



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DO VLT DO RIO DE JANEIRO POR MEIO DE INDICADORES AMBIENTAIS

Isabela Rocha Pombo Lessi de Almeida

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

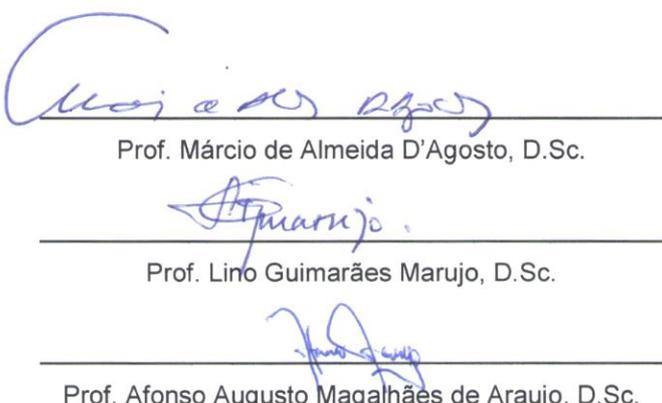
Rio de Janeiro
Setembro de 2016

AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DO VLT DO RIO DE JANEIRO POR MEIO DE INDICADORES AMBIENTAIS

Isabela Rocha Pombo Lessi de Almeida

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO AMBIENTAL

Examinado por:



Prof. Márcio de Almeida D'Agosto, D.Sc.

Prof. Lino Guimarães Marujo, D.Sc.

Prof. Afonso Augusto Magalhães de Araujo, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
SETEMBRO DE 2016

Almeida, Isabela Rocha Pombo Lessi de

Avaliação da implementação do VLT do Rio de Janeiro por meio de indicadores ambientais/Isabela Rocha Pombo Lessi de Almeida – Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2016.

ix, p58.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Projeto de Graduação – UFRJ/POLI/Curso de Engenharia Ambiental, 2016.

Referências Bibliográficas: p. 46-52

1. Mobilidade urbana sustentável; 2. Transporte de passageiros sustentável; 3. Indicadores ambientais; 4. Veículo leve sobre trilhos. I. D'Agosto, Márcio de Almeida. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Engenharia Ambiental. III. Avaliação da implementação do VLT do Rio de Janeiro por meio de indicadores ambientais.

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer ao prof. Márcio D'Agosto pela compreensão e pela orientação neste trabalho. Agradeço também à equipe do LTC (Lísia, Natalia, Rafael, Pedro, Fabi, Thais, Tássia) pelo apoio e por todos os momentos no laboratório, em especial à Cintia e o Daniel. Agradeço à Mariane, minha eterna dupla, pela amizade e parceria. Agradeço aos professores Lino e Afonso por terem aceitado fazer parte da banca.

Agradeço às minhas amigas da Ambiental (Ana, Bruna, Erika, Belle, Juliana, Luiza, Mariana, Natalia, Patricia, Vanessa) por tudo que passamos nesses anos de graduação. Agradeço aos meus amigos de outras engenharias que também compartilharam comigo muitos bons momentos nos corredores da Poli: Thiago Henrique, Rafael, Karen, Edgard, Carnevale, Sapienza, Lucas, Nelson e Juliana (plastic shredder!). Agradeço aos meus amigos dos outros centros do Fundão, que não estavam tão perto do CT assim, mas sempre próximos ao coração: QZ Lena, Lucas e Felipe. Agradeço aos meus amigos Andreia, Eduardo, Leandro, Flávia e Cris por todas as risadas, alegrias, tristezas, aventuras, tudo! Agradeço aos meus amigos da época do colégio Isadora, Galvão e Karina, pela eterna amizade. Agradeço aos amigos que fiz graças ao intercâmbio João, Ale e tantos outros amigos que gostaria de citar aqui!

Agradeço do fundo do meu coração aos meus pais, Mário e Dulce, pelo enorme apoio na minha jornada acadêmica e principalmente durante a elaboração deste trabalho. Agradeço enormemente à minha (melhor) irmã Isadora, por me acompanhar nessa montanha-russa. Agradeço à toda minha família pelo carinho e compreensão (tia Cris, tio João Luiz, vô Luiz, tio Beto, tia Ruthe). Por último e não menos importante, agradeço ao meu namorado Vinicius compartilhar e me apoiar em todos os momentos.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DO VLT DO RIO DE JANEIRO POR MEIO DE INDICADORES AMBIENTAIS

Isabela Rocha Pombo Lessi de Almeida

Setembro/2016

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Curso: Engenharia Ambiental

Dentro do contexto da desordem urbana atual, o poder público do Município do Rio de Janeiro realizou diversas intervenções na infraestrutura urbana, como a racionalização das linhas de ônibus na Zona Sul e o projeto Porto Maravilha, que prevê a revitalização da Região Portuária e a implantação do Veículo Leve sobre Trilho (VLT). O objetivo geral desse trabalho é comparar e analisar dois cenários de mobilidade urbana na cidade do Rio de Janeiro, por meio da seleção de indicadores ambientais. O primeiro cenário considera as linhas de ônibus que passam pelo centro antes da racionalização (maio de 2015) e o segundo cenário considera as linhas de ônibus que passam pelo centro após a racionalização e a operação do VLT (maio de 2016). Por meio de uma Revisão Bibliográfica Sistemática escolheu-se os seguintes indicadores ambientais: Emissões de Gases de Efeito Estufa (emissões totais e per capita de CO₂, CH₄, N₂O), Poluição do Ar (emissões totais e per capita de CO, NO_x, HCNM, MP₁₀ Comb.) e Energia (energia útil consumida dos ônibus e do VLT). Os indicadores foram calculados seguindo a abordagem *bottom-up* do IPCC. Como resultado, tanto os gases de efeito estufa quanto os poluentes atmosféricos tiveram suas emissões reduzidas do primeiro cenário para o segundo.

Palavras-chave: mobilidade urbana sustentável, transporte de passageiros sustentável, indicadores ambientais, veículo leve sobre trilhos.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfilment of the requirements for the degree of Environmental Engineer.

IMPLEMENTATION ASSESSMENT OF RIO DE JANEIRO'S LIGHT RAIL TRAIN THROUGH ENVIRONMENTAL INDICATORS

Isabela Rocha Pombo Lessi de Almeida

September/2016

Advisor: Márcio de Almeida D'Agosto

Course: Environmental Engineering

Within the current context of urban disorder, the government of Rio de Janeiro City made several interventions in its urban infrastructure, such as the rationalization of bus routes in the South Zone of the city and the Porto Maravilha project, which provides for the revitalization of the Port Region and the implementation of the Light Rail Vehicle (VLT, in Portuguese). The aim of this study is to compare and analyze two scenarios of urban mobility in Rio de Janeiro City, through the selection of environmental indicators. The first scenario considers the bus lines that pass through the center before rationalization (May 2015) and the second scenario considers the bus lines that pass through the center after rationalization and the operation of the VLT (May 2016). Through a Systematic Bibliographical Review the following environmental indicators were chosen: Greenhouse Gas Emissions (total and per capita emissions of CO₂, CH₄, N₂O), Air Pollution (total and per capita emissions of CO, NO_x, NMHC, MP₁₀ Comb.) and Energy (energy consumed during bus and tramway operations). The indicators have been calculated following IPCC's bottom-up approach. As a result, both greenhouse gases and air pollutants emissions were reduced from the first scenario to the second one.

Keywords: sustainable urban mobility, sustainable passenger transport, environmental indicators, light rail train.

Sumário

1. Introdução.....	1
1.1 Justificativa	2
1.2 Objetivo	2
1.3 Delimitação da pesquisa.....	3
1.4 Estrutura do trabalho	3
2. Metodologia	4
2.1 Método	4
2.2 Coleta de dados	13
2.3 Cálculo dos indicadores.....	14
3. Fundamentação Teórica	17
3.1 Conceitos	17
3.2 Panorama brasileiro.....	19
3.2.1 Copa do Mundo 2014.....	19
3.2.2 Programa de Modernização do CBTU.....	21
3.2.3 Outros casos.....	22
3.3 Indicadores ambientais.....	23
4. Estudo de Caso: Rio de Janeiro.....	27
4.1 Detalhamento do caso na Região Portuária.....	27
4.1.1 Especificações técnicas do Alstom Citadis 402.....	32
4.2 Racionalização das linhas de ônibus	34
4.3 Cenário 1	35
4.4 Cenário 2.....	37
4.5 Comparação e avaliação dos cenários	41
5. Conclusão e recomendação	44
Referências Bibliográficas	46
ANEXO A.....	53
ANEXO B.....	55

Lista de figuras

Figura 1 - Revisão Bibliográfica Sistemática	5
Figura 2 – Distribuição por periódicos dos artigos selecionados pela RBS.	8
Figura 3 - Distribuição espacial dos artigos selecionados pela RBS.	9
Figura 4 - Distribuição temporal dos artigos selecionados pela RBS.	9
Figura 5 - Número de indicadores identificados por grupo a partir da RBS.	11
Figura 6 - Indicadores selecionados para o estudo.....	12
Figura 7 - Rota do Veículo Leve sobre Trilhos do Rio de Janeiro.....	28
Figura 8 – Mudança do itinerário das linhas dos ônibus que passam pelo centro por conta das obras do Porto Maravilha.....	29
Figura 9 – Operação do VLT no dia 12 de julho de 2016.	31
Figura 10 – Diagrama do Alstom Citadis 402 Arpège.....	32
Figura 11 – Instalação do supercapacitor no teto do Alstom Citadis 402 (C2-1).	34
Figura 12 – Distância percorrida por mês, em km.....	40
Figura 13 – Emissões totais de GEE de maio de 2015 e maio de 2016, em kg CO ₂ eq/mês.....	41
Figura 14 - Emissões per capita de GEE de maio de 2015 e maio de 2016, em kg CO ₂ eq./hab.mês.....	42
Figura 15 - Emissões totais de poluentes atmosféricos de maio de 2015 e maio de 2016, em kg/mês.	42
Figura 16 - Emissões per capita de poluentes atmosféricos de maio de 2015 e maio de 2016, em kg/hab.mês.	43

Figura 17 – Energia útil consumida na operação dos ônibus que passam pelo centro,
em MJ/mês..... 43

Lista de tabelas

Tabela 1 – Artigos utilizados na primeira rodada da RBS.	6
Tabela 2 - Artigos utilizados na segunda rodada da RBS.	7
Tabela 3 - Artigos utilizados na terceira rodada da RBS.	8
Tabela 4 – Grupos de indicadores ambientais mais utilizados pela maioria dos Estados-membros da União Europeia.	12
Tabela 5 - Distância total mensal percorrida pelas linhas de ônibus da cidade do Rio de Janeiro, em km.	13
Tabela 6 - Fatores de emissão de CO ₂ por combustível, em kg/l.....	15
Tabela 7 – Fator de emissão de CH ₄ e N ₂ O para motores ciclo Diesel, em g/km.....	15
Tabela 8 – Fator de caracterização de GEE, em kg CO ₂ eq/kg.....	15
Tabela 9 – Fatores de emissão de CO, NO _x , MP10 comb. e HCNM para motores ciclo Diesel, em g/km.....	16
Tabela 10 - Fatores de emissão de CO, NO _x e MP comb. para biodiesel, em g/bph...	16
Tabela 11 - Fatores de emissão de MP10 por desgaste de pneus, freios e pista por categoria, em g/km	16
Tabela 12 – Padrões nacionais de qualidade do ar.	26
Tabela 13 – Planejamento de cada fase de adaptação da operação do VLT no Zona Portuária do Rio de Janeiro.	30
Tabela 14 – Resumo das alterações realizadas durante a adaptação da operação do VLT no centro do Rio de Janeiro.....	31
Tabela 15 – Características técnicas do Alstom Citadis 402.....	33

