de US\$ 140 mi, ou US\$ 6,36 mi cada veículo (BÁFERO, 2012).

Para a equivalência à frota de 27 trens do MNT, são necessários 68 veículos VLT para atender à Unidade Funcional. O valor total é de US\$ 432 mi.

MNT

O custo da frota dos trens do Monotrilho da Linha 15 Prata é de R\$ 1,20 bi – base 01/02/2010 (US\$ 642 mi considerando-se a taxa de 1,87 do dólar da época). São 54 unidades de 7 carros cada uma, aproximadamente US\$ 11,9 mi a unidade (US\$ 1,7 Mi cada carro com capacidade para transportar 143 passageiros com o conforto de 6 passageiros por m²) (SETMSP, 2013). O investimento para a aquisição de 27 trens para a unidade funcional é de US\$ 322,0 mi.

3.1.3 Subcritério Custo da Energia para operar os veículos ao longo da vida útil do sistema (CSCE)

BRT

Por dia, o sistema BRT transporta o total de 329.000 (carga ajustada à capacidade do veículo) passageiros e consome 86.380 litros de óleo diesel. Segue a memória de cálculo. Premissas:

- Motor de combustão interna de 250 kW (360 hp). Este é o tipo de motor que os fabricantes Mercedes-Benz, Scania e Volvo empregam em seus veículos articulados e biarticulados: Mercedes-Benz OM-457 LA; SCANIA DC13 114 360 e Volvo DH12E (MERCEDES, 2016; SCANIA, 2011; VOLVO, 2016);
- Curva característica típica para o motor de combustão interna de 360 hp (declarada pela VOLVO) mostrada na Figura AIII-7;
- Operação com carregamento máximo (235 passageiros, com 6 por m²);
- Quantidade de veículos alinhada com os horários de pico e vale.

Com as premissas acima, o motor entrega 250 kW de potência e consome cerca de 61,7 litros de óleo diesel por hora, conforme a Equação AIII-1.

- Consumo do BRT – Litros de óleo diesel por hora.

$$CI = 0,200 \text{ (kg/kWh)} \times 250 \text{ (kW)} \times 1/810 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 1000 = 61,7 \text{ litros/hora} \quad \text{(AIII-1)}$$

Memorial de cálculo:

- $CI = C \text{ (Equivalência Energética)} * P \text{ (Potência)} * 1/ro \text{ (MDForum, 2014)}$.

Onde:

- $CI = \text{Consumo (volume/hora)}$;
- $C = \text{Equivalência energética ou consumo específico (g/kWh)}$;

Nota: para operação entre 1.400 e 1.900 rpm, o C médio é de 200 g/kWh (Figura AIII-7).

- $P = \text{Potência (kW)}$; $P = 250 \text{ kW}$, para o motor em uso;
- $ro = \text{Densidade do combustível (kg/m}^3\text{)}$; multiplicado por 1000, obtém-se o resultado em litros.

Nota: $ro = 810 \text{ kg/m}^3$ para o óleo diesel.

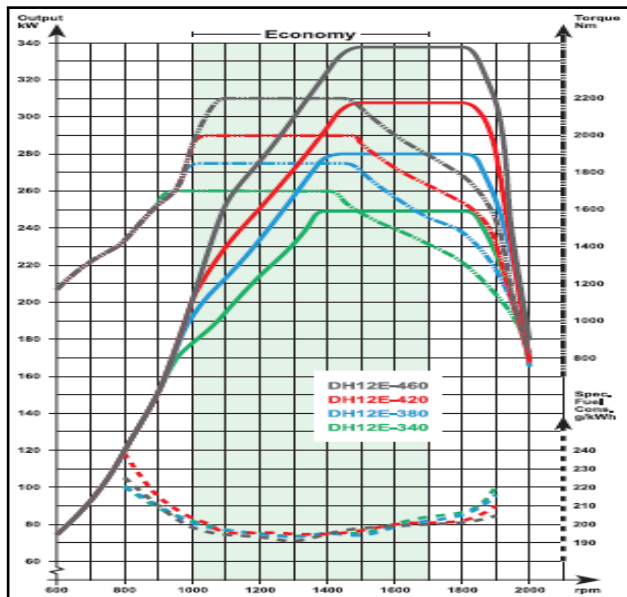


Figura AIII-7 – Curva característica do Motor Volvo DH12E 340 – 250kW

Fonte: Volvo (2016).

Adotando-se a operação diária de 20 horas, 10 horas em pico (100 veículos operando e 8 em reserva) e 10 horas em vale (40 veículos operando e os demais estacionados), por dia, o sistema transporta o total de 329.000 passageiros e consome 86.380 litros de óleo diesel. Estes números podem variar e dependem de variações nos intervalos de pico e vale e da quantidade de veículos em reserva.

Memorial de cálculo

- Carregamento diário no intervalo de pico.
 - $100 \text{ (veículos)} \times (235 \text{ passageiros/veículo}) \times 10 \text{ (horas de operação/dia)} = 235.000 \text{ passageiros.}$
- Carregamento diário no intervalo de vale.
 - $40 \text{ (veículos)} \times (235 \text{ passageiros/veículo}) \times 10 \text{ (horas de operação/dia)} = 94.000 \text{ passageiros.}$
- O consumo diário da frota.
 - $146 \text{ (veículos)} \times 10 \text{ (horas de operação)} \times 61,7 \text{ (litros/hora)} = 90.082 \text{ litros.}$
- O total de combustível usado pela frota ao longo de 30 anos de operação é calculado com as Equações AIII-2 e AIII-3.
 - Consumo energético do BRT ao longo da vida útil de 30 anos (diesel).

90.082 * 300 * 30 = 810.738.000 litros de óleo diesel **(AIII-2)**

Em Mega joules, o valor em litros é multiplicado por 35,86 (TÁVORA, 1975):

- Consumo energético do BRT ao longo da vida útil de 30 anos (Tj).

810.738.000 * 35,86 = 27.878.281.200 Mj = 29,07 Tj **(AIII-3)**

Esta é a quantidade de energia utilizada no estudo do critério Eficiência Energética (EE).

- O custo da energia para o BRT operar 30 anos é de (litros de óleo diesel) é calculado com a Equação AIII-4.
- Custo da energia consumida por veículos do BRT ao longo da vida útil de 30 anos:

810.738.000 * R\$ 2,936 por litro (ANP, 2017) = R\$ 2.380.326.768,00 = US\$ 704.238.688,76 (taxa de conversão adotada pelo autor: 3,38: BACEN (2017) JAN/2017) **(AIII-4)**

Nota: O Subcritério Custo da Energia para operar os veículos do BRT, ao longo da vida útil da unidade funcional, não é utilizado no estudo do critério de Viabilidade Econômica e Financeira porque esse montante já está incluído nos custos variáveis do Subcritério Custo Operacional (CSOMV; CSOMI).

Nota: A capacidade máxima de transporte diária definida pela unidade funcional em 340.000 passageiros pode ser atendida, ajustando-se a quantidade de veículos alocados em reserva operacional.

VLT

Por dia, o sistema VLT transporta um total de 336.000 (carga ajustada à capacidade do veículo) passageiros e consome 504.336 kWh de energia elétrica. Segue a memória de cálculo; observa-se que estes números podem variar e dependem de variações nos intervalos de pico e vale e da quantidade de veículos em reserva.

- Premissas.
 - Velocidade média comercial de 25 km/h (ALOUICHE, 2012; EMTU, 2013), cada veículo VLT faz o ciclo de 25,9 km da unidade funcional em uma hora;
 - Operação diária de 20 horas, 10 horas em pico (58 veículos operando e 10 em reserva) e 10 horas em vale (26 veículos operando e os demais estacionados), por dia;
 - Motor elétrico de 600 kW.
- Passageiros transportados por dia no intervalo de pico.
 - 58 (veículos)*(400 passageiros/veículo)*10 (horas de operação/dia – 10 ciclos da Unidade Funcional) = 232.000 passageiros.

- Passageiros transportados por dia no intervalo de vale.
 - $26 \text{ (veículos)} * (400 \text{ passageiros/veículo}) * 10 \text{ (horas de operação/dia)} = 104.000 \text{ passageiros.}$
- Consumo diário (total) da frota.
 - Operação em pico:
 - $58 \text{ (veículos)} * 10 \text{ (horas)} * 600 \text{ (kW)} = 348.000 \text{ kWh.}$

Nota: Cada veículo opera com 6 motores de 100 kw cada um, consumindo 600 kw por hora de operação (VOSSLOH, 2016).

- Operação em vale:
 - $26 \text{ (veículos)} * 10 \text{ (horas)} * 600 \text{ (kW)} = 156.000 \text{ kWh.}$

O consumo diário da frota é de 504.336 kWh.

O total da energia consumida pela frota VLT ao longo de 30 anos de operação é calculado pelas Equações AIII-5 e AIII-6.

- Energia consumida pela frota VLT (kWh) ao longo de 30 anos de operação.

$$504.336 * 300 * 30 = 4.539.024.000 \text{ kWh} \quad \text{(AIII-5)}$$

Como $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ j}$ (TÁVORA, 1975).

- Energia consumida pela frota VLT (Tj) ao longo de 30 anos de operação.

$$4.539.024.000 \text{ kWh} * 3,6 = 19.880.925.120 = 16.340.486.400 \text{ Mj} = 16,34 \text{ Tj} \quad \text{(AIII-6)}$$

Esta é a quantidade de energia utilizada no estudo do critério Eficiência Energética de Veículos.

O custo dessa energia é calculado com a Equação AIII-7.

- Custo da energia consumida pela frota VLT ao longo de 30 anos de operação.

$$4.539.024.000 \text{ kWh} * \text{R\$ } 0,324 \text{ (custo de } 1,0 \text{ kWh segundo a AES (2017))} = \text{R\$ } 1.470.643.776,00 = \text{US\$ } 435.101.708,88 \text{ (taxa de conversão adotada pelo autor: } 3,38; \text{ BACEN (2017) JAN/2017)} \quad \text{(AIII-7)}$$

Este é o montante que poderia ser utilizado no estudo do critério Viabilidade Econômica e Financeira, mas o custo da energia já está considerado nos custos de operação e manutenção (CSOMV e CSOMI).

Nota: A capacidade de transporte de 330.000 p/dia, utilizada nas avaliações acima, é a operacional. A capacidade máxima de transporte diária definida pela unidade funcional em 340.000 p/dia pode ser atendida com a frota estimada, ajustando-se a quantidade de veículos alocados como reserva operacional.

MNT

Por dia, o sistema transporta um total de 330.000 (carga ajustada à capacidade do veículo) passageiros e consome 462.000 kWh. Observa-se que estes números podem variar e dependem de variações nos intervalos de pico e vale e da quantidade de veículos em reserva. Essas figuras foram calculadas com raciocínio semelhante ao feito para o VLT, adotando-se uma operação diária de 20 horas, 10 horas em pico (24 veículos operando e 3 em reserva operacional) e 10 horas em vale (12 veículos operando e os demais estacionados).

- Carregamento diário da frota.

- Em intervalo de pico:

$24 \text{ (veículos)} * (1000 \text{ passageiros/veículo}) * 10 \text{ (horas de operação/dia - 10 ciclos da Unidade Funcional)} = 240.000 \text{ passageiros.}$

- Em intervalo de vale.

- $9 \text{ (veículos)} * (1000 \text{ passageiros/veículo}) * 10 \text{ (horas de operação/dia)} = 90.000 \text{ passageiros.}$

Total: 330.000 passageiros por dia.

- Consumo diário da frota.

- Operação em pico:

$24 \text{ (veículos)} * 10 \text{ (horas)} * 1400 \text{ (kW)} = 336.000 \text{ kWh.}$

Nota: Cada veículo opera com 14 motores de 100 kw cada um, consumindo 1400 kW por hora de operação (AEAMESP, 2013).

- Operação em vale:

$9 \text{ (veículos)} * 10 \text{ (horas)} * 1400 \text{ (kW)} = 126.000 \text{ kWh.}$

Total: consumo de 462.000 kWh por dia.

O total da energia consumida pela frota MNT ao longo de 30 anos de operação é calculado pelas Equações AIII-8 e AIII-9.

- Energia consumida (kWh) pela frota MNT ao longo de 30 anos de operação

$$462.000 * 300 * 30 = 4.158.000.000 \text{ kWh} \quad \text{(AIII-8)}$$

Em joules (Equação AIII-9), o valor em litros é multiplicado por 3,6 (TÁVORA, 1975).