Tabela 16 – Cronograma da racionalização das linhas de ônibus na Cidade do Rio de Janeiro.....	35
Tabela 17 - Distância total mensal percorrida pelas linhas de ônibus que passam pelo centro da cidade do Rio de Janeiro, em maio de 2015, em km.	36
Tabela 18 – Volume total de combustível e seus respectivos volumes de diesel e biodiesel consumidos pelas linhas de ônibus que passam pelo centro da cidade do Rio de Janeiro, em maio de 2015, em l.	36
Tabela 19 – Emissões totais de Gases de Efeito Estufa no cenário de maio de 2015, em kg CO ₂ eq/mês.	36
Tabela 20 – Emissões per capita de Gases de Efeito Estufa no cenário de maio de 2015, em kg CO ₂ eq/hab.mês.	36
Tabela 21 - Emissões totais de poluentes atmosféricos no cenário de maio de 2015, em kg/mês.	36
Tabela 22 - Emissões per capita de poluentes atmosféricos no cenário de maio de 2015, em kg/hab.mês.	37
Tabela 23 – Energia útil consumida no mês de maio de 2015 por combustível.	37
Tabela 24 - Distância total mensal percorrida pelas linhas de ônibus que passam pelo centro da cidade do Rio de Janeiro, em maio de 2016, em km.	37
Tabela 25 – Volume total de combustível e seus respectivos volumes de diesel e biodiesel consumidos pelas linhas de ônibus que passam pelo centro da cidade do Rio de Janeiro, em maio de 2016, em l.	38
Tabela 26 - Emissões totais de Gases de Efeito Estufa no cenário de maio de 2016, em kg CO ₂ eq/mês.	38
Tabela 27 - Emissões per capita de Gases de Efeito Estufa no cenário de maio de 2016, em kg CO ₂ eq/hab.mês.	38

Tabela 28 - Emissões totais de poluentes atmosféricos no cenário de maio de 2016, em kg/mês.....	38
Tabela 29 - Emissões per capita de poluentes atmosféricos no cenário de maio de 2016, em kg/hab.mês.	38
Tabela 30 - Energia útil consumida no mês de maio de 2016 por combustível.	39
Tabela 31 – Estimativa da distância percorrida total pelas linhas de ônibus de julho de 2016, a partir de maio e julho de 2015.....	39
Tabela 32 – Energia útil consumida em julho de 2015 e julho de 2016 pelas linhas de ônibus que passam pelo centro.	40
Tabela 33 - Energia útil consumida em julho de 2016 pela operação do VLT.	40

1. Introdução

Basta um momento de observação das vias das grandes cidades para avistar diversas pessoas nos carros e ônibus se deslocando para seus trabalhos ou outras atividades. É por meio do transporte que ocorre o fluxo tanto de pessoas quanto de cargas, dando suporte às atividades sociais e econômicas. (D'Agosto, 2015)

No que se refere ao fluxo de pessoas, para que os deslocamentos sejam realizados da melhor forma possível, faz-se necessário avaliar a facilidade com que os passageiros se deslocam por uma determinada área urbana por meio de um sistema de transportes. Portanto, a mobilidade urbana está relacionada à demanda por deslocamento que deve ser atendida por uma oferta de serviços de transporte. Porém ao considerar o conceito de desenvolvimento sustentável, deve-se prezar não só pelos aspectos econômicos, mas também pelos aspectos socioambientais (Garau et al, 2016; Bachok et al, 2015; Keseru et al, 2016).

Tal conceito foi apresentado no Relatório Brundtland em 1987, no qual o desenvolvimento econômico desenfreado foi correlacionado a diversos problemas socioambientais. A rápida urbanização de diversos países, principalmente os países do Terceiro Mundo, requer melhoria da infraestrutura urbana e, por consequência, maior consumo de recursos naturais (WCED, 1987). Por conta disso, as emissões provenientes da atividade do transporte são muitas vezes concentradas em áreas de alta densidade populacional, aumentando o risco à saúde dos habitantes (OMS, 2015). Por isso, deve-se entender como o transporte interfere e impacta no ambiente urbano para que se possa avaliar e implementar as intervenções mais adequadas que visem a melhoria da qualidade de vida dos habitantes no presente e também no futuro.

No Brasil, foi a partir dos anos 60 que o fenômeno de urbanização se intensificou (IBGE, 2015). Nessa época, na cidade do Rio de Janeiro, o transporte foi um dos fatores de impulsão da evolução urbana, que contou com os bondes e os trens metropolitanos como protagonistas desse cenário (Abreu, 1987). O bonde posteriormente foi substituído pelas linhas de ônibus, que por um tempo atenderam a demanda por transporte da cidade, como ocorreu em diversas cidades do mundo (Vuchic, 2007). Como não houve uma adequada melhoria da infraestrutura que acompanhasse o ritmo desse crescimento populacional, acabou-se gerando diversos problemas, não apenas no que se refere ao atendimento dessa demanda, mas também problemas ambientais

decorrentes do uso intensivo de combustíveis fósseis relacionados ao modo rodoviário, gerando poluição atmosférica e sonora (MMA, 2011).

Dentro do contexto da desordem urbana atual, o poder público do Município do Rio de Janeiro realizou diversas intervenções na infraestrutura urbana, algumas destas relacionadas às vias de acesso e o transporte. Uma destas intervenções foi a racionalização das linhas de ônibus na Zona Sul, que afetou não apenas essa região, como também o Centro da Cidade. Outra intervenção foi o projeto Porto Maravilha, que prevê a revitalização da Região Portuária e a implantação do Veículo Leve sobre Trilho (VLT).

1.1 Justificativa

A escolha desta pesquisa se justifica pelo fato de que o transporte é uma grande preocupação nas áreas urbanas em todo o mundo (Santos e Ribeiro, 2015). Grandes cidades, como o Rio de Janeiro, sofrem com um sistema de transporte deficiente, trazendo a questão da mobilidade urbana para discussão seja no meio acadêmico seja no meio social. Segundo o PDTU (2003), a taxa de imobilidade na cidade do Rio de Janeiro é de 46,6% e a diferença entre o tempo médio de viagem entre transporte coletivo e transporte individual é de 39,07 minutos. O sistema de transporte deficiente representa um grande desafio para o Rio se tornar uma cidade sustentável (Santos e Ribeiro, 2015). Nesse contexto, o projeto do VLT se apresenta como uma alternativa que integra diversos modos de transporte e se apresenta também como uma alternativa limpa.

1.2 Objetivo

O objetivo geral desse trabalho é comparar e analisar dois cenários de mobilidade urbana na cidade do Rio de Janeiro, por meio de uma seleção de indicadores ambientais. O primeiro cenário considera as linhas de ônibus que passam pelo Centro da Cidade antes da racionalização (maio de 2015) e o segundo cenário considera as linhas de ônibus que passam pelo Centro da Cidade após a racionalização e a operação do VLT (maio de 2016).

Quanto aos objetivos específicos:

- 1) Descrever as diferenças entre os quatro modos básicos de tecnologia ferroviária identificados em estudos preliminares a esta pesquisa: *tramway/streetcar, light rail transit, rail rapid transit e regional rail*;
- 2) Descrever o panorama atual dos projetos de VLT no Brasil e as principais características do veículo implementado;
- 3) Identificar os principais indicadores a serem avaliados por meio de uma revisão bibliográfica;
- 4) Coletar dados das operações referentes às linhas de ônibus urbanos considerando a região onde o VLT será implementado.

1.3 Delimitação da pesquisa

A delimitação espacial da pesquisa compreende a área territorial do Município do Rio de Janeiro, com um maior foco na zona central da cidade e se limita temporalmente entre os anos 2014 e 2016. Além disso, a pesquisa está focada na fase de operação dos ônibus e na fase de operação do VLT.

1.4 Estrutura do trabalho

Capítulo 1: Descreve o objetivo geral e os específicos da pesquisa, assim como sua justificativa e delimitação.

Capítulo 2: Apresenta a metodologia da pesquisa, detalhando o método de escolha dos indicadores, a coleta dos dados e o cálculo dos indicadores.

Capítulo 3: Apresenta a fundamentação teórica, descrevendo os quatro modos básicos de tecnologia ferroviária, assim como o panorama dos projetos de VLT no Brasil e também a explicação conceitual dos indicadores escolhidos.

Capítulo 4: Apresenta de forma detalhada o caso em estudo, ou seja, a implementação do VLT na Região Portuária e a racionalização das linhas que afetaram o Centro da Cidade. Assim como, apresenta os resultados dos valores calculados dos indicadores dos dois cenários e a comparação e a avaliação dos resultados.

Capítulo 5: Apresenta a conclusão e considerações finais da pesquisa, assim como suas limitações e recomendações para futuros estudos.

2. Metodologia

Quanto aos procedimentos técnicos, realizou-se uma pesquisa bibliográfica, uma pesquisa documental e um estudo de caso. A pesquisa bibliográfica (sistemática) foi realizada para selecionar, através de artigos científicos, os indicadores mais adequados para a avaliação de cenários (subseção 2.1). A pesquisa documental, além de pesquisa de dados no site oficial da Prefeitura do Rio de Janeiro, foi realizada para coletar dados para o cálculo dos indicadores escolhidos (subseção 2.2). A pesquisa documental também foi realizada para coletar dados referentes aos projetos de VLT em cidades brasileiras (subseção 3.2). O estudo de caso foi realizado para conhecer detalhadamente a implantação do VLT e a racionalização das linhas de ônibus, possibilitando a comparação e análise dos dois cenários de mobilidade urbana (Capítulo 4).

2.1 Método

Segundo Castillo e Pitfield (2009), a escolha de indicadores de transporte sustentável apresenta dois desafios. O primeiro é escolher os indicadores mais adequados dentro de conjunto de indicadores possíveis e o segundo é discernir quão representativos são os indicadores escolhidos, já que estes são uma abstração do sistema real. Existem diversas metodologias para escolher indicadores (NISTO, ELASTIC, CIVITAS MIMOSA etc.), assim como já existem listas de indicadores ambientais disponíveis, como, por exemplo, o *Index of Sustainable Urban Mobility*.