- Energia consumida (Tj) pela frota MNT ao longo de 30 anos de operação

$$4.158.000.000 \text{ kWh} * 3,6 = 14.968.800.000 \text{ Mj} = 14,97 \text{ Tj} \quad \text{(AIII-9)}$$

O custo da energia consumida pela frota MNT é calculado com a Equação AIII-10.

- Custo da energia consumida pela frota MNT ao longo de 30 anos de operação.

4.158.000.000 kWh * R\$ 0,324 (custo de 1,0 kWh, segundo a AES (2017)) = R\$ 1.347.192.000,00 = US\$ 398.577.514,79 (taxa de conversão adotada pelo autor: 3,38: BACEN (2017) JAN/2017) **(AIII-10)**

Este é o montante que poderia ser utilizado no estudo do critério Desempenho Econômico (ou Viabilidade Econômica). Este procedimento não é feito neste estudo porque o consumo de energia já está computado nos critérios de custo operacional CSOMV e CSOMI.

Observa-se que há imprecisões que ocorrem quando se faz uma análise de viabilidade econômica de longo prazo como a deste estudo, que define uma vida útil de 30 anos. Elas são devidas a variações nos custos do óleo diesel e da energia elétrica e também a variações na taxa de conversão do dólar que ocorrem ao longo de todo esse período de tempo. Essas imprecisões merecem um estudo futuro sobre como minimizar os seus efeitos.

Nota: A capacidade máxima de transporte diária, definida pela unidade funcional em 340.000 passageiros pode ser atendida, ajustando-se a quantidade de veículos alocados em reserva operacional.

3.1.4 Subcritérios de custos de operação e manutenção em veículos (CSOMV) e Infraestrutura de Via (CSOMI)

Com base na bibliografia consultada, os custos operacionais totais (fixos mais variáveis) estimados para a operação de cada modal, em custo por passageiro transportado por dia, são: BRT – US\$ 1,1; VLT – US\$ 0,65 e MNT – US\$ 0,59. Segue a memória do cálculo dos montantes para os custos CSOMV e CSOMI para a operação dos modais na unidade funcional.

Como a unidade funcional tem como requisito a carga diária operacional de 330.000 passageiros, os custos operacionais diários serão: BRT – US\$ 363.000,00; VLT – US\$ 214.500,00 e MNT – US\$ 194.700,00.

Estes custos operacionais foram divididos em veículos (CSOMV) e em infraestrutura (CSOMI), assumindo-se a premissa de 90% e 10%, respectivamente. Esta divisão foi feita com base na média das preferências dos agentes da classe Operador, que responderam aos formulários ou foram entrevistados na pesquisa. Com essas premissas, seguem os custos diários para os critérios CSOMV e CSOMI.

- CSOMV: BRT – US\$ 326.700,00; VLT – US\$ 193.050,00 e MNT – US\$ 175.230,00;
- CSOMVI: BRT – US\$ 36.300,00; VLT – US\$ 21.450,00 e MNT – US\$ 19.470,00.

BRT

A linha de BRT que opera veículos biarticulados em Curitiba tem um custo operacional

por passageiro transportado de R\$ 0,69 (base jan. de 2009). Esse custo engloba todos os custos fixos e variáveis (LERNER, 2009).

Utilizando-se esta informação, mais a taxa de conversão de R\$ 2,38 para o dólar de janeiro de 2009 (BACEN, 2017), tem-se o custo de US\$ 0,29 por passageiro transportado. Com esse parâmetro, o custo operacional diário da Unidade Funcional, como informa a SPTrans, em declaração ao Fórum de Mobilidade Urbana realizado em São Paulo sob o patrocínio do Ministério Público (MP-SP), em outubro de 2013, é correspondente ao valor de R\$ 3,8 por passageiro transportado. Ela também informa que este valor leva em conta os custos fixos e variáveis do serviço de transporte, sem subsídios públicos. E frisa que, no entanto, a operação é feita com subsídio público de R\$ 0,8, o que resulta em R\$ 3,0 com o subsídio (LOPES, 2013).

Utilizando-se esta informação (R\$ 3,0) e a taxa de conversão de R\$ 2,02 para o dólar de maio de 2013 (BACEN, 2017), tem-se o custo de US\$ 1,49 por passageiro transportado.

A EMTU, operadora do sistema de ônibus intermunicipais de São Paulo, declarou, no mesmo Fórum de Mobilidade Urbana, o valor de R\$ 3,31 por passageiro transportado. Com a mesma taxa de câmbio por passageiro transportado, tem-se o custo de US\$ 1,64.

A média entre os três valores (0,29, 1,49 e 1,64) é de 1,14. Utiliza-se neste trabalho o valor de US\$ 1,1. Com esse parâmetro, o custo operacional diário da unidade funcional é calculado com a Equação AIII-11.

- Custo operacional diário do BRT.

$$\text{Custo operacional / dia} = 330.000 (\text{passageiros}) * \text{US\$ } 1,1 = \text{US\$ } 363.000,00 \quad (\text{AIII-11})$$

VLT

Os custos operacionais do VLT, que tem características ferroviárias, variam bastante de país para país em função dos custos locais de salários, energia, serviços e materiais para manutenção de veículos e também serviços e materiais para a construção da infraestrutura de via (RAIL SYSTEM NET, 2010; KÜHN, 2002).

O VLT da cidade de Calgary, como exemplo, é um sistema que opera há mais de 36 anos. O sistema tem uma carga de passageiros da ordem de 300.000 passageiros por dia. O custo operacional declarado para este sistema é de US\$ 0,27 por passageiro transportado. Esse é um valor baixo, justificado porque a obra foi construída de forma integrada com os modais de ônibus, com eles compartilhando parte da infraestrutura viária e as estações. Houve também minimizações em construções de túneis e viadutos (HUBBELL, 2006; RAIL SYSTEM NET, 2010).

Nos Estados Unidos o custo operacional médio do VLT é da ordem de US\$ 7,00 por passageiro transportado (HENRY, 2015; STANGER, 2009).

No Brasil o VLT está em início de operação com os sistemas da Baixada Santista e do Rio de Janeiro. Por isso, há pouca informação sobre os seus custos operacionais. A atribuição de um custo operacional para o VLT toma como referência, com ressalvas, os dados do Metrô de São Paulo.

O Metrô de São Paulo tem um custo operacional por passageiro transportado de R\$ 3,19 (base janeiro de 2009) por dia, nas Linhas 1, 2, 3, e 5. Em dólares da época, com taxa de conversão de R\$ 2,38, tem-se o valor de US\$ 1,34. Esse custo engloba todos os custos fixos e variáveis (LERNER, 2009).

Em data mais recente, no Fórum de Mobilidade Urbana, realizado em São Paulo em 2013 (LOPES, 2013), o Metrô declarou o custo de R\$ 1,95 por passageiro transportado. Em dólares (taxa de conversão de R\$ 2,02 para maio de 2013 (BACEN, 2017)), tem-se o valor de US\$ 0,97).

Neste trabalho, utiliza-se para o VLT o valor de US\$ 0,65, considerando-se que embora o VLT seja mais simples do que os sistemas das Linhas 1, 2, 3, 4 e 5 do Metrô, há 68 veículos que necessitam de manutenção e operadores em três turnos para a prestação do serviço de 20 horas por dia (requisito da unidade funcional).

Com as considerações acima, o custo operacional diário do VLT é calculado com a Equação AIII-12.

- Custo operacional diário do VLT.

$$\text{Custo operacional / dia} = 330.000 (\text{passageiros}) * \text{US\$ } 0,65 = \text{US\$ } 214.500,00 \quad \text{(AIII-12)}$$

MNT

O Monotrilho, como a Linha 4 do Metrô de São Paulo, é um sistema do tipo UTO (Unattended Train Operation), no qual a operação é feita sem condutores nos trens. A bordo dos trens e nas plataformas, são mantidos atendentes para assistência aos usuários. Toda a operação é feita a partir de um centro de controle, que faz a supervisão e o controle operacional através de sistemas de transmissão de dados e vídeos e computadores para supervisão e controle da Linha. Tomando-se como base a Demonstração de Resultados feita pela concessionária da Linha 4 (METRÔ de São Paulo, 2015) pode-se chegar ao custo operacional de US\$ 0,23 por passageiro transportado.

Quanto aos custos de manutenção em Monotrilhos, o Metrô de São Paulo concluiu que eles não são maiores que os de metrôs, a partir de informações fornecidas pela empresa fornecedora do sistema da Linha 15 e por entidades que operam esses sistemas no Japão. A maioria dos sistemas utilizados é similar e a principal diferença entre os dois modais está na forma com que os veículos são tracionados. O trem de metrô emprega contato com roda de aço e trilho e o MNT roda com pneu sobre a viga guia de concreto. Enquanto que no primeiro ocorrem desgastes em rodeiros de aço e em trilhos, no segundo

ocorrem desgastes em pneus. Quanto às vigas do Monotrilho, dados colhidos pelo Metrô, junto aos operadores japoneses, informam que nunca foram trocadas as vigas de concreto em sistemas que funcionam há mais de 50 anos (SETMSP, 2013).

Para o MNT, utiliza-se neste trabalho o custo operacional de US\$ 0,59 por passageiro transportado. É um valor que fica entre o custo operacional da Linha 4 e o custo declarado pelo Metrô no Fórum de Mobilidade Urbana de 2013 (LOPES, 2013; BACEN, 2017). A adoção deste valor levou em consideração algumas premissas. Há informações que atribuem ao MNT custos operacionais similares aos do Metrô e a operação do MNT é do tipo UTO, como a da Linha 4, no entanto, como a operação no Brasil é recente, há necessidade de mais tempo para coleta e análise de custos operacionais para o modal MNT.

Com as considerações acima, o custo operacional diário do MNT é calculado com a Equação AIII-13.

- Custo operacional diário do MNT

$$\text{Custo operacional / dia} = 330.000 (\text{passageiros}) * \text{US\$ } 0,59 = \text{US\$ } 194.700,00 \quad \text{(AIII-13)}$$

3.1.5 *Subcritério de custo de renovação do sistema (CSCR)*

Além dos custos de operação e manutenção da via de rolamento e veículos, um item que se destaca em termos de renovação na operação durante a vida útil de 30 anos definida pela unidade funcional diz respeito à frota de veículos do BRT. Os veículos do BRT têm vida útil de 10 anos (ARTESP, 2004; SMT, 2015), portanto requerem três frotas. A renovação da frota BRT é estimada em US\$ 66,8 (duas frotas). No entanto, essa característica do BRT já é considerada no Subcritério Investimento em Veículos (CSIV).

A partir da consideração acima, as pontuações (desempenhos) do Subcritério CSCR para cada modal, que seriam de 66,8 (BRT), 0,00 (VLT) e 0,00 (MNT), para efeito da construção da matriz de comparação par a par, são iguais às pontuações máximas de 10,0 (normalizadas, significam 0,3333).

3.2 Viabilidade Econômica e Financeira

3.2.1 *Conceitos*

Neste item, os três sistemas são comparados quanto às suas capacidades próprias de gerar caixa, pagar os custos operacionais e remunerar os investimentos dos acionistas a uma taxa de desconto arbitrada. Os subcritérios em análise são:

- Tempo de Retorno do Investimento (TRI, ou *payback* descontado);
- Taxa Interna de Retorno (TIR);

- Valor Presente Líquido (VPL).

Os três subcritérios são analisados a partir da montagem do fluxo de caixa, que é basicamente a projeção da diferença entre as receitas e as despesas (investimentos e custos operacionais), que ocorrem em um determinado período. O fluxo de caixa pode considerar, além das entradas e saídas decorrentes da atividade produtiva da empresa, outras receitas como aplicações e custos financeiros como financiamentos para capital de giro. Este trabalho limita-se à análise do fluxo de caixa operacional, que não considera custos financeiros.

O TRI, ou período de *payback*, é definido como sendo o número de períodos (unidade de tempo de análise) necessários para o acionista recuperar o investimento inicial feito no projeto. Este é o tempo que vai do início do projeto, em que são feitos investimentos, até o instante em que o fluxo de caixa cumulativo passa de negativo a positivo. O fluxo de caixa nesse intervalo é calculado somando-se os fluxos de caixa futuros (receitas menos despesas) com o investimento inicial (custo inicial para viabilizar o projeto). Para efeito de análise, se o período calculado for menor do que aquele definido pelos investidores como aceitável, então o projeto é aceito. Para o cálculo do TRI levar em conta a correção do valor futuro do dinheiro, o fluxo de caixa tem que ser descontado com uma determinada taxa. O *payback* calculado com a taxa de desconto é denominado de *payback descontado* (PB). Quando se compara projetos com este critério, o melhor deles é aquele que tem o menor TRI (CASAROTTO, 1985; McFEDRIES, 2009).