O método adotado para justificar a escolha dos indicadores ambientais utilizados no estudo foi a Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS), elaborado por Oliveira (2014), a partir de Tranfield, Denyer e Smart (2003). Este método se diferencia da revisão bibliográfica tradicional por ser um processo científico rigoroso que, através da melhoria contínua, pode ser repetido até que o objetivo estabelecido tenha sido atingido. Além disso, com a RBS, é possível obter como resultado um conjunto de dados que dê base para a justificativa da escolha dos indicadores ambientais selecionados (Oliveira, 2014).

Segundo Oliveira (2014), a RBS consiste em três principais atividades com duas a quatro etapas em cada uma delas (Figura 1). Primeiramente, faz-se o planejamento da revisão (atividade 1), na qual identifica-se a necessidade de revisão, explicitando a justificativa da realização da pesquisa (etapa 1.1). Elabora-se então a proposta de revisão, identificando o objetivo da pesquisa (etapa 1.2) e desenvolve-se o protocolo da revisão, com a descrição do procedimento a ser seguido (etapa 1.3). Posteriormente,

na realização (atividade 2), os trabalhos são identificados, selecionados (etapa 2.1) e avaliados (etapa 2.2). Após avaliar se o resultado atendeu ou não a necessidade da revisão, seleciona-se os trabalhos que serão incluídos, extraíndo dados e informações, que serão analisados estatisticamente (etapa 2.3) e, então, sintetizados (etapa 2.4). Para concluir, na comunicação e divulgação (atividade 3), são elaborados relatórios com os resultados (etapa 3.1), que serão divulgados (etapa 3.2).

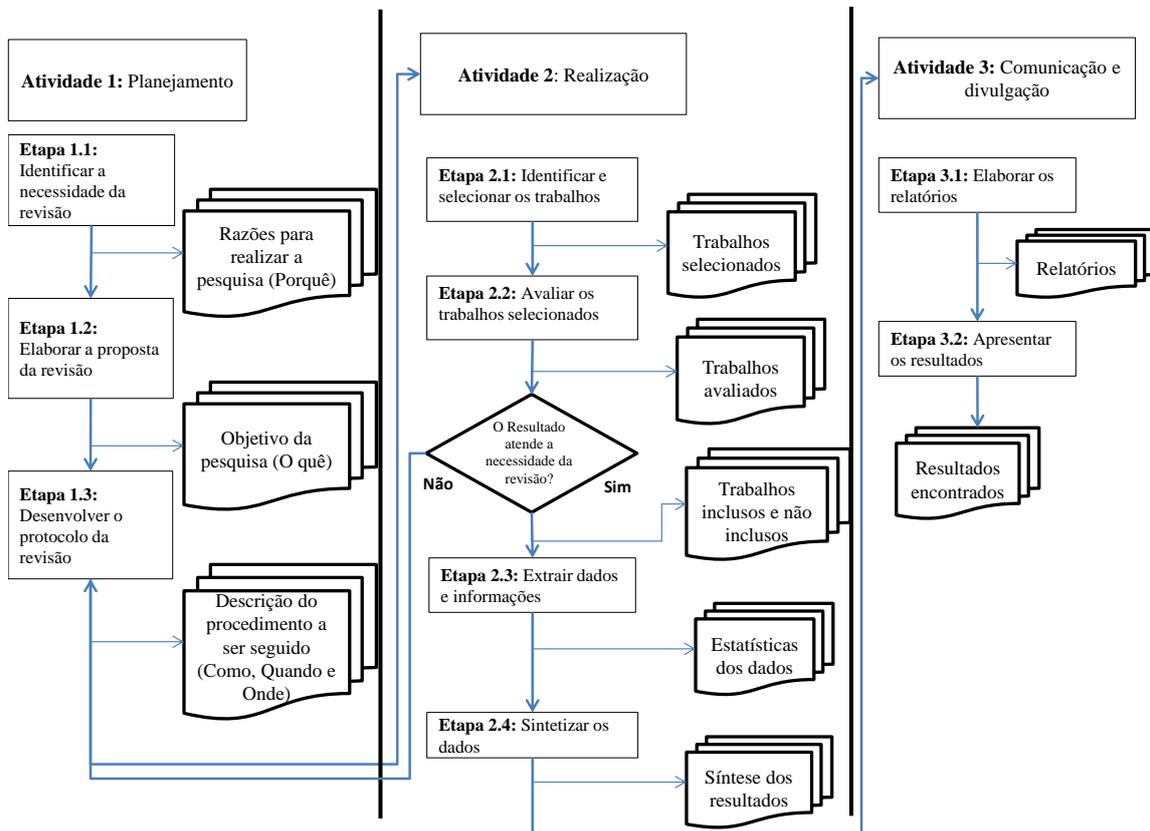


Figura 1 - Revisão Bibliográfica Sistemática

Fonte: Oliveira, 2014

A necessidade de revisão foi justificada adequadamente a escolha dos indicadores ambientais e entender como podem ser aplicados. A proposta de revisão é buscar, através de artigos publicados nos últimos cinco anos, em duas bases de dados (*Science Direct* e *Compendex*), quais os indicadores mais utilizados para análise de projetos e cenários de mobilidade urbana sustentável.

Inicialmente, o protocolo da revisão era acessar uma das bases de dados escolhidas, pesquisar pelas palavras-chave escolhida ("*sustainable mobility*") e selecionar apenas os artigos em que todas as palavras-chaves aparecessem no título. Em seguida, ler o abstract desses artigos e extrair quais os indicadores que foram usados.

Ao realizar a pesquisa seguindo o protocolo, identificou-se a necessidade de seu aprimoramento, realizando três rodadas efetivas, que serão descritas mais adiante. Duas outras rodadas foram realizadas sem seleção de nenhum artigo, na base *Science Direct*. Estas duas foram realizadas de maneira refinada, em que foram consideradas as palavras-chaves seguindo as expressões “*sustainable*” and “*mobility*” and “*indicators*” e “*sustainable*” and “*indicators*”, respectivamente, de 2014 a 2016, por conta de os dados utilizados para o cálculo dos indicadores serem desse período.

Para identificar e selecionar os trabalhos, foram realizadas três rodadas do protocolo, aprimorando-o de maneira contínua de acordo com a necessidade. Primeiramente, acessou-se a base da *Science Direct*, utilizando a palavra-chave “*sustainable mobility*”. Nessa rodada, a pesquisa foi realizada considerando as palavras “*sustainable*” ou “*mobility*”, sem refinamento de data ou país e assim, foram identificados 24.611 artigos. Foram analisados por título 100 artigos e identificados aqueles em que todas as palavras-chaves apareciam no título e aqueles em que a expressão “*sustainable transport*” também aparecia no título. Após ler o abstract desses artigos, foram selecionados apenas onze, pois foram os que estavam relacionados a monitoramento de cenários e não a planejamento urbano e nem a mudança de hábitos de usuários. Após ler os artigos completamente, foram extraídos os dados. Apenas 5 artigos foram utilizados, pois apenas estes explicitaram a lista de indicadores utilizados (Tabela 1).

Tabela 1 – Artigos utilizados na primeira rodada da RBS.

Título	Autor	Ano	Palavras-chave
A preliminary study of sustainable transport indicators in Malaysia: the case study of Klang valley public transportation	Bachok et al	2015	sustainable public transport indicator; transport planning; public transport; sustainable transport
Evaluation of measures aimed at sustainable urban mobility in European cities - Case study CIVITAS MIMOSA	Dziekán	2012	evaluation; CIVITAS; sustainable urban mobility
Evaluation and selection of alternatives for the promotion of sustainable urban mobility	Lima et al	2014	Sustainable Urban Mobility; Index of Sustainable Urban Mobility (I_SUM); Developing Countries; Brazil
Indicator-based evaluation of sustainable transport plans: A framework for Paris and other large cities	Chaktoura e Pojani	2016	Paris, France; Sustainable urban transport; Indicator-based evaluation; Plan evaluation
Sustainable, Participatory and Practical: the NISTO evaluation framework for urban and regional mobility projects	Keseru et al	2016	sustainable mobility; evaluation; multi-actor multi-criteria analysis (MAMCA); multi-criteria analysis (MCA); monitoring

Fonte: Elaboração própria.

No segundo aprimoramento do protocolo, acessou-se a base da *Science Direct*, utilizando as palavras-chave “*sustainable mobility indicator*”. Nessa rodada, a pesquisa foi realizada considerando as palavras “*sustainable*” ou “*mobility*” ou “*indicator*”, sem refinamento de data ou país. Foram identificados 8.445 artigos, um número menor que o da primeira rodada. Foram analisados por título 125 artigos e identificados aqueles em que todas as palavras-chaves apareciam no título e aqueles em que as expressões “*sustainable transport*” e “*transport indicators*” também apareciam no título. Após ler o abstract desses artigos, foram selecionados apenas seis, utilizando o mesmo critério da primeira rodada. Após ler os artigos completamente, foram extraídos os dados. Apenas quatro artigos foram utilizados, pois somente estes explicitaram a lista de indicadores (Tabela 2). Além disso, nesta rodada, foram encontrados artigos de revisão bibliográfica de indicadores de mobilidade urbana sustentável. Estes não foram utilizados na etapa de avaliação dos artigos, apenas na etapa de resultados da RBS.

Tabela 2 - Artigos utilizados na segunda rodada da RBS.

Título	Autor	Ano	Palavras-chave
Some use - Little influence? On the roles of indicators in European sustainable transport policy	Gudmundsson e Sørensen	2012	Indicators; Sustainable transport; Policy; Influence; Use
Sustainable passenger transport: Back to Brundtland	Holden et al	2013	Sustainable development; Sustainable passenger transport; Sustainable transport indicators; The Brundtland Report
The role of transport indicators to the improvement of local governance in Rio de Janeiro City: A contribution for the debate on sustainable future	Santos e Ribeiro	2015	Sustainable development; Governance; Transport indicators; CO2 emissions on transport
Urban sustainable transportation indicators for global comparison	Haghshenas e Vaziri	2011	Sustainable transport; Urban transport; Indicator; Development; MCDST

Fonte: Elaboração própria.

No terceiro aprimoramento do protocolo, acessou-se a base da *Compendex*, utilizando as palavras-chave seguindo a seguinte expressão: “*sustainable*” and “*mobility*” and “*indicator*”. Nessa rodada, a pesquisa foi realizada com refinamento de data dos anos 2014 a 2016, pois os dados utilizados para o cálculo dos indicadores são desse período. Foram encontrados 32 artigos, um número bastante reduzido comparado às outras rodadas, devido à pesquisa refinada. Portanto, nesta rodada, não foi utilizado o critério de avaliação por título. Após ler o abstract desses artigos, foram selecionados apenas sete, pois apenas os que estavam relacionados aos indicadores de mobilidade urbana sustentável foram incluídos. Artigos relacionados apenas a sistema de transportes sem

abordagem sustentável ou relacionados a transporte privado não foram selecionados. Após ler os artigos completamente, foram extraídos os dados. Apenas dois foram utilizados, pois somente estes explicitaram a lista de indicadores (Tabela 3).

Tabela 3 - Artigos utilizados na terceira rodada da RBS.

Título	Autor	Ano	Palavras-chave
A European vision for more environmentally friendly buses	Corazza et al	2015	Bus; sustainability; environment; transferability
Analyzing the sustainability performance of public transit	Miller et al	2016	Public transit sustainability analysis; transit; composite sustainability index; quadruple bottom line approach; normalization; monte carlo analysis; sustainability assessment tool; decision support tool

Fonte: Elaboração própria.

Após essa seleção, os trabalhos foram avaliados segundo distribuição temporal, espacial e por periódico. Quanto aos periódicos (Figura 2), foram encontrados nove, sendo cinco destes ligados diretamente à área de transporte. O periódico mais utilizado foi *Transportation Research Part D*.

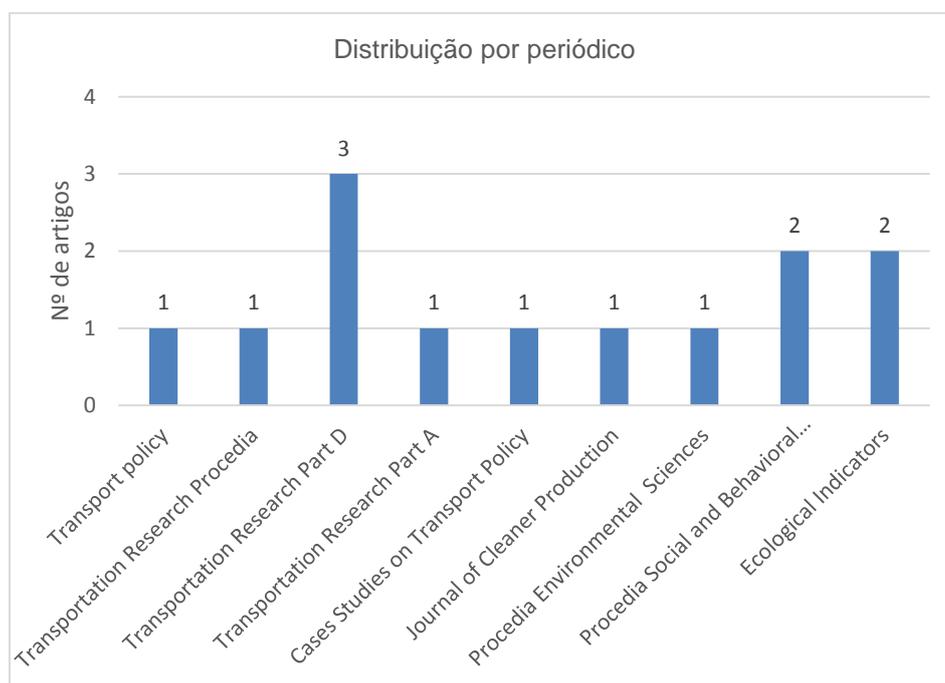


Figura 2 – Distribuição por periódicos dos artigos selecionados pela RBS.

Fonte: Elaboração própria.

Quanto à distribuição espacial (Figura 3), foram utilizados cinco artigos da Europa (Alemanha, Bélgica, Dinamarca, Noruega e Itália), três artigos das Américas (Brasil e Canadá), dois artigos da Ásia (Irã e Malásia) e um da Oceania (Austrália).

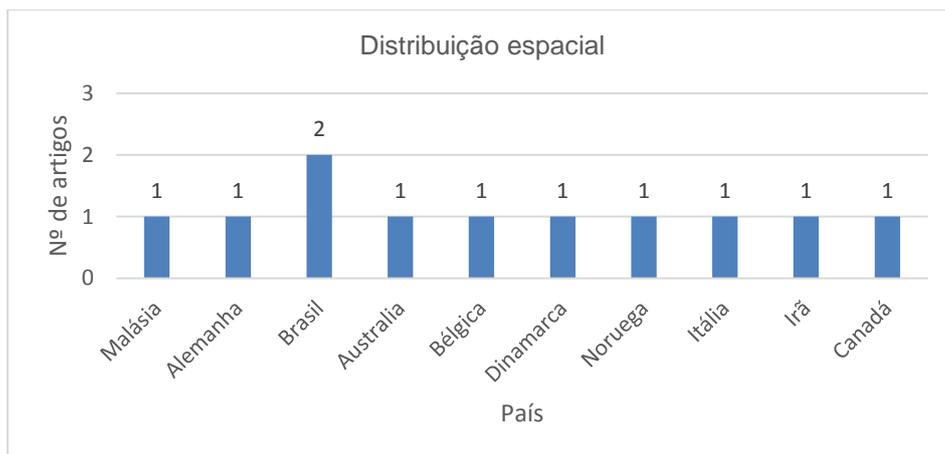


Figura 3 - Distribuição espacial dos artigos selecionados pela RBS.

Fonte: Elaboração própria.

Quanto à distribuição temporal (Figura 4), inicialmente selecionou-se artigos dos últimos cinco anos e no último aprimoramento do protocolo, refinou-se apenas para o período entre 2014 e 2016, o que explica a concentração de artigos nesse período (sete artigos em um total de onze).

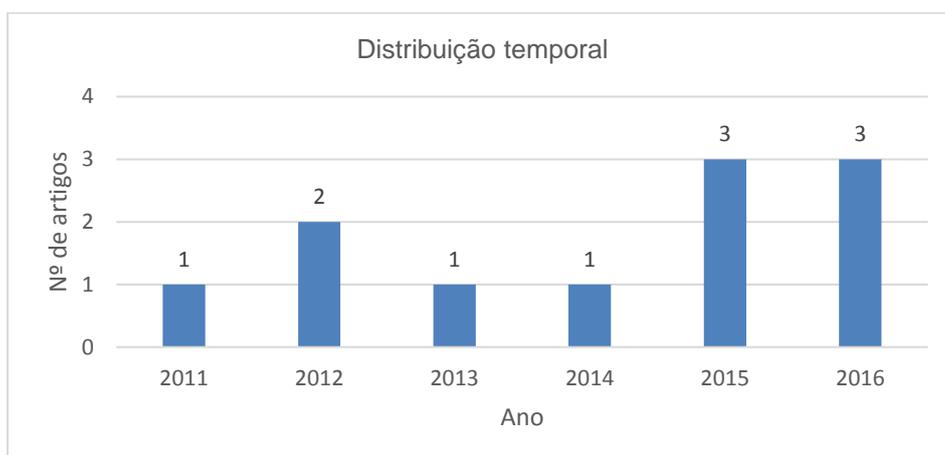


Figura 4 - Distribuição temporal dos artigos selecionados pela RBS.

Fonte: Elaboração própria.

De cada artigo utilizado, foram extraídos os dados referentes aos indicadores, ou seja, foi avaliado se o artigo explicitava a lista de indicadores ambientais utilizados na pesquisa. Apenas os indicadores ambientais foram extraídos e não os sociais, nem os econômicos ou qualquer outra área sugerida pelos autores (como, por exemplo, infraestrutura de transporte). Além disso, indicadores que se apresentavam dúbios, podendo ser encaixados em mais de uma área, também não foram considerados.

Para sintetizar os dados extraídos, os indicadores de cada artigo foram analisados e alocados em sete grupos: Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), Poluição do Ar,

Energia, Poluição Sonora, Uso de Recursos, Uso e Ocupação do Solo e Outros (Anexo A). Cada indicador foi alocado sem levar em consideração a repetição do mesmo em outro artigo. O objetivo dessa alocação era verificar dentro do número total de indicadores encontrados quantos se encontravam em cada grupo, evidenciando assim quais grupos eram os mais utilizados. A partir da avaliação dos indicadores alocados, identificou-se o padrão de cada grupo, considerando também as unidades de cada indicador, apesar de que nem todos os artigos explicitaram as unidades de medidas de seus indicadores.

Seguindo o padrão da alocação, o grupo Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) contém dez indicadores, sendo alguns deles repetidos. De forma sintética, os indicadores são Emissões de CO₂ e Emissões de Gases de Efeito Estufa (sem especificação de quais gases). O grupo Poluição do Ar contém, sinteticamente, os indicadores Emissão de CO, Emissão de NO_x e Emissão de Material Particulado. O grupo Energia contém os indicadores relacionados a Consumo de Energia Renovável/ Alternativa/Limpa e Consumo de Energia de Combustíveis Fósseis, no uso final. O grupo Poluição Sonora contém apenas um indicador que é a Nível de Emissão Sonora. O grupo Uso de Recursos contém os indicadores Reciclagem e Uso Eficiente de Recursos. O grupo Uso e Ocupação do Solo contém indicadores de “consumo do solo” pelo transporte. O grupo Outros contém uma variedade de indicadores, que não se encaixavam nos grupos anteriores, como Poluição da Água, Proteção de Habitat e Risco de Acidentes. Além disso, diversos indicadores apresentavam suas medidas em termos totais e per capita.

Após a alocação dos indicadores, foram escolhidos os três grupos com maior número de indicadores (Poluição do Ar, Energia e Emissão de GEE) (Figura 5). Importante ressaltar que, para esta avaliação, foram selecionados apenas onze artigos e que a diferença do número de indicadores de cada grupo não é tão discrepante. Para poder confirmar essa escolha, teve-se então a necessidade de consultar os artigos de revisão bibliográfica de indicadores ambientais encontrados durante a pesquisa. Estes não haviam sido utilizados, pois não apresentavam uma lista explícita dos indicadores.

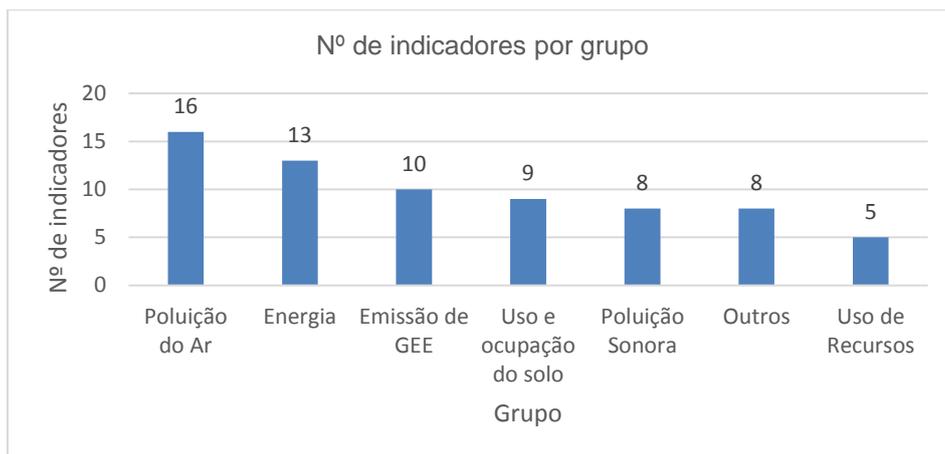


Figura 5 - Número de indicadores identificados por grupo a partir da RBS.

Fonte: Elaboração própria.