O VPL descontado é um valor calculado trazendo-se para o presente todos os termos futuros de um fluxo de caixa, descontados a uma taxa de desconto (juros) apropriada. Se o VPL for positivo para uma taxa de desconto definida pelo investidor, o projeto terá retorno financeiro maior do que o seu custo de capital. Isto quer dizer que o projeto estará agregando valor para a empresa e seus acionistas. Neste caso, o projeto é aceito. Em comparações entre projetos, o melhor será aquele que tiver maior VPL. A Equação AIII-14 mostra o cálculo do VPL (FC = Fluxo de Caixa do período t; i = taxa de desconto).

- Cálculo do VPL

$$VPL = \sum_{t=1}^n FC_t * 1/(1+i)^t \quad \text{(AIII-14)}$$

Por definição, a TIR é a taxa que resulta um VPL igual a zero. Ela é denominada como interna, pois é calculada considerando-se somente as receitas e despesas ocorridas internamente ao projeto. Este subcritério é analisado em conjunto com a denominada TMA (Taxa Mínima de Atratividade), definida pelo investidor como sendo a taxa mínima de retorno aceitável para o projeto. Para que o projeto seja aceito, a TIR tem que ser maior do que a TMA. O cálculo da TIR é feito igualando-se o VPL a zero e aplicando-se aproximações sucessivas até a obtenção da taxa de desconto que satisfaça a essa equação. A diferença

entre a TIR e a TMA indica o grau de risco do projeto. Quanto maior é a diferença (TIR - TMA), menor é o risco do empreendimento (CASAROTTO, 1985; McFEDRIES, 2009).

Em resumo, o investidor tem que analisar os três subcritérios em conjunto com a TMA para se decidir pela aprovação ou não do projeto; TRI menor do que o máximo definido, TIR maior do que a TMA, a diferença (TMA - TIR) dentro da margem de risco aceitável e VPL positivo (CASAROTTO, 1985; McFEDRIES, 2009).

3.2.2 Resultados

Os três subcritérios foram quantificados (Tabela AIII-1) em simulações que tiveram como entradas as receitas líquidas provenientes exclusivamente da tarifa paga pelos usuários, os custos em investimentos nos veículos e os custos operacionais. As receitas deste estudo têm como base a arrecadação tarifária calculada com a carga máxima diária definida na unidade funcional, que é de 340.000 passageiros.

Modal	TRI (Ano)	TIR (%)	VPL (US\$ mi)	Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (%)
BRT	9,8	7,0	14,2	7,0
VLT	7,8	11,0	1.600,0	
MNT	2,6	38,0	11.900,0	

Tabela AIII-1 - TRI, TIR, VPL para os modais BRT, VLT e MNT

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.2.3 Memorial de cálculo dos subcritérios da Tabela AIII- 1

Premissas

- Fluxos de caixa e subcritérios TRI, TIR e VPL (Figuras AIII-8 a 11) calculados em planilhas Excel (McFEDRIES, 2012), com receitas e custos conforme a Tabela AIII-2, Tarifa de R\$ 3,80 e sem CSII (Custo de Investimento em Infraestrutura);
- Simulações de custos feitas para o BRT com custos operacionais de 1,0 e 1,1 US\$ por passageiro transportado.

Vida útil do empreendimento	30 anos		
Receita anual	BRT	VLT	MT
340.000 p/d *300 d * R\$ 3,8 /p /3,175 (US\$*10 ³)	122.078	122.078	122.078
Custos			
CSII (US\$ mi/km; 12,9 km)	-	-	-
CSIV (Frota – US\$ mi)	100,2	432,0	321,3
CSOMV+ CSOMI (US\$ mi/dia)	340,0	374,0	221,0
			200,6

Tabela AIII-2 - Dados para elaboração do Fluxo de Caixa do projeto

Fonte: Elaborada pelo autor.

Fluxo de caixa

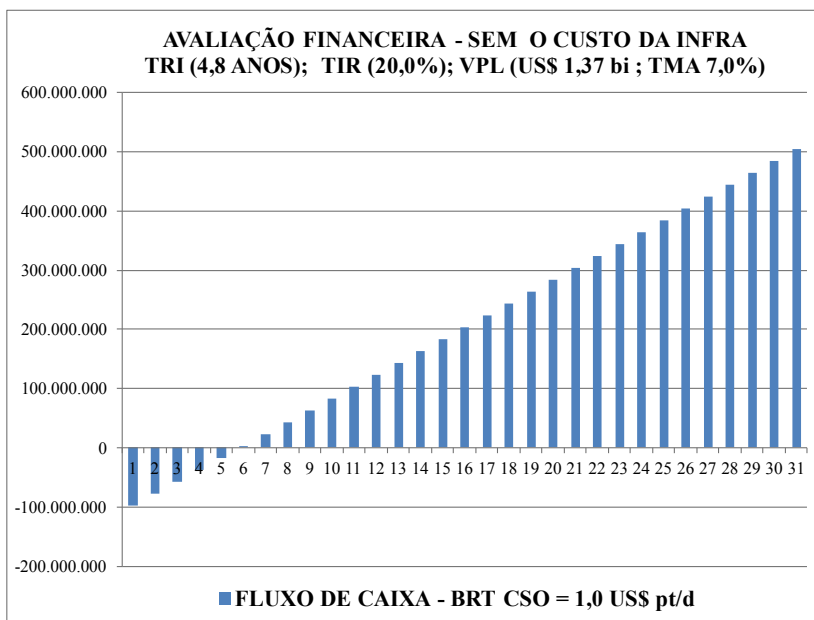


Figura AIII-8 – Avaliação Financeira – BRT – CSO = 1,0 US\$ pt/d

Fonte: Elaborada pelo autor.

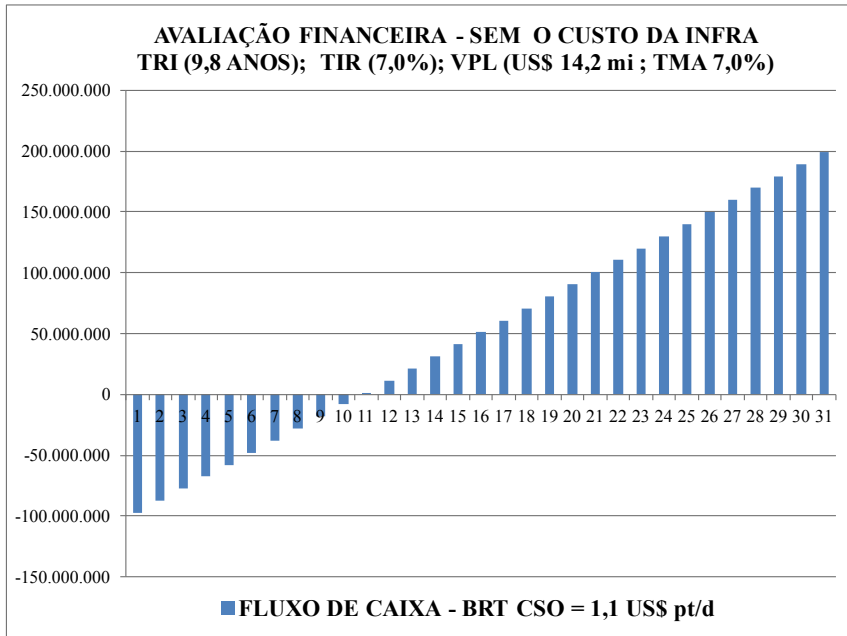


Figura AIII-9 – Avaliação Financeira – BRT – CSO =1,1 US\$ pt/d

Fonte: Elaborada pelo autor.

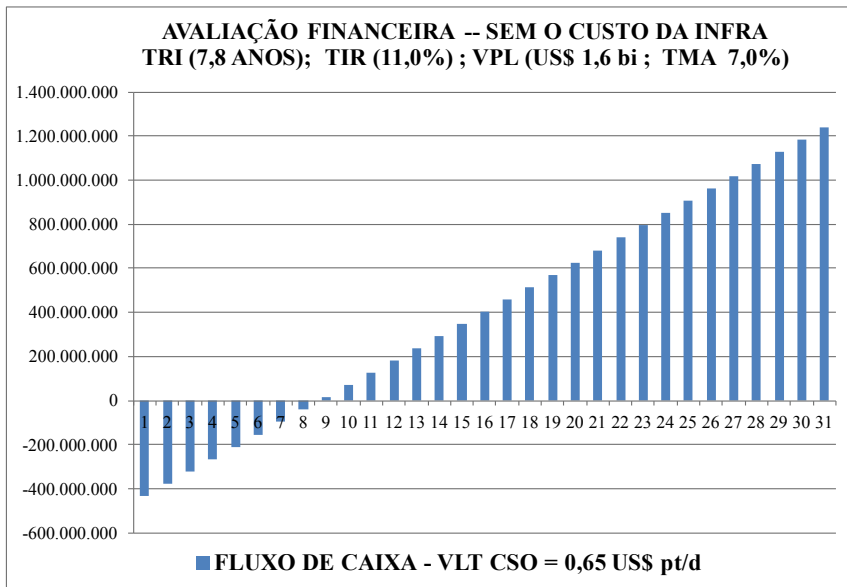


Figura AIII-10 – Fluxo de Caixa – VLT

Fonte: Elaborada pelo autor.

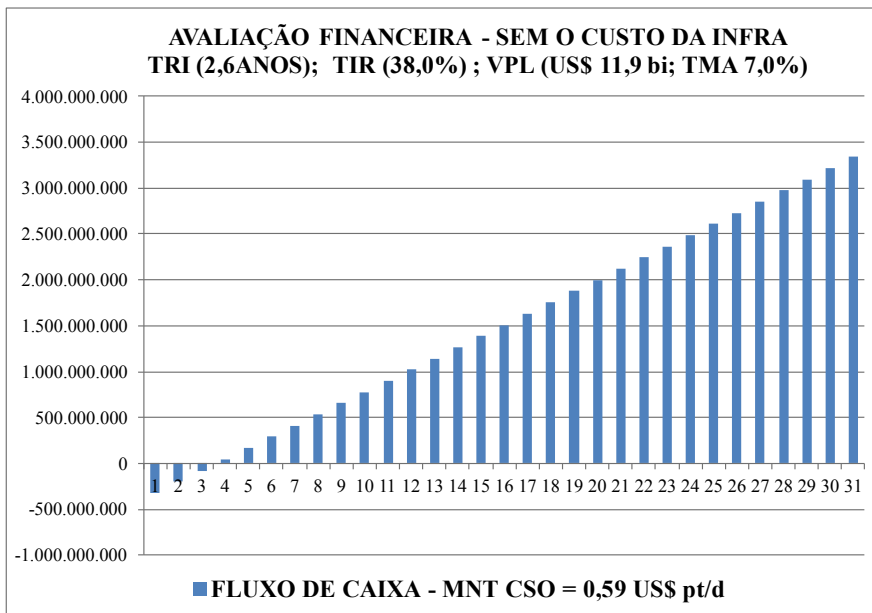


Figura AIII-11 – Fluxo de Caixa – MNT

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.2.4 Comentários

O índice de custo operacional tem grande influência no desempenho do projeto. O BRT tem o maior índice entre os três modais. As Figuras AIII-8 e AIII-9 mostram as simulações feitas para o BRT com índices de 1,0 e 1,1 US\$ por passageiro transportado.

O investimento na infraestrutura de via (CSII) não foi considerado no fluxo de caixa por ser um montante de valor muito elevado, que pode ser financiado exclusivamente com as receitas provenientes da arrecadação tarifária. Este custo deve ser tratado com financiamento externo em complementação à arrecadação tarifária interna ao projeto.

A Tabela AIII-3 resume os resultados dessa breve avaliação econômico financeira dos três modais.

Modal	TRI (Anos)		TIR (%)		VPL (US\$ bi)		TMA (%)	Aplicação de subsídios tarifários (segundo as Fontes consultadas)
	4,8	9,8	20,0	7,0	0,014	1,37		
BRT (CSO 1,0; CSO 1,1)							7	Sim
VLT	7,8		11,0		1,6			Não
MNT	2,6		38,0		11,9			Não

Tabela AIII-3 – Resumo dos critérios TRI, TIR, VLP para BRT, VLT e MNT

Fonte: Elaborada pelo autor.

Há muitos fatores cujas variações, ao longo do tempo, não foram consideradas nessa análise de vida útil de 30 anos – como variações em taxa de câmbio, salários, custos da energia, e custos de materiais. Todas essas variáveis têm influência nos custos de operação e manutenção dos sistemas ao longo do tempo.

3.3 Eficiência Energética

A métrica empregada para a avaliação da Eficiência Energética é 1/Intensidade Energética. A intensidade energética é a quantidade de energia (Tj) utilizada pelo sistema durante toda a operação na unidade funcional (30 anos).

As Intensidades de energia estão calculadas no subcritério CSCE (Equações AIII-3, AIII-6, AIII-9) e são de:

- BRT – 29,07 Tj;
- VLT – 16,34 Tj;
- MNT – 14,97 Tj.

As eficiências energéticas são:

- BRT – 0,0344 1/Tj;
- VLT – 0,0612 1/Tj;
- MNT – 0,0668 1/Tj.

3.4 Qualidade da Viagem

3.4.1 Subcritério de segurança quanto a acidentes entre veículos do sistema (QVSVS)

Neste subcritério, cada um dos três modais recebe uma pontuação subjetiva (autor), entre 1,0 e 10,0 de acordo com o cenário em que cada um deles opera na unidade funcional com relação às modalidades completamente manual, manual supervisionada e completamente automática. As pontuações atribuídas são: BRT – 7,0; VLT – 8,0 e MNT – 9,0. Seguem os argumentos sobre as pontuações.

BRT

Os veículos do BRT são conduzidos em modo totalmente manual. As faixas de rolamento da unidade funcional podem receber um total de até 146 veículos que circulem em duas vias de tráfego, uma para cada sentido de movimento. Nas estações há faixas duplas que permitem ultrapassagens. Considerando este cenário, atribui-se (autor), de forma subjetiva, em uma escala de 1 a 10, a nota 7.

VLT

Os veículos do VLT são conduzidos em modo denominado manual em marcha à vista em duas linhas ferroviárias separadas, uma para cada sentido de tráfego. O condutor tem assistência de sinalização lateral que informa as velocidades máximas que devem ser obedecidas em determinados segmentos da via e também nos pontos em que há dispositivos que possibilitam o cruzamento do veículo de uma via para a outra. Eles são localizados na via corrida e nos pontos de retorno. A via de rolamento, conforme a unidade funcional pode receber um total de até 68 veículos, 34 em cada via. Considerando este cenário, atribui-se (autor), de forma subjetiva, em uma escala de 1 a 10, a nota 8.

MNT

Os veículos do Monotrilho são conduzidos em modo totalmente automático, sem condutores a bordo. Os trens são controlados por sistemas de segurança que devem garantir um nível de segurança de uma falha insegura a cada 10^*E-9 anos (Norma ferroviária). A via de rolamento da unidade funcional pode receber um total de até 27 veículos, distribuídos nas duas vias. Considerando este cenário atribui-se (autor), de forma subjetiva, em uma escala de 1 a 10, a nota 9.

3.4.2 Subcritério de segurança quanto à acidentes entre veículos do sistema e do sistema viário (QVSVV)

A avaliação deste subcritério é feita para duas situações: infraestrutura elevada para os três modais; elevada para o MNT e em nível para BRT e VLT.

Na primeira situação os três modais recebem igual pontuação (nível 10,0) porque estão completamente segregados do tráfego rodoviário. Na segunda as pontuações atribuídas (autor) são de: 7,0 (BRT); 7,0 (VLT); 10 (MNT).

3.4.3 Subcritério de velocidade média (QVVM)

A unidade funcional admite dois requisitos para a mínima velocidade média operacional. Um de 35 km/h, para o caso de infraestrutura elevada, em relação ao sistema viário. A informação obtida, através das pesquisas feitas ao longo da elaboração deste trabalho, é que os três modais podem atender a esse requisito de velocidade com o emprego de estratégias operacionais nas movimentações e paradas dos veículos nas estações. Outras estratégias, que também podem ser adotadas, são a utilização de comunicação de voz e dados entre os operadores e computadores do centro de controle operacional e os condutores e computadores dos veículos. Com essa argumentação, atribui-se a mesma pontuação (10,0) para os três modais.

O outro requisito é o de 25 km/h para o caso de infraestrutura instalada ao nível do viário. Essa velocidade mínima operacional foi identificada (autor) como típica nas reuniões feitas com os técnicos dos sistemas BRT Expresso Tiradentes e VLT de Santos. Nessa opção de instalação da infraestrutura, as pontuações atribuídas (autor) são de 7,0 (BRT), 7,0 (VLT) e 10 (MNT).

3.4.4 Subcritério de pontualidade de viagem (QVPV)

Neste subcritério, cada um dos modais recebe uma pontuação (autor) em uma escala entre 1 e 10, conforme o nível do sistema de monitoração e controle de marcha disponível.

O BRT é conduzido manualmente e o operador segue uma grade horária de partida e chegada entre a origem e o destino final do itinerário. Os pisos do ponto de parada e do veículo são nivelados. Os veículos têm portas com 0,8m de largura.

O VLT também é conduzido manualmente e a posição do veículo é monitorada em toda a linha por um computador central que faz o rastreamento da viagem com o suporte de um sistema de telecomunicação de dados. Um painel a bordo do veículo informa o condutor se ele está adiantado ou atrasado em sua viagem. De posse dessa informação, o condutor procura corrigir a posição do veículo na grade horária, fazendo paradas mais rápidas ou mais demoradas nas estações. Os pisos das estações e veículo são nivelados. Cada veículo tem duas portas por carro, cada uma com abertura total de 1,6 m.

O Monotrilho é um sistema totalmente automático que dispensa condutores a bordo dos trens. O desempenho das viagens é supervisionado e controlado em tempo real por computadores que ficam centralizados em um centro de controle operacional. Os computadores do trem e do centro de controle trocam informações de controle por meio de um sistema de comunicação de dados. Algoritmos de software controlam as velocidades e os tempos de parada nas estações, mantendo o carrossel de trens alinhado com os programas de viagens.

Com base nessas informações, cada modal foi pontuado, subjetivamente (autor), em uma escala de 1 a 10, em BRT – 5,0; VLT – 7,0 e MON – 9,0.

3.4.5 Subcritério de acessibilidade universal (QVAU)

A unidade funcional não define requisitos específicos para acessibilidade universal a passageiros portadores de necessidades especiais. No entanto, nas visitas realizadas (autor) às instalações do Expresso Tiradentes, VLT da Baixada Santista e Monotrilho da Linha 15, foram observadas as presenças de informações visuais, sonoras, horizontais, verticais e em relevo nas plataformas e sonoras e visuais nos trens, nos três sistemas. Também foi encontrada a existência de elevadores e rampas nos três sistemas. No MNT

da Linha 15 há a presença de atendentes nos veículos. Quanto a locais especiais para cadeirantes, foram encontrados locais nos veículos dos três sistemas. Em ônibus há menor espaço interno para a movimentação de passageiros. No MNT há passarela de emergência ao longo da via elevada e a evacuação de passageiros, em caso de pane no sistema, é feita com assistência de atendentes. Em caso de panes, há maior facilidade para evacuação de passageiros no sistema VLT.

Com base nessas informações, cada modal foi pontuado, subjetivamente (autor), em uma escala de 1 a 10 – BRT (7,0); VLT (9,0) e MNT (7,0).

3.4.6 Subcritério de informações aos passageiros (QVSIP)

A pontuação atribuída a este subcritério foi feita após observações de campo. As funcionalidades e equipamentos de informações aos passageiros foram observadas nos sistemas BRT Expresso Tiradentes, VLT de Santos e Monotrilho Linha 15 do Metrô de São Paulo.

As estações terminais do BRT são equipadas com sistemas para informações sonoras. Todas as estações do BRT e do VLT são equipadas com equipamentos para informações sonoras. Os trens do VLT são equipados com equipamentos para informações sonoras. O trem do Monotrilho foi o mais bem pontuado, uma vez que eles estão equipados para fornecer informações sobre a iminência de partida (sinais sonoro e visual), avisos sonoros e visuais em cada carro sobre a identificação da próxima estação, assim como o lado de abertura de portas.

Com base nessas informações, cada modal foi pontuado, subjetivamente (autor), em uma escala de 1 a 10 – BRT (6,0); VLT (7,0) e MNT (9,0).

3.4.7 Subcritério de ruído interno ao veículo (QVRI)

Para levantar os níveis de ruído interno foram feitas medições (autor) nos ônibus do Expresso Tiradentes, no veículo VLT de Santos e no trem do MNT da linha 15 do Metrô de São Paulo. Os valores considerados são as médias das medidas feitas em diferentes pontos dos veículos, parados e em movimento, com velocidades médias, respectivamente, de 25 km/h para o BRT e VLT e 50 km/h para o trem do MNT. As medidas foram feitas tomando-se o cuidado de utilizar o mesmo instrumento, com mesma calibração. Como a análise é feita por comparação, entende-se que a precisão do instrumento não afeta a análise. Os valores medidos, foram: BRT – 86,5 db (A); VLT – 84,5 db (A) e MNT – 79,0 db (A).

3.5 Impactos Ambientais

3.5.1 Subcritério de emissão de GEE (IAGE)

BRT

Usa-se no cálculo deste subcritério, o fator médio de emissão 2,67 kgCO₂eq por litro de óleo diesel queimado na combustão do motor de combustão interna do veículo BRT, somado com o fator médio de 0,5 kgCO₂eq para produzir e distribuir um litro de óleo diesel (EMBRAPA, 2009; CARVALHO, 2011). As emissões produzidas ao longo da vida útil de 30 anos são obtidas pela Equação AIII-15.

- Emissão de CO₂eq – Veículo BRT

$$\begin{aligned} \text{Emissões} &= 3,17 \text{ (kgCO}_2\text{eq / Litro)} * 777.420.000 \text{ (litros consumidos em 30 anos)} \\ &= 2.464.421.400 \text{ kgCO}_2\text{eq} = 2.464.421 \text{ tCO}_2\text{eq} \end{aligned} \quad \text{(AIII-15)}$$

Pode-se também utilizar outra abordagem para o cálculo desse volume de emissões. Ela consiste em se estimar a distância percorrida pela frota de veículos durante toda a vida útil do sistema (da ordem de 512.460.000 km com ciclo de viagem de 26 km, 146 veículos em 10 horas de pico e 73 em 10 horas no vale, 300 dias/ano e 30 anos), multiplicar o resultado pelo consumo de óleo diesel por km (1,3 l/km: estimativa utilizada pela SPTRans em São Paulo) e multiplicar novamente pelo fator 3,17. Obtém-se a estimativa de 2.111.848 tCO₂eq, valor bem próximo do cálculo acima.

Utiliza-se neste trabalho a média entre as duas estimativas – 2.288.135 tCO₂eq.

VLT

Os veículos do VLT não emitem CO₂eq na região da via de rolamento. No entanto, eles consomem energia elétrica da rede do Sistema Interligado Nacional (SIN). A energia do SIN é gerada por diferentes tipos de usinas, emissoras ou não de GEE. O fator médio de emissão de CO₂eq do SIN é publicado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, 2017). Usa-se neste trabalho, o fator médio publicado para 2016, que é de 81,7 kgCO₂eq por MWh gerado. As emissões produzidas ao longo da vida útil de 30 anos são obtidas pela Equação AIII-16.

- Emissão de CO₂eq – Veículo VLT.

$$\begin{aligned} \text{Emissões} &= 81,7 \text{ (kgCO}_2\text{eq / MWh)} * 4.539.024 \text{ (MWh consumidos em 30 anos)} \\ &= 370.838.261 \text{ kgCO}_2\text{eq} = 370.838 \text{ tCO}_2\text{eq} \end{aligned} \quad \text{(AIII-16)}$$

MNT

Os mesmos conceitos do VLT são aplicáveis ao MON. As emissões produzidas ao longo da vida útil de 30 anos são obtidas pela Equação AIII-17.