Um dos objetivos do artigo de Gerlach et al (2016) era identificar, através da análise de relatórios nacionais oficiais, quais são os indicadores mais utilizados para retratar o desenvolvimento sustentável no setor de transporte da maioria dos Estados-membros da União Europeia. Alguns sistemas de indicadores consistiam em mais de 100 indicadores enquanto outros possuíam menos de 50. A partir dessa análise, os indicadores foram agrupados em dez áreas prioritárias: *Climate change, Energy use/mix, Transport intensity, Modal split, Land use, Financial sustainability, Air quality, Noise, Traffic safety, Access*. Apenas os grupos relevantes para essa RBS foram selecionados e avaliados, como segue na Tabela 4. O artigo conclui que a maioria dos países utilizam grupos de indicadores *Climate change, Energy use* e *Air quality* e ainda afirma que estes são muito influenciados pela magnitude das atividades de transporte. Evidencia-se e confirma-se, então, que os principais grupos são Poluição do Ar, Energia e Emissão de GEE.

A partir disso, foram estabelecidos os indicadores utilizados neste estudo para a comparação e avaliação dos cenários (Figura 6). Para o grupo Emissão de GEE, foram escolhidos os indicadores emissão total (em kg CO₂ eq/mês) e emissão per capita (em kg CO₂ eq/hab.mês) dos gases CO₂, CH₄ e N₂O, por serem gases inventariados. No grupo Poluição Atmosférica, os indicadores são emissão total (em kg/mês) e emissão per capita (em kg/hab.mês) dos poluentes CO, NO_x, MP₁₀ (combustão) e HCMN. O poluente HCMN foi incluído por ser regulamentado e se encontrar no Inventário de Emissões. Além disso, os poluentes NO_x e MP são os mais relevantes no que se refere a emissões provenientes de motores ciclo Diesel. Para o grupo Energia, foram escolhidos os indicadores energia útil consumida na operação das linhas de ônibus que passam pelo centro e na operação do VLT (em MJ/mês).

Tabela 4 – Grupos de indicadores ambientais mais utilizados pela maioria dos Estados-membros da União Europeia.

País	Poluição do Ar	Energia	Emissão de GEE	Uso e ocupação do solo	Poluição Sonora
Áustria	1		1	1	1
Bélgica	1				
Bulgária		1			
Croácia	1	1	1		1
Dinamarca	1		1	1	
Espanha	1	1	1		
Estônia	1	1	1		
Finlândia					1
França	1		1		
Grécia	1			1	
Holanda	1				1
Hungria	1	1	1		
Irlanda	1	1	1		
Itália	1		1		1
Letônia					
Lituânia	1	1	1	1	1
Luxemburgo	1		1	1	
Malta			1		
Polónia	1	1	1	1	
Portugal		1			
Reino Unido			1		1
República Tcheca				1	
Romênia		1			
Suécia		1			
Total	15	11	14	7	7

Fonte: Elaboração própria a partir de Gerlach et al, 2016.

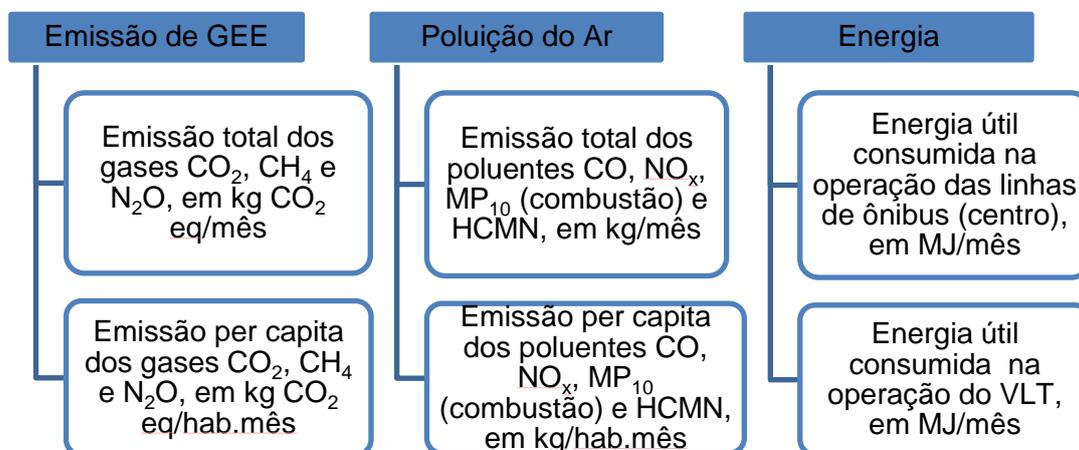


Figura 6 - Indicadores selecionados para o estudo.

Fonte: Elaboração própria

2.2 Coleta de dados

A coleta de dados foi realizada por meio do acesso ao site Transparência da Mobilidade da Prefeitura do Município do Rio de Janeiro, de responsabilidade da Secretaria Municipal de Transportes, onde são disponibilizados ao público informações relativas às operações do serviço de ônibus da cidade. Especificamente, foram baixados os Relatórios de Operações por Linha referentes aos seguintes meses: maio a outubro de 2014, fevereiro de 2015, março de 2015, maio de 2015, julho de 2015, dezembro de 2015, janeiro de 2016, março a junho de 2016.

Também denominados como “Relatório Diário de Operação – RDO das linhas dos Consórcios Intersul, Internorte Transcarioca e Santa Cruz”, estes documentos apresentam, por ordem crescente do número da linha dos consórcios, os dados referentes a distância mensal percorrida (em km), quantidade de viagens pagas, quantidade de gratuidades total e quantidade de passageiros transportados. Para levantar esses dados, a Secretaria Municipal de Transportes monitora a frota de ônibus da cidade por meio de GPS instalados nos veículos (SMTR, 2016b).

A Tabela 5 apresenta os somatórios das distâncias percorridas por todas as linhas em cada mês, nos quais apenas os valores de maio de 2014, julho de 2014, maio de 2015, julho de 2015 e maio de 2016 foram utilizados para a realização deste trabalho.

Tabela 5 - Distância total mensal percorrida pelas linhas de ônibus da cidade do Rio de Janeiro, em km.

Mês/Ano	Distância percorrida total (km)
Maio de 2014	54.665.188
Junho de 2014	55.556.365
Julho de 2014	61.280.285
Agosto de 2014	59.791.554
Setembro de 2014	57.781.091
Outubro de 2014	65.576.563
Fevereiro de 2015	47.903.627
Março de 2015	55.704.121
Maio de 2015	54.165.415
Julho de 2015	55.884.695
Dezembro de 2015	51.027.719
Janeiro de 2016	54.371.147
Março de 2016	53.785.846
Abril de 2016	50.650.868
Maio de 2016	49.993.769
Junho de 2016	52.116.283

Fonte: Elaboração própria a partir dos RDOs.

Além disso, os valores de consumo médio mensal dos ônibus (principalmente o de maio de 2015, em l/km) foram obtidos pelo site da Fetranspor na seção Mobilidade Urbana, onde são disponibilizados ao público dados referentes ao setor.

Outros dados necessários para o cálculo dos indicadores foram extraídos do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013 (ano-base 2012). Estes dados são: os fatores de emissão de CO₂ (para diesel mineral e biodiesel, em kg/l), CH₄ (para motores ciclo Diesel, em g/km) e N₂O (para motores ciclo Diesel, em g/km). Assim como, os fatores de emissão de CO, NO_x, HCNM, MP provenientes da combustão (para motores ciclo Diesel, em g/km), densidade energética (do diesel mineral e do biodiesel, em tep/m³) e valores médios de rendimento (de veículos do ciclo Diesel, em km/l). Segundo o Inventário, os fatores foram calculados seguindo a fase P7 do PROCONVE. Já os fatores de emissão de CO, NO_x, MP provenientes da combustão do biodiesel (em g/bph) foram obtidos em um estudo do EPA (2002). Os fatores de caracterização dos GEE foram obtidos em Houghton et al (1996).

2.3 Cálculo dos indicadores

Para realizar os cálculos dos indicadores primeiramente teve-se que calcular a distância percorrida total e o consumo de combustível em cada mês. Para o cálculo da distância percorrida total somou-se as distâncias percorridas pelas linhas que passam pelo centro para cada mês, seguindo a equação i. Os valores calculados nesta seção são apresentados nas seções 4.3 e 4.4.

$$i. \quad \text{Dist. Perc. Total} = \sum \text{Dist. Perc.}$$

Para o cálculo do consumo de combustível diesel S10B7 e os respectivos volumes de diesel mineral e biodiesel foram utilizadas as equações ii, iii, iv. O valor de consumo médio utilizada foi 0,4131 L/km. Mesmo o dado ser referente apenas ao mês de maio de 2015, este foi adotado para ambos os meses, pois é um valor que tende a variar pouco de um mês para outro.

$$ii. \quad \text{Cons. S10B7} = \text{Dist. Perc. Total} \times \text{Consumo Médio}$$

$$iii. \quad \text{Cons. Diesel Mineral} = 0,93 \times \text{Cons. S10B7}$$

$$iv. \quad \text{Cons. Biodiesel} = 0,07 \times \text{Cons. S10B7}$$

Para o cálculo do indicador Emissão de GEE (CO₂, CH₄ e N₂O) foram utilizadas as equações v, vi, vii, viii seguindo a abordagem *bottom-up* do IPCC. Além disso, os fatores de emissão (FE) de GEE utilizados estão apresentados nas Tabela 6 e Tabela 7 e os fatores de caracterização (FC) estão apresentados na Tabela 8.

- v. CO₂ Diesel Mineral = FE CO₂ Diesel Mineral X Cons. Diesel Mineral X FC CO₂
- vi. CO₂ Biodiesel = FE CO₂ Biodiesel X Cons. Biodiesel X FC CO₂
- vii. CH₄ = FE CH₄ C. Diesel X Dist. Perc. Total X FC CH₄
- viii. N₂O = FE N₂O C. Diesel X Dist. Perc. Total X FC N₂O

Tabela 6 - Fatores de emissão de CO₂ por combustível, em kg/l

Combustível	CO ₂
Diesel Mineral	2,603
Biodiesel	2,431

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Inventário de Emissões (MMA, 2013).

Tabela 7 – Fator de emissão de CH₄ e N₂O para motores ciclo Diesel, em g/km

Categoria	CH ₄	N ₂ O
Ônibus	0,060	0,03

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Inventário de Emissões (MMA, 2013).

Tabela 8 – Fator de caracterização de GEE, em kg CO₂ eq/kg

Gás de efeito estufa	GWP20
CO ₂	1
N ₂ O	170
CH ₄	6,5

Fonte: Elaboração própria a partir de Houghton et al (1996).

Para o cálculo do indicador Poluentes Atmosféricos (CO, NO_x, MP₁₀ comb., HCNM) foram utilizadas as equações ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, seguindo a abordagem *bottom-up* do IPCC. O valor utilizado do rendimento médio dos ônibus foi 2,3 km/l, sem considerar se a linha possuía ar condicionado. Além disso, os fatores de emissão de poluentes atmosféricos adotados estão apresentados nas Tabela 9 e Tabela 10. Vale ressaltar que os fatores de emissão do biodiesel em g/bph foram convertidos para g/l utilizando o valor da densidade energética desse combustível de 0,792 tep/m³, além dos valores de conversão energética entre bph e hp (1,013), hp e W (735,5) e kWh e tep (0,000086).

- ix. CO Diesel Mineral = FE CO C. Diesel X Rend. X Cons. Diesel Mineral
- x. CO Biodiesel = FE CO Biodiesel X Cons. Biodiesel
- xi. NO_x Diesel Mineral = FE NO_x C. Diesel X Rend. X Cons. Diesel Mineral
- xii. NO_x Biodiesel = FE NO_x Biodiesel X Cons. Biodiesel
- xiii. MP₁₀ Comb. Diesel Mineral = FE MP C. Diesel X Rend. X Cons. Diesel Mineral

- xiv. $MP_{10} \text{ Comb. Biodiesel} = FE \text{ MP Biodiesel} \times \text{Cons. Biodiesel}$
 xv. $HCNM = FE \text{ HCNM C. Diesel} \times \text{Rend.} \times \text{Cons. S10B7}$

Tabela 9 – Fatores de emissão de CO, NO_x, MP10 comb. e HCNM para motores ciclo Diesel, em g/km

Categoria	CO	NO_x	MP comb.	HCNM
Ônibus urbanos	0,440	2,103	0,020	0,033

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Inventário de Emissões (MMA, 2013).

Tabela 10 - Fatores de emissão de CO, NO_x e MP comb. para biodiesel, em g/bph

Combustível	CO	NO_x	MP comb.
Biodiesel	0,96	4,87	0,11

Fonte: Elaboração própria a partir do estudo do EPA (2002).

Apesar de não terem sido utilizados na comparação dos cenários por conta da limitação de dados de MP10 por desgaste entre rodas e trilhos (VLT), foram calculadas as emissões de MP10 por desgaste de pneus, freios e pista (ônibus), pelas equações xvi e xvii. Estes não são poluentes regulamentados pelo PROCONVE, porém foram adicionados à segunda versão do Inventário, que busca ampliar o escopo da ferramenta. Os fatores de emissão de MP10 por desgaste de pneus, freios e pista adotados estão apresentados na Tabela 11.

- xvi. $MP \text{ Pneus} = FE \text{ Pneus} \times \text{Dist. Perc. Total}$
 xvii. $MP \text{ Pista} = FE \text{ Pista} \times \text{Dist. Perc. Total}$

Tabela 11 - Fatores de emissão de MP10 por desgaste de pneus, freios e pista por categoria, em g/km

Categoria	MP10 por desgaste de pneus e freios	MP10 por desgaste de pista
Ônibus urbanos	0,5900	0,0380

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Inventário de Emissões (MMA, 2013).

A partir dessas equações, as emissões totais de CO₂, CO, NO_x, MP10 comb. foram calculadas somando as emissões provenientes tanto do diesel mineral quanto do biodiesel. Além disso, para o cálculo das emissões per capita escolheu-se utilizar a população total da cidade do Rio de Janeiro e não população local do centro ou número de passageiros transportados. Isso é justificado pelo fato de que os GEEs possuem um impacto de caráter mais global do que local e assim como, os poluentes atmosféricos possuem impacto de caráter mais regional, já que sua dispersão é influenciada pela meteorologia (Holden et al, 2013). Isso significa que a população afetada não será apenas aquela do centro ou que utiliza o transporte.

Para o cálculo do indicador Energia dos ônibus e do VLT, foram utilizadas as equações xviii, xix, xx. Foram feitas estimativas da distância percorrida do VLT a partir do horário

e dos trechos de funcionamento no mês de julho de 2016. O número de passageiros transportados foi estimado seguindo como referência a capacidade máxima da composição. Além disso, por falta de dados, foi necessário estimar a distância percorrida total dos ônibus que passam pelo centro para este mês, seguindo o padrão de crescimento da distância percorrida entre maio e julho de 2015 (3%). Decidiu-se estimar esse valor pelo ano de 2015, por representar uma configuração urbana mais recente e assim, mais próxima do cenário de 2016. O valor adotado do consumo energético do VLT foi 0,44 MJ/pass.km (esta estimativa é explicada na seção 4.1.1). Os valores adotados de densidade energética dos combustíveis diesel mineral e biodiesel foram, respectivamente, 0,848 tep/m³ e 0,792 tep/m³, convertidos em MJ/L utilizando fatores de conversão entre tep e J (41,87x10⁹).

- xviii. Energ. VLT = Efic. Energ. X Passageiros X Extensão Via X Freq. X Hor. Func.
- xix. Energ. Diesel Mineral = Cons. Diesel Mineral X Dens. Energ. Diesel Mineral
- xx. Energ. Biodiesel = Cons. Biodiesel X Dens. Energ. Biodiesel

3. Fundamentação Teórica

3.1 Conceitos

Segundo Vuchic (2007), as características que distinguem o modo ferroviário dos outros modos são: *external guidance*, *rail technology*, *electric propulsion* e *right of way (row) separation*. Os veículos ferroviários são guiados pelos trilhos (*external guidance*) e, portanto, o papel do condutor é apenas controlar a velocidade. A *rail technology* também está relacionada aos trilhos, mais especificamente com o contato entre as rodas e o trilho. A área desse contato é muito pequena e, por isso, produz baixa resistência ao deslocamento. Assim, o consumo de energia é menor e também produz menos ruído. Essa característica de baixa emissão sonora está também associada à tração elétrica (*electric propulsion*) da maioria dos trens, apesar de alguns ainda utilizarem diesel. Outras vantagens desse sistema de propulsão são a ausência de emissão poluentes atmosféricos e a possibilidade de recuperação de energia durante a frenagem. Existem três categorias de *row separation*: A, B e C. Na categoria A, a segregação é total entre a via do trem e as vias utilizadas pelos outros modos. Essa condição é necessária para trens de alta velocidade, até por questões de segurança entre o veículo e os pedestres. Já na categoria C, o veículo compartilha as vias com veículos de outros modos, como ônibus e carros. Na categoria B, então, a via é semi-segregada.

Vuchic (2007) define e descreve quatro modos básicos da família de transporte ferroviário: *tramway/streetcar* (bonde), *light rail train* (veículo leve sobre trilhos), *rapid rail train* (metrô), *regional rail* (trem metropolitano). Há uma quase contínua transição entre essas famílias e algumas características até se sobrepõem. Portanto, essa divisão é mais um guia do que de fato uma classificação rigorosa.

Os *tramways/streetcars*, em geral, são compostos de um a três carros, com quatro a seis eixos. O comprimento total da composição varia entre 14 e 21 m. Como circulam em vias compartilhadas, principalmente de centros comerciais e centros históricos, sua velocidade depende do tráfego e da configuração das ruas. Portanto, a velocidade operacional está na faixa de 15 a 30 km/h. A capacidade de cada composição é de 100 a 180 passageiros, sendo 10% a 20% sentados. Como citado na seção 1, os bondes foram substituídos em diversas cidades do mundo por ônibus e em adição a isso, seu uso diminuiu ainda mais com a substituição por *light rail vehicles*.

Os *light rail vehicles* são compostos de dois a sete carros, com quatro a dez eixos. O comprimento total varia de 18 a 42 m. Na Europa, a maioria dos veículos possui motor elétrico, enquanto nas Américas a maioria possui motor ciclo Diesel. A velocidade máxima é de 70 a 80 km/h, porém como costumam operar em túneis, parques e áreas pedonais, ou seja, vias predominantemente semi-segregadas, a faixa de velocidade operacional é de 18 a 40 km/h. A capacidade de cada composição é em média de 250 passageiros, sendo 20% a 50% sentados.

Os *rapid rail transits* são compostos por dez carros, com quatro eixos. O comprimento total varia de 16 a 23 m, com 40 portas duplas no total. Costumam trafegar em túneis nas áreas centrais e em estruturas aéreas nas áreas suburbanas. Por conta dessa segregação total das vias, podem atingir sua velocidade máxima durante a operação, tendo em seu sistema um sinal de segurança. O sistema de propulsão desses veículos é elétrico e contam com um sistema totalmente automatizado. Operam em faixas de velocidade entre 25 e 60 km/h, com uma frequência de 20 a 40 trens por hora-pico. A capacidade da composição é em média de 250 passageiros.

Os *regional rails* são mais utilizados para serviços de longa distância (nos EUA, para trechos de 35 km), ou seja, pouco para centros e áreas centrais e mais para subúrbios. Podem chegar a uma velocidade máxima de 130 km/h, mas operam com uma velocidade entre 30 e 75 km/h. Na Europa, a maioria dos veículos possui motor elétrico, enquanto nas Américas a maioria possui motor ciclo Diesel. A capacidade de cada composição é de 125 e 185 passageiros sentados.

3.2 Panorama brasileiro

Nos últimos anos, além do projeto do VLT do Rio, outros dez projetos foram elaborados pelo Brasil, dos quais cinco estão em operação, um está com as obras paralisadas e dois foram suspensos. Quatro desses projetos foram previstos na Matriz de Responsabilidade da Copa do Mundo de 2014, enquanto outros três no Programa de Modernização da Companhia Brasileira de Trens Urbanos e além de outros três casos avulsos.

3.2.1 Copa do Mundo 2014

Diversos projetos e ações de mobilidade em algumas cidades brasileiras foram motivados pela Copa do Mundo de 2014. Oficialmente, foi proposta a implementação do VLT em três cidades: Fortaleza, Cuiabá e Brasília (CGU, 2014c; CGU, 2014b; CGU, 2014a). Entretanto, na época, também foram implementados VLTs na cidade de Recife com o intuito de melhorar a acessibilidade durante os jogos (Portal da Copa, 2012). Os projetos bem-sucedidos foram o de Recife e de Fortaleza, enquanto o de Cuiabá está paralisado e de Brasília foi suspenso.

- **VLT Recife**

O trecho de operação será de Cajueiro Seco até Cabo (linha sul), que está sendo modernizado e duplicado para receber os VLTs (CBTU, 2015b) durante a Copa do Mundo de 2014 (Portal da Copa, 2012). O financiamento provém de recursos do PAC, que contou com um adicional de R\$ 61,15 milhões para a conclusão do projeto, pelo Decreto de Lei nº 13.218 de 2015. Com esse recurso adicional tem-se a previsão de concluir 20% em 2016, totalizando 68% de avanço físico (CBTU, 2015a). Outras obras previstas pelo PAC são a implantação do VLT no trecho I (Norte), trecho II (Centro) e trecho III (sul) (PAC, 2016a).

O trecho tem 31 km de extensão (Prefeitura do Recife, 2012), com 6 estações de embarque/desembarque e uma estação terminal de integração. É prevista uma frota de 9 VLTs (CBTU, 2015b), em que cada composição é formada por 3 carros (CBTU, 2015a) e tem capacidade de 600 passageiros (Prefeitura do Recife, 2012).