- Emissão de CO₂eq – Veículo MNT.

$$\begin{aligned} \text{Emissões} &= 81,7 \text{ (kgCO}_2\text{eq / MWh)} * 4.158.000 \text{ (MWh consumidos em 30 anos)} \\ &= 339.708.600 \text{ kgCO}_2\text{eq} = 339.709 \text{ tCO}_2\text{eq} \end{aligned} \quad \text{(AIII-17)}$$

3.5.2 Subcritério de área ocupada no sistema viário pela Infra de via (IASO)

As pontuações deste subcritério foram atribuídas a cada modal em medições feitas em visitas a campo no Elevado Costa e Silva (Minhocão), no Expresso Tiradentes e no Monotrilho da Linha 15 do Metrô de São Paulo. A variável utilizada como referência para esse critério é a largura média do pilar de sustentação, que é instalado no canteiro central da via rodoviária.

BRT

Na infraestrutura elevada, o Expresso Tiradentes ocupa 7,94 m (largura do pilar em seção transversal). Na infraestrutura em nível, a ocupação é de 8,5m na faixa exclusiva entre estações e de 19 m na região de estação.

VLT

Utiliza-se ocupação semelhante à do BRT.

MNT

Os pilares de sustentação das vigas guias de concreto do MNT na Linha 5 têm 1,70 de diâmetro; o espaço lateral entre ele e a guia do viário é de 0,80 m. Então, a ocupação do viário é de 3,3 m.

3.5.3 Subcritério de visual estético da Infra de via (IAVE)

As pontuações deste subcritério foram atribuídas em uma escala de 1,0 a 10, subjetivamente (autor), em função das características construtivas da infraestrutura de via de cada modal.

BRT

A Infraestrutura elevada do BRT tem tabuleiro de concreto com duas vias de rolamento, uma para cada sentido de tráfego. O visual foi considerado como sendo impactante e recebeu pontuação 5.

VLT

Para a infraestrutura elevada, utiliza-se a pontuação semelhante à do BRT.

MNT

A infraestrutura do MON é construída com duas vigas elevadas em concreto, uma para cada sentido de tráfego. O visual foi considerado mais leve e menos impactante em relação às infraestruturas dos modais BRT e VLT, recebendo pontuação 7.

3.5.4 Subcritério de divisão do viário pela Infra de via (IADV)

Neste subcritério, os três modais recebem igual pontuação para as infraestruturas elevadas (nível 10), porque elas não dividem o sistema viário. Quando os sistemas BRT e VLT têm as infraestruturas instaladas, ao nível do viário, elas recebem pontuação (autor) 5,0 em função da divisão do viário.

3.5.5 Subcritério de ruído externo causado pelo veículo (IARE)

A seguir os valores medidos externamente aos veículos (autor).

- BRT – 88,5 db (A); média das medidas feitas externamente (3 m) aos ônibus, no Expresso Tiradentes;
- VLT – 84,5 db (A) para o VLT; média das medidas feitas externamente (3 m) aos veículos do VLT da Baixada Santista;
- MNT – 79,0 db (A); média das medidas feitas externamente (3 m) aos trens da Linha 5 do Metro de São Paulo.

3.5.6 Subcritério de interferência no entorno do sistema durante sua instalação (IATI)

A avaliação deste subcritério adota como indicador o tempo para instalação da infraestrutura de via conforme definida na unidade funcional. Os tempos são estimados em BRT – 36 meses, VLT – 42 meses e MNT – 24 meses.

Seguem os argumentos que indicaram esses tempos.

BRT

O tempo estimado (autor, com base no histórico do projeto – BASANI, 2017), para a instalação da infraestrutura elevada do BRT Expresso Tiradentes, foi aproximadamente 36 meses (11,5 km de extensão).

Para o projeto e instalação do corredor em nível, estima-se (autor, com base em LERNER, 2009) o tempo de 36 meses.

VLT

Utiliza-se (autor) o tempo de instalação similar ao do BRT acrescido de mais 6 meses devidos à instalação do sistema elétrico de energia. Portanto, 42 meses tanto para infraestrutura elevada como em nível.

MNT

O tempo real para a implantação da infraestrutura de via do MNT, para atender à unidade funcional, foi de 24 meses (MECA, 2013).

4 I RESUMO DOS DESEMPENHOS DAS ALTERNATIVAS (TABELA AIII-4)

Critério / Subcritério	Métrica	Modal – Infra Elevada			Modal – Infra Elevada só MNT		
		BRT	VLT	MNT	BRT	VLT	MNT
Custo do Sistema (CS)							
CSII	US\$ mi/km	39,00	59,00	49,32	20,75	47,25	49,32
CSIV	US\$ mi a Frota	100,2	432,0	321,3	100,2	432,0	321,3
CSCE	R\$ bi em 30 anos	2,380	1,470	1,350	2,380	1,470	1,350
CSOMV	US\$ p/dia	1,1	0,65	0,59	1,1	0,65	0,59
CSOMI							
CSCR	Pontuação atribuída	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Viabilidade Econômica e Financeira (VEF) – não considera os custos da infraestrutura (necessários financiamentos externos)							
VEFTRI	Anos	9,8	7,8	2,6	9,8	7,8	2,6
VEFTIR	%	7,0	11,0	38,0	7,0	11,0	38,0
VEFVPL	US\$ mi	14,2	1,600.00	11,900.00	14,2	1,600.00	11,900.00
Eficiência Energética (EE)							
Eficiência Energética (EE)	$EE = 1/IE = 1/Tj$	0,0344	0,0612	0,0668	0,0344	0,0612	0,0668
Qualidade da Viagem (QV)							
QVSVS	Pontuação atribuída	7,0	8,0	9,0	7,0	8,0	9,0
QSVSV	Pontuação atribuída	10,0	10,0	10,0	7,0	7,0	10,0

QVVM	Pontuação atribuída	10,0	10,0	10,0	7,0	7,0	10,0
QVPV	Pontuação atribuída	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0
QVAU	Pontuação atribuída	7,0	9,0	7,0	7,0	9,0	7,0
QVSIP	Pontuação atribuída	6,0	7,0	9,0	6,0	7,0	9,0
QVRI	db (A)	86,5	84,5	79,0	86,5	84,5	79,0
Impactos Ambientais (IA):							
IAGEE	tCO ₂ eq*10 ⁶	2,29	0,37	0,34	2,29	0,37	0,34
IASO	M	7,94	7,94	3,3	8,5	8,5	3,3
Impactos Ambientais (IA):							
IAVE	Pontuação atribuída	5,0	5,0	7,0	5,0	5,0	7,0
IADV	Pontuação atribuída	10,0	10,0	10,0	5,0	5,0	10,0
IARE	db (A)	88,5	84,5	79,0	88,5	84,5	79,0
IATI	Meses	36	42	24	36	42	24

Tabela AIII-4 – Desempenhos das alternativas – Resumo

Fonte: Elaborada pelo autor.

ANEXO IV – ITDP – BRT STANDARD SCORECARD 2014

1 | OBJETIVO

Este anexo mostra (em extrato) os indicadores (com as suas pontuações) presentes no documento BRT Standard Scorecard 2014, que o ITDP utiliza para certificar internacionalmente os sistemas BRT. Mostra também as entidades que fazem a atualização do Scorecard (ITDP).



BRT Standard Scorecard

CATEGORY	MAX SCORE	CATEGORY	MAX SCORE
BRT Basics (PP. 14–23)		Communications (PP. 42–43)	
Dedicated Right-of-Way	8	Branding	3
Busway Alignment	8	Passenger Information	2
Off-board Fare Collection	8	Access and Integration (PP. 44–49)	
Intersection Treatments	7	Universal Access	3
Platform-level Boarding	7	Integration with Other Public Transport	3
Service Planning (PP. 24–30)		Pedestrian Access	3
Multiple Routes	4	Secure Bicycle Parking	2
Express, Limited, and Local Services	3	Bicycle Lanes	2
Control Center	3	Bicycle-sharing Integration	1
Located in Top Ten Corridors	2	Point Deductions (PP. 50–54)	
Demand Profile	3	Commercial Speeds	-10
Hours of Operations	2	Peak Passengers per Hour per Direction (pphd) Below 1,000	-5
Multi-corridor Network	2	Lack of Enforcement of Right-of-Way	-5
Infrastructure (PP. 31–36)		Significant Gap Between Bus Floor and Station Platform	-5
Passing Lanes at Stations	4	Overcrowding	-5
Minimizing Bus Emissions	3	Poorly Maintained Busway, Buses, Stations, and Technology Systems	-10
Stations Set Back from Intersections	3	Low Peak Frequency	-3
Center Stations	2	Low Off-peak Frequency	-2
Pavement Quality	2	Minimum Requirements for a Corridor to be Considered BRT	
Stations (PP. 37–41)		<ol style="list-style-type: none"> At least 75m length with dedicated lanes Score 4 or more points in dedicated right-of-way element Score 4 or more points in busway alignment element Score 20 or more points across all five BRT Basics elements 	
Distances Between Stations	2		
Safe and Comfortable Stations	3		
Number of Doors on Bus	3		
Docking Bays and Sub-stops	1		
Sliding Doors in BRT Stations	1		



Tabela AIV-1 – BRT Standard Scorecard 2014 – Extrato 1

Fonte: ITDP, 2014.

BRT Basics (PP. 14–23)

Dedicated Right-of-Way	8
Busway Alignment	8
Off-board Fare Collection	8
Intersection Treatments	7
Platform-level Boarding	7

Tabela AIV- 2 – BRT Standard Scorecard 2014 – Extrato 2

Fonte: ITDP, 2014.

Service Planning (PP. 24–30)

Multiple Routes	4
Express, Limited, and Local Services	3
Control Center	3
Located in Top Ten Corridors	2
Demand Profile	3
Hours of Operations	2
Multi-corridor Network	2

Tabela AIV-3 – BRT Standard Scorecard 2014 – Extrato 3

Fonte: ITDP, 2014.

Infrastructure (PP. 31–36)

Passing Lanes at Stations	4
Minimizing Bus Emissions	3
Stations Set Back from Intersections	3
Center Stations	2
Pavement Quality	2

Tabela AIV- 4 – BRT Standard Scorecard 2014 – Extrato 4

Fonte: ITDP, 2014.

Stations (PP. 37–41)

Distances Between Stations	2
Safe and Comfortable Stations	3
Number of Doors on Bus	3
Docking Bays and Sub-stops	1
Sliding Doors in BRT Stations	1

Tabela AIV-5 – BRT Standard Scorecard 2014 – Extrato 5

Fonte: ITDP, 2014.

Communications (PP. 42–43)

Branding	3
Passenger Information	2

Tabela AIV-6 – BRT Standard Scorecard 2014 – Extrato 6

Fonte: ITDP, 2014.

Access and Integration (PP. 44–49)

Universal Access	3
Integration with Other Public Transport	3
Pedestrian Access	3
Secure Bicycle Parking	2
Bicycle Lanes	2
Bicycle-sharing Integration	1

Tabela AIV-7 – BRT Standard Scorecard 2014 – Extrato 7

Fonte: ITDP, 2014.

Point Deductions (pp. 50–54)

Commercial Speeds	-10
Peak Passengers per Hour per Direction (pphpd) Below 1,000	-5
Lack of Enforcement of Right-of-Way	-5
Significant Gap Between Bus Floor and Station Platform	-5
Overcrowding	-5
Poorly Maintained Busway, Buses, Stations, and Technology Systems	-10
Low Peak Frequency	-3
Low Off-peak Frequency	-2

Tabela AIV-8 – BRT Standard Scorecard 2014 – Extrato 8

Fonte: ITDP, 2014.

Minimum Requirements for a Corridor to be Considered BRT

1. At least 3km length with dedicated lanes
2. Score 4 or more points in dedicated right-of-way element
3. Score 4 or more points in busway alignment element
4. Score 20 or more points across all five BRT Basics elements



BRONZE
55–69 points



SILVER
70–84 points



GOLD
85–100 points

Quadro AIV-1 – BRT Standard Scorecard 2014 – Extrato 9

Fonte: ITDP, 2014.

ANEXO V – COMPARAÇÃO DE DESEMPENHOS – GLT/LRT

1 | INTRODUÇÃO

Este anexo mostra a comparação dos desempenhos das tecnologias LRT (Light Rail Transit – Figura AV-2) e GLT (Guided Light Transit – Figura AV-1) também conhecida como Tram on Tires ou Rubber-Tired Tramway (LIGHTRAILNOW, 2016). A tecnologia LRT é conhecida no Brasil como VLT (Veículo Leve Sobre Trilhos)¹.