- **VLT Fortaleza**

O VLT Parangaba – Mucuripe, da empresa Bom Sinal, operará na linha sul do METROFOR e ligará a região hoteleira ao centro de Fortaleza. Ao todo, serão nove estações em superfície, em uma via remodelada com treze quilômetros de extensão. Para a implantação do VLT, foi necessária a construção de passagens subterrâneas rodoviárias nas Av. Alberto Sá, Pe. Antonio Tomaz e Santos Dumont. O financiamento foi de 100 milhões de reais, sendo 20% do Tesouro Estadual e 80% do Crédito Interno (CEF) (TCECE, 2014). As obras do ramal Parangaba - Mucuripe ainda estão em andamento e já são previstas as obras do ramal Caucaia - Pacém (PAC, 2016b).

A linha contará com uma frota de 10 VLTs diesel (SEINFRA, 2015) passando em um intervalo de 45 minutos. Cada composição tem capacidade de 766 passageiros (METROFOR, 2012). A composição é formada por dois carros, com movimentação bidirecional, com comprimento de 44 m (com dois carros), largura externa de 2,85m e altura máxima de 3,7 m. A velocidade máxima é de 60 km/h (Bernardes, 2014).

- **VLT Cuiabá**

O VLT Cuiabá – Várzea Grande possui 22,18 km de extensão em via semi-segregada. É formada pela Linha 1 (Linha principal Aeroporto – CPA), com 15,035 km de extensão entre as cidades de Cuiabá e Várzea Grande e pela Linha 2 (Ramal Centro – Coxipó), com 7,145 km de extensão na cidade de Cuiabá. Possui 33 estações para embarque e desembarque, sendo 22 da linha principal e 11 do ramal, todas são fechadas com pré-pagamento de tarifa. Além disso, possui três terminais de integração com o sistema alimentador rodoviário. A frota é de 40 veículos (INAE, 2012), com capacidade de 400 passageiros cada composição (Waisman 2013).

O investimento inicial foi de 1,47 bilhões de reais. As obras iniciaram em 2012, porém em março de 2015 as obras ainda se encontravam paralisadas. O anteprojeto inicial prevê inúmeras obras, como cinco viadutos, três trincheiras, três pontes e dois quilômetros de reforço sobre o canal sob Avenida Hist. Rubens de Mendonça. (Waisman, 2013).

- **VLT Brasília**

A linha 1 do VLT fará ligação entre o Aeroporto Internacional Juscelino Kubitschek e a região central da cidade, atravessando-a na direção norte-sul pela Avenida W3. (Maroja

et al, 2013). O início das obras era previsto para novembro de 2010 com término em março de 2012 (Ministério das Cidades, 2012). Entretanto, foram suspensas em setembro de 2012 por conta da impossibilidade de conclusão para a Copa (CGU, 2016a). O projeto então foi retirado da Matriz de Responsabilidade, possibilitando a licitação para o PAC.

O projeto da linha 1 conta com três trechos: Aeroporto – Terminal da Asa Sul, Terminal da Asa Sul – 502 Norte e 502 Norte – Terminal da Asa Norte. No total, terá 22,6km de extensão, com 25 estações de embarque/desembarque (Maroja et al, 2013). O custo total foi de 364 milhões, recursos estes advindos do Governo Federal (Ministério das Cidades, 2012).

3.2.2 Programa de Modernização do CBTU

O Programa de Modernização dos Sistemas de Trens Urbanos de Natal, de João Pessoa e de Maceió estão incluídas no PAC – Grandes Cidades, tendo recursos totais aprovados de R\$700,98 milhões, sendo R\$116,9 milhões disponibilizados em 2014.

- **VLT João Pessoa**

O trecho é da Estação Cabedelo até Estação Santa Rita. Tem 30 km de extensão, com 12 estações de embarque/desembarque (CBTU, 2015a). Em 2015, atendeu uma demanda média de 6.800 pass/dia útil. A execução orçamentária e financeira em janeiro de 2015 contava com um valor de 17,4 milhões de reais. Em 2014, dois VLTs foram entregues e já foram incorporados à operação. Em 2015, foi concluída a montagem e os testes do 3º VLT da frota e continuam em andamento a fabricação de outras 5 unidades pela Bom Sinal, compondo então uma frota de 8 VLTs. Os VLTs são compostos por três carros, de tração diesel-hidráulica, em bitola métrica. (CBTU, 2015b).

- **VLT Natal**

O trecho é de Extremoz a Parnamirim, com 19 estações, com uma extensão de 33,8 km. A frota é de doze VLTs, estando em operação três em 2014 e cada composição tem três carros. O valor da execução orçamentária e financeira em janeiro de 2015 era de 35 milhões de reais. (CBTU, 2015b).

- **VLT Maceió**

O trecho do VLT conectará a região central da cidade ao Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares. O traçado tem 20 km de extensão, com quatorze estações de embarque/desembarque, com seis estações terminais de integração. Todas as estações são fechadas com pré-pagamento de tarifa. A frota é composta por 33 veículos, com na qual cada composição tem capacidade 400 passageiros. O investimento inicial foi de 1,5 bilhão de reais, financiados pelo Governo Federal e pelo Governo do Estado de Alagoas. (Waisman, 2013).

3.2.3 Outros casos

- **VLT Juazeiro do Norte**

Chamado também de “Metrô do Cariri”, o trecho do VLT é de Juazeiro do Norte até Crato (Ramal Transnordestina). Possui uma extensão de 13,6 km com nove estações de embarque/desembarque. A frota é composta por dois VLTs da Bom Sinal, com capacidade de 358 passageiros cada composição, sendo 96 sentados, de movimentação bidirecional. Cada composição tem um comprimento de 30.000 mm, largura externa máxima de 2.850 mm e altura máxima de 3.760 mm. A velocidade operacional máxima de 60 km/h e o intervalo de frequência é de 40 minutos (SEINFRA, 2015)

- **VLT Baixada Santista**

O VLT da Baixada Santista é o primeiro sistema a operar no Brasil, com inauguração da operação do primeiro trecho em abril de 2015. O financiamento é do Estado de São Paulo, com concessão de operação de 30 anos. (Waisman, 2013). A proposta de traçado do Sistema Integrado Metropolitano da Região Metropolitana da Baixada Santista é composta por quatro trechos. O primeiro é o trecho Trecho Barreiros – Porto, com extensão de 11,16 km e composto de 15 estações, já em operação. O segundo é o trecho Conselheiro Nébias – Valongo, em estudo, com 8 km de extensão e composto de 14 estações. O terceiro é o trecho Conselheiro Nébias - Ferry-Boat, com 4,4 km de extensão e composto de 5 estações. O quarto é o trecho Barreiros – Samaritá, com 7,4 km de extensão e composto de 4 estações (EMTU, 2015).

Cada VTL tem capacidade de 400 passageiros, sendo 70 sentados, com 8 portas de cada lado para embarque e desembarque. A bitola é de 1435 mm e a tração é elétrica com tensão nominal de 750VCC. As dimensões do veículo são 45 m x 2,65 m x 3,75 m, altura mínima com pantógrafo (EMTU, 2015).

- **VLT Goiânia**

O trecho é do Terminal Pe. Pelagio até o Terminal Novo Mundo, com as estações fechadas com pré-pagamento de tarifa (Waisman, 2013). A via tem 13,6 km de extensão com doze estações de embarque e desembarque, com cinco terminais de integração. A frota é de 30 VLTs, com capacidade de 600 passageiros. O atendimento previsto é de 240 mil pass/dia, em intervalos de 3 minutos na hora pico e velocidade operacional de 23 km/h. (Odebrecht Transport, 2016)

O Início das obras era previsto para 2015, com inauguração em 2017, porém as obras se encontravam paralisadas e projeto foi descartado em junho de 2016. O investimento previsto era de 1,3 bilhão de reais, por uma Parceria Público-Privada em que 61,5% advinha do Governo Federal e Governo Estadual e 38,5% advinha da iniciativa privada. O prazo da PPP era de 35 anos. (Waisman, 2013)

3.3 Indicadores ambientais

Um indicador é uma métrica quantitativa utilizada para acompanhar progresso visando atingir uma meta (Santos e Ribeiro, 2015). Além disso, são variáveis selecionadas para representar operacionalmente propriedades de uma entidade de interesse (Gudmundsson e Sorensen, 2012). Indicadores devem ser objetivos, de fácil interpretação, representativos e mensuráveis (Bachok et al, 2015). Castillo e Pitfield (2009) sugere que indicadores devem possuir os seguintes atributos: mensurabilidade, facilidade de disponibilidade de dados, a rápida capacidade de atualização dos dados disponíveis, facilidade de interpretação.

No contexto do transporte sustentável, os indicadores devem monitorar o progresso em direção ao desenvolvimento sustentável (Santos e Ribeiro, 2015; Keseru et al, 2016; Castillo e Pitfield, 2009; Gudmundsson e Sorensen, 2012). Os indicadores servem para medir o nível de sustentabilidade, ou seja, praticamente medir o impacto do transporte nos âmbitos econômicos, sociais e ambientais (Bachok et al, 2015). Em relação a cenários de transporte, os indicadores podem ser utilizados ex ante (para a previsão), ex post (para avaliação) ou em tempo real (para monitoramento). (Gudmundsson e

Sorensen, 2012). Castillo e Pitfield (2009) afirma ainda que os indicadores servem para facilitar a comparação entre cenários.

No caso de países em desenvolvimento, os indicadores de transporte sustentável têm papel de fortalecer a governança local, que é tipicamente fraca, de forma a auxiliar no alcance das metas. (Santos e Ribeiro, 2015). Biermann et al (2014) afirma que se princípios comuns forem estabelecidos, indicadores podem ser utilizados tanto em contextos nacionais quanto em contextos locais.

O grupo de indicadores selecionados para este estudo foram Emissões de Gases de Efeito Estufa, Poluição do Ar e Energia. O grupo de indicadores Emissão de Gases de Efeito Estufa utilizado nesse estudo compreende os indicadores Emissão de CO₂, Emissão de CH₄ e Emissão de N₂O. Estes gases são emitidos por diversas atividades humanas, dentre elas a queima de combustíveis fósseis em motores de combustão interna utilizados no modo rodoviário.

A emissão de gases de efeito estufa é a liberação de constituintes gasosos da atmosfera, naturais e antrópicos, que absorvem e emitem radiação em comprimentos de onda específicos dentro do espectro da radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra. Esses gases prendem o calor dentro do sistema superfície-troposfera, causando o efeito estufa natural. Um aumento da concentração desses gases causa um desequilíbrio que só pode ser compensando com um aumento da temperatura da superfície. Este é o efeito estufa antropogênico, causador do aquecimento global (IPCC, 2001).

Os gases de efeito estufa de origem natural são o vapor de água (H₂O), o dióxido de carbono (CO₂), o óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄) e ozônio (O₃). Os gases mais comuns liberados pela atividade humana (origem antropogênica) são o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e clorofluorcarbonetos (CFC) (D'Agosto, 2015), tratados nos Protocolo de Montreal e Protocolo de Kyoto (IPCC, 2001).