Correntemente há sistemas GLT(s) instalados na França (Nancy, Caen e Clermont-Ferrand, Paris), China (Tianjin e Shanghai) e Itália (L'Aquila e Mestre). Como observação, registra-se que o sistema GLT da cidade de Caen está sendo substituído pelo LRT – previsão de operacionalidade para 2019 (KING, 2015, SWEISYSTEM, 2009).



Figura AV-1 – GLT Translohr – Clermont-Ferrand

Fonte: Translohr, 2017.

¹ Neste trabalho, as duas siglas se referem ao mesmo tipo de sistema.



Figura AV-2 – LRT Nantes

Fonte: Imagem disponível em <<https://www.google.com.br/Nantes>>.

O sistema LRT está correntemente instalado em várias cidades e em diversos países. No Brasil, Santos e Rio de Janeiro já têm esses modais em operação (PREFEITURA-RIO-SECPAR, 2016; BÁFERO, 2012).

O interesse em realizar essa comparação surgiu da leitura de um recente artigo (AZEVEDO, 2017), que descreve a hipótese da implantação de aproximadamente 13 km de linha do GLT ou VLT, no centro da cidade de São Paulo.

A comparação foi feita em um estudo de caso com a utilização do mesmo modelo proposto para apoiar a decisão de escolha dos modais BRT, VLT e Monotrilho, que tem como passos principais:

- Definir os critérios, subcritérios e as alternativas aplicáveis;
- Levantar as preferências dos agentes de decisão pelos critérios e subcritérios, junto aos agentes de decisão;
- Levantar as pontuações das alternativas em atendimento aos critérios e subcritérios junto a especialistas e ou bibliografia aplicável;
- Calcular os vetores de prioridade dos critérios (VPC), subcritérios (VPSC) e alternativas (VPA);
- Determinar a ordem final de preferência das alternativas com o Índice Global de cada uma, calculado através do processamento dos vetores de prioridades de critérios, subcritérios e alternativas.

2 | CRITÉRIOS E SUBCRITÉRIOS

2.1 Critérios

Os critérios relevantes selecionados para o estudo são: Custo do Sistema; Viabilidade Econômica e Financeira; Eficiência Energética; Qualidade da Viagem e Impacto Ambiental. Com exceção de Eficiência Energética, estes critérios são decompostos em 22 subcritérios, conforme descritos a seguir.

2.2 Subcritérios

2.2.1 *Custo do Sistema (CS)*

- Investimento em infraestrutura de via, composta por: via de rolamento; pontos de embarque e desembarque; sistema de distribuição e captação de energia elétrica de tração (CSII);
- Investimento em veículos necessários para atender a demanda da Linha (CSIV);
- Custo da energia para operar os veículos ao longo da vida útil do sistema (CSCE);
- Custo de operação e manutenção dos veículos ao longo da vida útil do sistema (CSOMV);
- Custo de operação e manutenção da infraestrutura de via ao longo da vida útil do sistema (CSOMI);
- Custo para renovação do sistema (infraestrutura de via e veículos) ao longo da vida útil do sistema (CSCR).

2.2.2 *Viabilidade Econômica e Financeira (VEF)*

- Tempo de Retorno do Investimento (VEFTRI);
- Taxa Interna de Retorno (VEFTIR);
- Valor Presente Líquido (VEFVPL).

2.2.3 *Eficiência Energética (EE)*

Não foram definidos subcritérios para Eficiência Energética.

2.2.4 *Qualidade da Viagem (QV)*

- Segurança: acidente entre os veículos do sistema (QVSVS);
- Segurança: acidente entre os veículos do sistema e os veículos do sistema viário (QVSVV);

- Tempo de viagem (função da velocidade média dos veículos) (QVVM);
- Pontualidade da viagem (função da gestão da operação) (QVPV);
- Acessibilidade universal para embarque e desembarque do veículo (QVAU);
- Sistema de Informação aos passageiros (QVSIP);
- Nível de ruído produzido no ambiente interno ao veículo (QVRI).

2.2.5 Impactos Ambientais (IA)

- Emissão de Gases de Efeito estufa - GEE (CO₂eq) ao longo da vida útil do sistema (emissão veicular) (IAGEE);
- Área do sistema viário ocupada pela infraestrutura de via (IASO);
- Impacto visual estético da infraestrutura de via (IAVE);
- Divisão do sistema viário causado pela infraestrutura de via (IADV);
- Nível de ruído produzido no ambiente externo ao veículo (causado pelo veículo) (IARE);
- Interferência (tempo e logística) no entorno do empreendimento durante a sua implantação (IATI).

3 | VETORES DE PRIORIDADE DE CRITÉRIOS (VPC) E SUBCRITÉRIOS (VPSC)

Como este estudo de caso é feito para uma aplicação hipotética na cidade de São Paulo (AZEVEDO, 2017), são utilizados os vetores VPC e VPSC já desenvolvidos para a avaliação dos modais BRT, VLT e Monotrilho (Tabela AV-1). Esses dois vetores foram desenvolvidos com o levantamento de preferências de agentes de decisão presentes em São Paulo e, portanto, podem ser utilizados nesse estudo.

Importâncias (preferências) dadas pelos agentes de decisão aos **critérios** (VPC) e **subcritérios** (VPSC) **após a comparação par a par** (método AHP)

Critério	Subcritério	VPC	VPSC	Verificação da decomposição do VPC
CS	CSII	0,0810	0,4327	1,0000
	CSIV		0,2334	
	CSCE		0,0976	
	CSOMV		0,1454	
	CSOMI		0,0592	
	CSCR		0,0317	
VEF	VEFTRI	0,0372	0,2569	1,0000
	VEFTIR		0,6435	
	VEFVPL		0,0996	
EE	EE	0,1445	1,0000	1,0000
Critério	Subcritério	VPC	VPSC	Verificação da decomposição do VPC
QV	QVSVS	0,4954	0,4079	1,0000
	QSVVV		0,2310	
	QVVM		0,0937	
	QVPV		0,1457	
	QVAU		0,0629	
	QVSIP		0,0198	
	QVRI		0,0390	
	IA		IAGEE	
IASO		0,0888		
IAVE		0,0310		
IADV		0,0639		
IARE		0,1501		
IATI		0,2249		

Tabela AV-1 – Vetores VPC e VPSC

Fonte: Elaborada pelo autor.

4 | VETOR DE PRIORIDADE DE ALTERNATIVA

Este vetor é obtido comparando-se os desempenhos de cada alternativa (GLT e VLT) com relação aos critérios e subcritérios.

4.1 Critério Custo

4.1.1 Subcritério Investimento em Infraestrutura de Via e Veículos (CSII+CSIV)

Os custos que se seguem foram extraídos de Azevedo (2017), Lightrailnow (2016), King (2015) e Sweisystem (2009).

Sistema	Custo
LRT Le Man Line:	US\$ 31,2 mi/km
LRT Paris T-3 Line:	US\$ 42,5 mi/km
LRT Paris Châtillon-Virofly Line	US\$ 40,4 mi/km
LRT for Caen:	US\$ 16,6 mi/km
	Média
LRT	US\$ 32,7 mi/km

Sistema	Custo
GLT Paris CAD Line:	US\$ 52,7 mi/km
GLT Paris, Saint-Denis Sarcelles Line:	US\$ 39,6 mi/km
GLP São Paulo (US\$ a 3,3)	US\$ 24,24 mi/km
GLP	Média
GLT	US\$ 38,84 mi/km

4.1.2 *Subcritério Investimento em Veículos (CSIV)*

Investimentos em veículos já estão considerados no item anterior.

4.1.3 *Subcritério Custo da Energia para Veículos (CSCE)²*

O custo da energia é considerado igual para os dois tipos de veículos.

4.1.4 *Subcritério Custo de Operação e Manutenção dos veículos (CSOMV)*

O custo de operação e manutenção de veículos é considerado 10% maior para o GLT em comparação com o valor médio de US\$ 0,65 por passageiro transportado, em função da troca periódica de pneus.

4.1.5 *Subcritério Custo de Operação e Manutenção da infraestrutura de via (CSOMI)*

O custo de operação e manutenção da infraestrutura de via é considerado 10% maior para o GLT em função da manutenção periódica que deve ser feita no piso por onde passa o veículo (LIGHTRAILNOW, 2016; KING, 2015; SWEISYSTEM, 2009).

² Os dados relativos aos custos apresentados nos subitens 4.1.3 a 4.1.6 referem-se a este trabalho em particular.

4.1.6 Subcritério Custo para Renovação do Sistema (CSCR)

O custo para renovação do sistema é considerado igual para os dois sistemas.

4.2 Viabilidade Econômica e Financeira

4.2.1 Conceitos

Neste subitem os dois sistemas são comparados quanto às suas capacidades próprias de gerar caixa, pagar os custos operacionais e remunerar os investimentos dos acionistas a uma taxa de desconto arbitrada. Os subcritérios em análise são:

- Tempo de Retorno do Investimento (TRI, ou *payback* descontado);
- Taxa Interna de Retorno (TIR);
- Valor Presente Líquido (VPL).

Premissas

- Os três subcritérios são analisados a partir da montagem dos fluxos de caixa para os dois modais;
- A quantificação das três variáveis foi feitas com as seguintes premissas:
 - Operação em 30 anos;
 - Receitas líquidas provenientes exclusivamente da tarifa paga pelos usuários (R\$ 3,80 por viagem) e carga máxima diária estimada (autor) em 100.000 passageiros;
 - Custos operacionais estimados em US\$ 0,65 por passageiro para o VLT e US\$ 0,72 (10% maior) para o GLT.

4.2.2 Resultados

Os três subcritérios foram quantificados (resumo na Tabela AV-2) partir da montagem dos fluxos de caixa para os dois modais.

Modal	TRI (Anos)	TIR (%)	VPL (US\$ mi)	Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (%)
GLT	7,8	13,46	76,0	12%
VLT	7,1	16,0	216,0	

Tabela AV-2 – TRI, TIR, VPL para os modais GLT e VLT

Fonte: Elaborada pelo autor.

Fluxos de Caixa

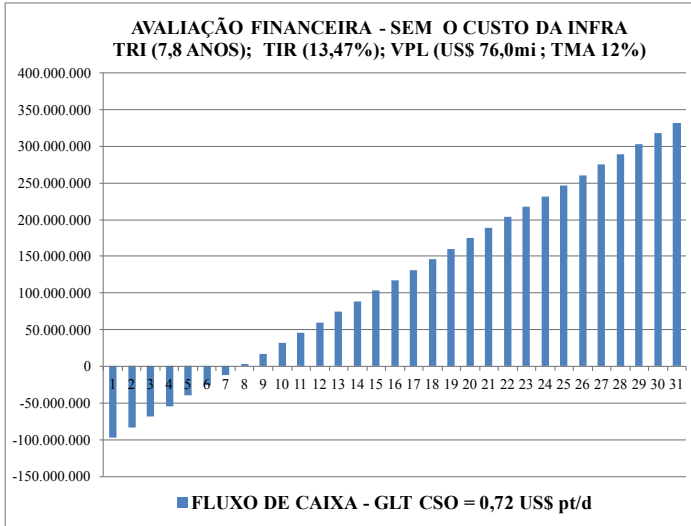


Figura AV-3 – Fluxo de Caixa – GLT

Fonte: Elaborada pelo autor.

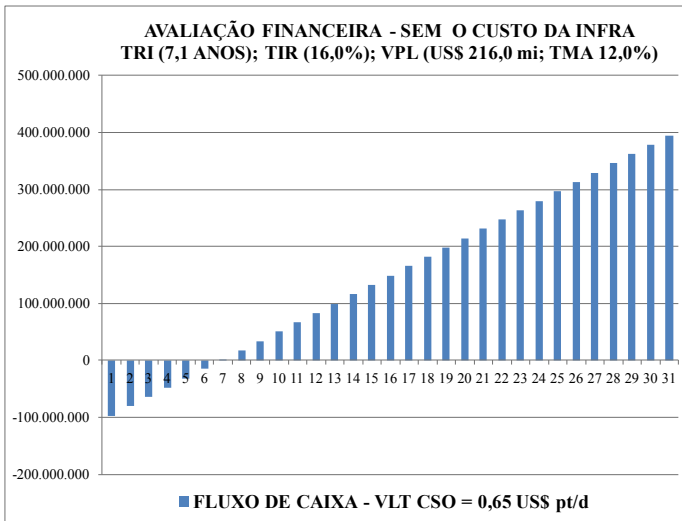


Figura AV-4 – Fluxo de Caixa – VLT

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2.3 Comentários

Como mostra a Tabela AV-2, a preferência econômica financeira é pelo VLT: menor TRI, maior VPL e menor risco (TIR-TMA).

Não foram considerados nas simulações os investimentos em infraestrutura de

via e em veículos, que têm montante estimado em R\$ 1,024 bi (AZEVEDO, 2017). Este montante precisa ser financiado com outras fontes de recursos, além das receitas tarifárias do empreendimento.

Há outros fatores cujas variações ao longo do tempo não foram consideradas nessa análise limitada de vida útil de 30 anos, como: variações em taxa de câmbio; salários; custos da energia; e custos de materiais entre outros. Todas essas variáveis têm influência nos custos de operação e manutenção dos sistemas ao longo do tempo.

4.3 Eficiência Energética

Neste estudo, a eficiência energética dos dois veículos foi considerada igual, apesar de o veículo GLT ser um pouco menos eficiente do que o VLT devido ao contato entre as rodas com pneus e o piso de concreto ou asfalto.

4.4 Qualidade da Viagem

4.4.1 Subcritério de segurança quanto a acidentes entre veículos do sistema (QVSVS)

Neste subcritério cada um dos três modais recebe uma pontuação subjetiva (autor) entre 1,0 e 10,0. As pontuações atribuídas são GLT – 5,0 e VLT – 9. Essas pontuações foram atribuídas após conhecer os relatos sobre os descarrilamentos ocorridos em várias instalações com o sistema GLT (BOMBARDIER, 2017; LIGHTRAILNOW, 2016; KING, 2015; SWEISYSTEM, 2009; TRANSLOHR, 2017).

4.4.2 Subcritério de segurança quanto a acidentes entre veículos do sistema e do sistema viário (QVSVV)

As pontuações a esse subcritério atribuídas são GLT – 5,0 e VLT – 9. Mesmo argumento do item anterior

4.4.3 Subcritério de velocidade média (QVVM)

Em trânsito compartilhado, conforme a descrição da aplicação hipotética em São Paulo (AZEVEDO, 2017), os dois sistemas terão velocidades médias semelhantes.

4.4.4 Subcritério de pontualidade de viagem (QVPV)

Em trânsito compartilhado, conforme a descrição da aplicação hipotética em São Paulo (Ibidem, 2017), os dois sistemas terão comportamentos semelhantes com relação à pontualidade na grade de viagens.

4.4.5 Subcritério de acessibilidade universal (QVAU)

Construídos com veículos de piso baixo, os dois sistemas terão comportamentos semelhantes com relação à acessibilidade universal (BOMBARDIER, 2017; LIGHTRAILNOW, 2016; KING, 2015; SWEISYSTEM, 2009; TRANSLOHR, 2017).

4.4.6 Subcritério de informação aos passageiros (QVSIP)

Equipados com tecnologia moderna para comunicação aos passageiros, os dois sistemas terão comportamentos semelhantes com relação ao quesito QVSIP (BOMBARDIER, 2017; LIGHTRAILNOW, 2016; KING, 2015; SWEISYSTEM, 2009; TRANSLOHR, 2017).

4.4.7 Subcritério de ruído interno ao veículo (QVRI)

Construídos com tecnologia moderna, os dois sistemas terão comportamentos semelhantes com relação ao quesito QVRI (BOMBARDIER, 2017; LIGHTRAILNOW, 2016; KING, 2015; SWEISYSTEM, 2009; TRANSLOHR, 2017).

4.5 Impactos Ambientais

4.5.1 Subcritério de emissão de GEE (IAGE)

Como os dois sistemas são tracionados com motores elétricos e serão alimentados a partir da mesma fonte geradora de energia elétrica na aplicação hipotética na cidade de São Paulo, os dois sistemas têm comportamentos semelhantes com relação ao quesito IAGE.

4.5.2 Subcritério de área ocupada no sistema viário pela Infra de via (IASO)

Neste quesito os dois sistemas terão comportamentos semelhantes.

4.5.3 Subcritério de visual estético da Infra de via (IAVE)

Neste quesito os dois sistemas terão comportamentos semelhantes.

4.5.4 Subcritério de divisão do viário pela Infra de via (IADV)

Neste quesito os dois sistemas terão comportamentos semelhantes.

4.5.5 Subcritério de ruído externo causado pelo veículo (IARE)

Neste quesito o GLT terá um desempenho melhor do que o VLT, devido às rodas com pneus de borracha. Em pontuação subjetiva, o GLT recebe nível 9,0 e o VLT 7,0.

4.5.6 Subcritério de interferência no entorno do sistema durante sua instalação (IATI)

Neste quesito o GLT terá um desempenho melhor (menor tempo de instalação) do que o VLT, devido a ter somente um trilho guia e o VLT dois. Em pontuação subjetiva, o GLT recebe nível 9,0 e o VLT 7,0.

5 | RESUMO DOS DESEMPENHOS DAS ALTERNATIVAS GLT E VLT

Ver a Tabela AV-3.

6 | VETOR PRIORIDADE DE ALTERNATIVA (VPA) E ÍNDICE GLOBAL

O VPA (Tabela AV-4) é elaborado fazendo-se a normalização e a comparação, par a par, dos desempenhos individuais de cada alternativa.

A Equação AV-1 (SAATY, 1991) mostra a função linear aditiva para o cálculo do IG das alternativas. (Na equação, m é o número de critérios (cinco critérios neste caso), p é o número de subcritérios (22 subcritérios, neste caso)) e j é o número de alternativas (duas, neste caso). Os pesos ou preferências dos agentes de decisão pelos critérios e subcritérios são representados pela letra w e z e o desempenho de cada alternativa pela letra v .

- Processo AHP - Cálculo do Índice Global:

$$IG(A_j) = \sum_{i=1}^m w_i(C_i) * \sum_{k=1}^p z_k(SCK) * v_j(A_j) \quad (AV-1)$$

7 | CONCLUSÃO

Dentro dos limites e premissas desta análise, conforme mostram os Índices Globais, o VLT (IG = 0,6211) tem preferência em relação ao GLT (IG = 0,3789).

Critério / Subcritério	Métrica	Desempenho	
		GLT	VLT
Custo do Sistema (CS)			
CSII	US\$ mi/km	38,84	32,7
CSIV			
CSCE	Desempenhos iguais	10,0	10,0
CSOMV	US\$ p/dia	0,72	0,65
CSOMI			
CSCR	Desempenhos iguais	10,0	10,0
Viabilidade Econômica e Financeira (VEF):			
VEFTRI	Anos	7,8	7,1
VEFTIR	%	13,46	16,0
VEFVPL	US\$ mi	76,0	216,0
Eficiência Energética (EE)			
Eficiência Energética (EE)	Desempenhos iguais	10,0	10,0
Qualidade da Viagem (QV)			
QSVS	Pontuação atribuída	5,0	9,0
QSVV	Pontuação atribuída	5,0	9,0
QVVM	Desempenhos iguais	10,0	10,0
QVPV	Desempenhos iguais	10,0	10,0
QVAU	Desempenhos iguais	10,0	10,0
QVSIP	Desempenhos iguais	10,0	10,0
QVRI	Desempenhos iguais	10,0	10,0
Impactos Ambientais (IA):			
IAGEE	Desempenhos iguais	10,0	10,0
IASO	Desempenhos iguais	10,0	10,0
IAVE	Desempenhos iguais	10,0	10,0
IADV	Desempenhos iguais	10,0	10,0
IARE	Pontuação atribuída	9,0	7,0
IATI	Pontuação atribuída	9,0	7,0

Tabela AV-3 – Desempenhos das alternativas GLT e VLT

Fonte: Elaborada pelo autor.

VPA - Após a comparação par a par		ÍNDICE GLOBAL	
GLP	VLT	GLT	VLT
0,1555	0,8445	0,3789	0,6211
0,1555	0,8445		
0,5000	0,5000		
0,1599	0,8401		
0,1599	0,8401		
0,5000	0,5000		
0,1604	0,8396		
0,1555	0,8445		
0,1191	0,8809		
0,5000	0,5000		
0,1346	0,8654		
0,1346	0,8654		
0,5000	0,5000		
0,5000	0,5000		
0,5000	0,5000		
0,5000	0,5000		
0,5000	0,5000		
0,5000	0,5000		
0,5000	0,5000		
0,5000	0,5000		
0,8491	0,1509		
0,8491	0,1509		

Tabela AV-4 – Vetor Prioridade de Alternativa e Índices Globais GLT e VLT

Fonte: Elaborada pelo autor.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, G. **Setor imobiliário entrega a Doria plano para implantar “bonde moderno” no centro de SP. São Paulo, 2017.** Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2017/06/03/setor-imobiliario-entrega-a-doria-plano-para-implantar-bonde-moderno-no-centro-de-sp.htm>>. Acesso em: 09 jun. 2017.

BÁFERO, M.T. **Fornecimento de 22 (vinte e dois) Veículos Leves sobre Trilhos – VLT**, a serem utilizados na rede de Veículos Leves sobre Trilhos – VLT, da Região Metropolitana da Baixada Santista - RMBS. Comissão Especial Julgadora de Licitações para a Concorrência nº 004/2012. PUBLICADO NO DOE DE 31/08/2012 - CADERNO EMPRESARIAL. EMTU, São Paulo, 31/08/2012.

BOMBARDIER. **Bombardier Guided Light Transit.** Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Bombardier_Guided_Light_Transit>. Acesso em: 09 jun. 2017.

KING, C. et al. **Innovative technologies for light rail and tramTyre Innovation: Rubber-Tyre Trams.** Briefing Paper 1, London: University College London, sept. 2015.

LIGHTRAILNOW. **Caen**: Guided BRT out, real LRT tramway in by 2019. 29 February 2016. Disponível em: <<https://lightrailnow.wordpress.com/>>. Acesso em: 09 jun. 2017

McFEDRIES, P. **Fórmulas e funções com Microsoft Office 2007**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2012.

NICE Tramway. **Transport in Nice, França**. Disponível em: <<http://www.bestofniceblog.com/transport-in-nice/tramway/>>. Acesso em 04 jun. 2017.

PREFEITURA-RIO-SECPAR. **Veículo Leve Sobre Trilhos – VLT**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/secpar/vlt>>. Acesso em: 03 abr. 2017.

SAATY, T. L. **Método de análise hierárquica**. Ed. McGraw – Hill e Makron Books do Brasil. Rio de Janeiro, 1991.

TRANSLOHR. **Translohr**. Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Translohr>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

ZWEISYSTEM. **Guided Light Transit (GLT), the ultimate BRT**. Fraser Valley Interurban, 2009. Disponível em; <<https://railforthevalley.wordpress.com/2009/10/26/tram-on-tires-guided-light-transit-glt-the-ultimate-guided-bus/>>. Acesso em 09 jun. 2017.

ANEXO VI – EXTRATO DA PLATAFORMA EXCEL DO ESTUDO DE CASO

1 | INTRODUÇÃO

Este anexo mostra parte do ambiente Excel em que estão montados os Critérios, Subcritérios, vetores VPC (Vetor Prioridade de Critérios), VPSC (Vetor Prioridade de Subcritérios) e VPA (Vetor Prioridade de Alternativas) e também as equações através das quais são calculados os Índices Globais das alternativas BRT, VLT e MNT.

	C	D	E	F	G	H	I	J
Critérios - Preferências dos agentes de decisão (O: Operador, V: Vizinho, U: Usuário, F: Fornecedor, C: Consultor)								
Agentes de Decisão	O	V	U	F	C	Agregação - Média Geométrica das preferências (valores que são submetidos à comparação par a par)		
Formulários de aviação	10	22	58	38	10			
CRITÉRIOS	Média Aritmética das preferências							
Custo (CS)	7,1800	3,9091	4,3155	6,4342	4,7500	5,1723		
Viabilidade Econômica e Financeira (VEF)	7,6380	3,7273	4,3716	6,6000	3,4500	4,9031		
Eficiência Energética (EE)	8,1750	5,0000	4,4375	6,1000	4,6667	5,5282		
Qualidade da Viagem (QV)	6,3980	7,0000	7,6164	5,6237	4,9500	6,2446		
Impacto Ambiental (IA)	5,2400	8,0000	5,9241	5,6224	4,6000	5,7749		

Tabela VI-1 – Critérios (Tabela 18) – Preferências dos *stakeholders* (agentes de decisão)

Fonte: Elaborada pelo autor.

L	M	N	O	P	Q	R	S
Subcritérios - Preferências dos agentes de decisão (O: Operador; V: Vizinho; U: Usuário; F: Fornecedor; C: Consultor)							
Agentes de decisão		O	V	U	F	C	Agregação - Média Geométrica das preferências (valores que são submetidos à comparação par a par)
Formulários de avaliação		10	22	58	38	10	
Crítéri o	Subcritério	Subcritérios - Média Aritmética das preferências					
CS	CSII	7,1700	5,3636	5,3698	6,1039	5,8500	5,9366
	CSIV	6,2250	4,8182	5,4629	6,1513	4,8500	5,4680
	CSCE	7,1800	3,3636	4,3759	5,6776	4,4500	4,8451
	CSOMV	7,0500	3,3636	4,3578	5,7829	4,9250	4,9404
	CSOMI	6,2750	3,1818	3,9388	5,4658	4,1500	4,4696
	CSCR	6,3556	4,0909	4,1238	6,8000	1,8500	4,2266
VEF	VEFTRI	5,2500	3,0909	3,2845	6,1447	4,4000	4,2829
	VEFTIR	6,5556	2,2727	2,8938	6,5833	6,1667	4,4527
	VEFVPL	6,1000	2,1818	2,9298	5,5368	3,4444	3,7521
EE	EE						
QV	QVSVS	7,9100	7,6364	7,9052	8,1816	7,3000	7,7808
	QVSVV	7,6000	7,6364	7,6310	7,9132	7,4000	7,6344
	QVVM	6,8300	5,9091	6,5181	5,9697	4,6500	5,9251
	QVPV	6,9700	6,4545	7,3966	6,6184	6,0750	6,6878
	QVAU	5,4000	5,8182	6,4310	6,0066	4,8250	5,6691
	QVSIP	6,7500	4,9091	6,1147	5,6447	3,5750	5,2762
	QVRI	5,2500	5,0909	6,2703	5,8000	4,9500	5,4507
IA	IAGEE	6,1111	7,9091	6,2789	5,7632	4,9500	6,1303
	IASO	5,2400	6,7273	4,8371	4,3066	3,6750	4,8554
	IAVE	4,6500	6,8182	4,8009	4,5757	3,8500	4,8492
	IADV	5,0000	7,7273	4,7733	5,0842	3,6500	5,0917
	IARE	5,1800	8,2727	5,0862	5,0329	3,3750	5,1724
	IATI	4,2500	7,5455	4,8154	5,1913		5,3210

Tabela VI-2 – Subcritérios (Tabela 19) – Preferências dos stakeholders (agentes de decisão)

Fonte: Elaborada pelo autor.

U	V	W	X	Y
Vetor Preferência de Cr itérios (VPC) Vetor Preferência de Su bcritérios (VPSC)				
Importâncias (preferências) dadas pelos agentes de decisão aos cr itérios (VPC) e su bcritérios (VPSC) após a comparação par a par (método AHP)				
Cr	Su	VPC	VPSC	Verificação da decomposição do VPC
CS	CSII	0,0810	0,4327	1,0000
	CSIV		0,2334	
	CSCE		0,0976	
	CSOMV		0,1454	
	CSOMI		0,0592	
	CSCR		0,0317	
VEF	VEFTRI	0,0372	0,2569	1,0000
	VEFTIR		0,6435	
	VEFVPL		0,0996	
EE	EE	0,1445	1,0000	1,0000
QV	QVSVS	0,4954	0,4079	1,0000
	QVSVV		0,2310	
	QVVM		0,0937	
	QWPV		0,1457	
	QVAU		0,0629	
	QVSIP		0,0198	
	QVRI		0,0390	
IA	IAGEE	0,2419	0,4414	1,0000
	IASO		0,0888	
	IAVE		0,0310	
	IADV		0,0639	
	IARE		0,1501	
	IATI		0,2249	

Tabela VI-3 – Vetores Prioridade de Critérios (VPC) e de Subcritérios (VPSC) – Tabela 20

Fonte: Elaborada pelo autor.

AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH

VPA - Desempenho dos modais em cada critério e subcritério após a comparação par a par - Infra Elevada				Índice Global (IG) - Agentes Consolidados			
BRT	VLT	MNT	Verificação da decomposição do VPA	BRT	VLT	MNT	Verificação da decomposição do IG
0,5508	0,1732	0,2761	1,0000	0,1734	0,2616	0,5650	1,0000
0,8081	0,0610	0,1309	1,0000				
0,0630	0,2232	0,7138	1,0000				
0,0829	0,2385	0,6786	1,0000				
0,0912	0,2453	0,6635	1,0000				
0,3333	0,3333	0,3333	1,0000				
0,1576	0,1860	0,6564	1,0000				
0,1670	0,1780	0,6549	1,0000				
0,0624	0,0854	0,8522	1,0000				
0,0695	0,2287	0,7018	1,0000				
0,0529	0,2114	0,7357	1,0000				
0,3333	0,3333	0,3333	1,0000				
0,3333	0,3333	0,3333	1,0000				
0,0546	0,2004	0,7450	1,0000				
0,0909	0,8182	0,0909	1,0000				
0,0546	0,2004	0,7450	1,0000				
0,2893	0,3236	0,3872	1,0000				
0,1464	0,2801	0,5735	1,0000				
0,1988	0,1988	0,6024	1,0000				
0,1111	0,1111	0,7778	1,0000				
0,3333	0,3333	0,3333	1,0000				
0,2893	0,3236	0,3872	1,0000				
0,1233	0,2189	0,6578	1,0000				

Tabela VI-4 – Vetor Prioridade de Alternativas – Infra Elevada – Tabela 26 Índice Global (IG) – Infra Elevada – Figura 34

Fonte: Elaborada pelo autor.

BRT= 0,1734

=W8*X8*AA8+W8*X9*AA9+W8*X10*AA10+W8*X11*AA11+W8*X12*AA12+W8*X13*AA13+W14*X14*AA14+W14*X15*AA15+W14*X16*AA16+W17*X17*AA17+W18*X18*AA18+W18*X19*AA19+W18*X20*AA20+W18*X21*AA21+W18*X22*AA22+W18*X23*AA23+W18*X24*AA24+W25*X25*AA25+W25*X26*AA26+W25*X27*AA27+W25*X28*AA28+W25*X29*AA29+W25*X30*AA30

VLT=0,2616

=W8*X8*AB8+W8*X9*AB9+W8*X10*AB10+W8*X11*AB11+W8*X12*AB12+W8*X13*AB13+W14*X14*AB14+W14*X15*AB15+W14*X16*AB16+W17*X17*AB17+W18*X18*AB18+W18*X19*AB19+W18*X20*AB20+W18*X21*AB21+W18*X22*AB22+W18*X23*AB23+W18*X24*AB24+W25*X25*AB25+W25*X26*AB26+W25*X27*AB27+W25*X28*AB28+W25*X29*AB29+W25*X30*AB30

MNT=0,5650

=W8*X8*AC8+W8*X9*AC9+W8*X10*AC10+W8*X11*AC11+W8*X12*AC12+W8*X13*AC13+W14*X14*AC14+W14*X15*AC15+W14*X16*AC16+W17*X17*AC17+W18*X18*AC18+W18*X19*AC19+W18*X20*AC20+W18*X21*AC21+W18*X22*AC22+W18*X23*AC23+W18*X24*AC24+W25*X25*AC25+W25*X26*AC26+W25*X27*AC27+W25*X28*AC28+W25*X29*AC29+W25*X30*AC30

Figura VI-1 – Equações para cálculo do Índice Global – Infra Elevada (Figura 34)

Fonte: Elaborada pelo autor.

AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH
VPA - Desempenho dos modais em cada critério e subcritério após a comparação par a par - Infra Elevada MNT				Índice Global (IG) - Agentes Consolidados			
BRT	VLT	MNT	Verificação da decomposição do VPA	BRT	VLT	MNT	Verificação da decomposição do IG
0,6933	0,1908	0,1159	1,0000	0,1469	0,2306	0,6225	1,0000
0,8081	0,0610	0,1309	1,0000				
0,0630	0,2232	0,7138	1,0000				
0,0829	0,2385	0,6786	1,0000				
0,0912	0,2453	0,6635	1,0000				
0,3333	0,3333	0,3333	1,0000				
0,1576	0,1860	0,6564	1,0000				
0,1670	0,1780	0,6549	1,0000				
0,0624	0,0854	0,8522	1,0000				
0,0695	0,2287	0,7018	1,0000				
0,0529	0,2114	0,7357	1,0000				
0,0833	0,0833	0,8333	1,0000				
0,3333	0,3333	0,3333	1,0000				
0,0546	0,2004	0,7450	1,0000				
0,0909	0,8182	0,0909	1,0000				
0,0546	0,2004	0,7450	1,0000				
0,2893	0,3236	0,3872	1,0000				
0,1464	0,2801	0,5735	1,0000				
0,1988	0,1988	0,6024	1,0000				
0,1111	0,1111	0,7778	1,0000				
0,1429	0,1429	0,7143	1,0000				
0,2893	0,3236	0,3872	1,0000				
0,1233	0,2189	0,6578	1,0000				

Tabela VI-5 – Vetor Prioridade de Alternativas – Infra Elevada para MNT – Tabela 50 Índice Global (IG) – Infra Elevada – Figura 35

Fonte: Elaborada pelo autor.

BRT= 0,1469

$$=W8*X8*AA8+W8*X9*AA9+W8*X10*AA10+W8*X11*AA11+W8*X12*AA12+W8*X13*AA13+W14*X14*AA14+W14*X15*AA15+W14*X16*AA16+W17*X17*AA17+W18*X18*AA18+W18*X19*AA19+W18*X20*AA20+W18*X21*AA21+W18*X22*AA22+W18*X23*AA23+W18*X24*AA24+W25*X25*AA25+W25*X26*AA26+W25*X27*AA27+W25*X28*AA28+W25*X29*AA29+W25*X30*AA30$$

VLT=0,2306

$$=W8*X8*AB8+W8*X9*AB9+W8*X10*AB10+W8*X11*AB11+W8*X12*AB12+W8*X13*AB13+W14*X14*AB14+W14*X15*AB15+W14*X16*AB16+W17*X17*AB17+W18*X18*AB18+W18*X19*AB19+W18*X20*AB20+W18*X21*AB21+W18*X22*AB22+W18*X23*AB23+W18*X24*AB24+W25*X25*AB25+W25*X26*AB26+W25*X27*AB27+W25*X28*AB28+W25*X29*AB29+W25*X30*AB30$$

MNT=0,6225

$$=W8*X8*AC8+W8*X9*AC9+W8*X10*AC10+W8*X11*AC11+W8*X12*AC12+W8*X13*AC13+W14*X14*AC14+W14*X15*AC15+W14*X16*AC16+W17*X17*AC17+W18*X18*AC18+W18*X19*AC19+W18*X20*AC20+W18*X21*AC21+W18*X22*AC22+W18*X23*AC23+W18*X24*AC24+W25*X25*AC25+W25*X26*AC26+W25*X27*AC27+W25*X28*AC28+W25*X29*AC29+W25*X30*AC30$$

Figura VI-1 – Equações para cálculo do Índice Global – Infra Elevada para MNT (Figura 35)

Fonte: Elaborada pelo autor.


SOBRE O AUTOR

GUILHERME PEDROSO - Graduado em Engenharia Elétrica pela Fundação Educacional Inaciana (FEI), Graduado em Direito pela Universidade Paulista (UNIP), Mestre em Direitos Difusos e Coletivos pela Universidade Metropolitana de Santos (UNIMES), Mestre em Tecnologia Ambiental pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT/SP) e Doutor em Ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente (IEE/USP). Atuou em empresas nacionais e multinacionais em projetos e gerenciamento de equipes dedicadas a desenvolvimento e implantação de sistemas metroferroviários e de cargas no Brasil e no exterior. Atualmente é Pesquisador Colaborador da FAPESP e Consultor Sênior atuante em assessoramentos na área de engenharia de transportes urbanos coletivos com ênfase nos temas de Controle Automático de Movimentação de Trens e Gestão de Sustentabilidade. Atua também como Mediador/Conciliador Colaborador do Tribunal de Justiça do Estado de São Paulo (CEJUSC - TJ/SP).

**Avaliação energética,
econômica e socioambiental de
alternativas para sistemas de
transportes urbanos coletivos
a partir do modelo de apoio
multicritério à decisão**

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

**Avaliação energética,
econômica e socioambiental de
alternativas para sistemas de
transportes urbanos coletivos
a partir do modelo de apoio
multicritério à decisão**

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 