Quanto às emissões de GEE no Brasil, a Política Nacional de Mudanças do Clima (Lei Federal nº 12.187 de 2009) estabeleceu a meta voluntária de redução de emissões de 36,1-38,9% em relação ao cenário *business as usual* em 2020 (ano-base 2005). Já o Estado do Rio de Janeiro, por meio do Decreto de Metas Públicas de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa e Adaptação à Mudança do Clima (Decreto nº 43.216 de 2011) fixou suas metas no ano-base de 2010 e horizonte em 2030. São

contabilizadas as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O, provenientes dos setores de energia; processos industriais e uso de produtos; agricultura, floresta e outros usos do solo; resíduos. No setor de energia, mediante ações de eficiência energética as emissões deverão ser reduzidas em 30%, em relação à 2005, quando foram emitidas 1,17 Mt de CO₂.

O grupo de indicadores Poluição do Ar utilizado neste estudo compreende os indicadores Emissão de monóxido de carbono (CO), Emissão de óxidos de nitrogênio (NO_x), Emissão de material particulado menor que 10 µm proveniente da queima de combustíveis fósseis utilizados em motores de combustão interna ciclo Diesel (MP₁₀ combustão) e Emissão de hidrocarbonetos não-metano (HCNM).

“Entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar: I - impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; II - inconveniente ao bem-estar público; III - danoso aos materiais, à fauna e flora; IV - prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.” (Parágrafo único, Artigo 1º, Resolução CONAMA nº 3 de 28 de junho de 1990)

Segundo a Resolução CONAMA nº 3/1990, são poluentes atmosféricos: partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis, dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃) e dióxido de nitrogênio (NO₂). Além desses, ainda pode-se citar os poluentes não-regulamentados: aldeídos (RCHO) e hidrocarbonetos (HC).

A poluição atmosférica pode ser classificada como antropogênica ou natural. As fontes de poluição podem ser classificadas como fixas ou móveis. Os poluentes podem ser classificados quanto à origem (primários ou secundários), quanto ao estado físico (gasoso ou sólido) e quanto à composição química (orgânicos ou inorgânicos). Os poluentes escolhidos nesse estudo são todos de origem antropogênica, de fonte móvel e de origem primária. Com exceção do MP₁₀ comb., que são partículas, todos os poluentes são gasosos. Os poluentes CO e NO_x são inorgânicos e os poluentes HCNM e MP₁₀ comb. (predominantemente) são orgânicos.

Quanto às emissões de poluentes atmosféricos no Brasil, a Resolução CONAMA nº 3 de 1990 estabeleceu os padrões nacionais de qualidade do ar, como especificados na Tabela 12.

Tabela 12 – Padrões nacionais de qualidade do ar.

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão primário [µg/m³]	Padrão secundário [µg/m³]
Partículas totais em suspensão	24 horas	240	150
	MGA	80	60
Partículas inaláveis	24 horas	150	150
	MAA	50	50
Fumaça	24 horas	150	100
	MAA	60	40
Dióxido de enxofre	24 horas	365	100
	MAA	80	40
Dióxido de nitrogênio	1 horas	320	190
	MAA	100	100
Monóxido de carbono	1 hora	40000	40000
	8 horas	10000	10000
Ozônio	1 hora	160	160

Fonte: Elaboração própria a partir da Resolução CONAMA nº 3 de 1990.

O grupo de indicadores Energia utilizado neste estudo compreende os indicadores energia útil consumida na operação mensal dos ônibus e energia útil consumida na operação mensal do VLT. Como visto na seção 2.1, existe um vasto conjunto de indicadores relacionados à energia, associados ao uso de energia primária, uso de energia final, fontes fósseis e fontes renováveis.

A energia útil é a energia consumida na última etapa da cadeia energética de conversão. Em outras palavras, a energia útil é a energia primária menos as perdas ao longo da cadeia. No caso da cadeia de combustíveis fósseis utilizados no modo rodoviário, as perdas estão relacionadas à exploração, transferência, refino, estocagem e conversão. (D'Agosto, 2015)

Para o transporte rodoviário, a energia útil consumida sofre influência de fatores relacionados aos veículos (tecnologia empregada, características do projeto e desempenho), à infraestrutura viária (tecnologia empregada, características do projeto e condição física) e à operação (regime de tráfego, forma de conduzir o veículo e relação entre capacidade e utilização) (D'Agosto, 2015)

A *Internacional Energy Agency* estimou que a energia consumida pelo transporte de passageiro em 2050 deveria ser 4.4kWh per capita por dia, em um cenário que daria 80% de chance de limitar o aumento da temperatura global de 2°C (Holden et al, 2013).

4. Estudo de Caso: Rio de Janeiro

4.1 Detalhamento do caso na Região Portuária

A implantação do VLT no Rio de Janeiro é prevista no Anexo II da Lei Complementar nº 101 de 2009 que institui a Operação Urbana Consorciada da Região do Porto do Rio, conhecida como “Projeto Porto Maravilha”. Este projeto foi concebido visando a revitalização da Região Portuária, que compreende os bairros de Santo Cristo, Gamboa, Saúde, trechos do Centro, Caju, Cidade Nova e São Cristóvão e que possui uma área de 5 milhões de metros quadrados.

As operações urbanas consorciadas são previstas pelo Estatuto da Cidade e, por definição, são:

“O conjunto de intervenções e medidas coordenadas pelo Poder Público municipal, com a participação dos proprietários, moradores, usuários permanentes e investidores privados, com o objetivo de alcançar em uma área transformações urbanísticas estruturais, melhorias sociais e a valorização ambiental.” (Parágrafo 1º, Seção 3, Lei Federal nº 10.257 de 2011)

Para gerir e fiscalizar a revitalização, a Prefeitura criou a Companhia de Desenvolvimento Urbano da Região do Porto do Rio de Janeiro (Cdurp), instituída pela Lei Complementar nº 102 de 2011. Além disso, estabeleceu a parceria público-privada com a Concessionária Porto Novo, contratada via licitação, para executar as obras e prestar serviços públicos municipais com duração de 15 anos, ou seja, até 2026. Dentre os serviços públicos prestados pela Porto Novo, pode-se citar a conservação e manutenção do sistema viário e manutenção da sinalização de trânsito.

A revitalização engloba a recuperação da infraestrutura urbana, dos transportes, do meio ambiente e dos patrimônios históricos e culturais da região. As principais obras são a demolição do Elevado da Perimetral, construção da via Binário do Porto, do Túnel Rio450, da Via Expressa e do Túnel Prefeito Marcello Allencar, a implantação do Veículo Leve sobre Trilhos e construção do Museu de Arte do Rio e do Museu do Amanhã.

O custo total do VLT é de 1,157 bilhão de reais, sendo 532 milhões provenientes de recursos do PAC Mobilidade e 625 milhões provenientes de Parceria Público-Privada da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. O VLT conecta o metrô, os trens metropolitanos, o teleférico da Providência, o BRT Transbrasil (em 2017), os ônibus

urbanos municipais e intermunicipais, as barcas, a rodoviária Novo Rio e o aeroporto Santos Dumont.

A extensão da via é de 28 km com 32 paradas, com uma distância média de 400m entre elas. A rota com a indicação das paradas é ilustrada na Figura 7 e é dividida em três trechos. O primeiro é do aeroporto Santos Dumont até a rodoviária Novo Rio, com 20 paradas, o segundo da Central do Brasil até a Praça XV, com 6 paradas e 2 estações, que entrará em operação no segundo semestre de 2016 e o terceiro trecho, com 4 paradas, será implantado em 2017 (SMTR, 2016d). Quando entrar em operação total, o VLT funcionará 24 horas por dia, 7 dias por semana, com uma frequência é entre 3 a 15 minutos, dependendo da linha. Com uma frota de 32 composições, transportará 300 mil passageiros por dia. Sua velocidade operacional é de 15 km/h.

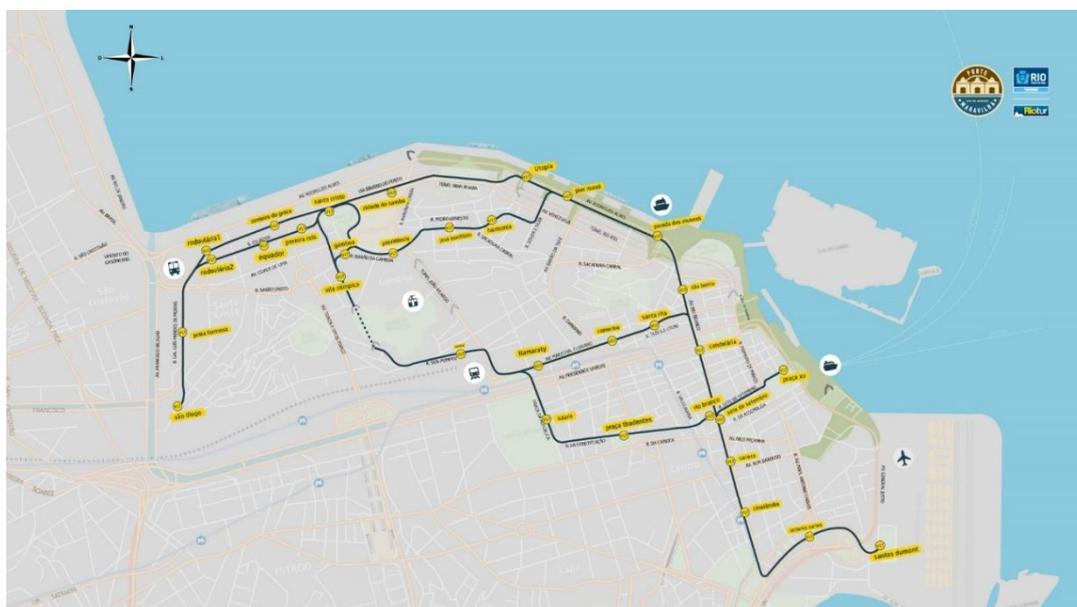


Figura 7 - Rota do Veículo Leve sobre Trilhos do Rio de Janeiro.

Fonte: Site Porto Maravilha

Nas paradas abertas, o pagamento é realizado no interior do veículo por meio de validação de cartão. Os veículos são equipados com câmeras tridimensionais que permitem determinar a quantidade de pessoas dentro do trem (SMTR, 2016d). Nas estações de integração, que são fechadas com catracas para controle de entrada e saída dos passageiros, a tarifa é paga antes do embarque (SMTR, 2016d). O custo da tarifa é R\$ 3,80 e do cartão recarregável é de R3,00, podendo ser comprado em um dos 45 terminais de autoatendimento (ATMs) distribuídos nas paradas (SMTR, 2016e). A partir do dia 2 de agosto, uma multa de R\$ 170 (Lei Municipal nº 6.065/2016) será cobrada dos passageiros que não validarem o cartão, aplicada por guardas municipais que acompanharão agentes da concessionária. O valor aumenta para R\$ 255 em caso

de reincidência. Os passageiros que possuem o Bilhete Único Carioca recebem um desconto na tarifa do VLT, caso esta seja a terceira viagem, pagando R\$ 2,10 (SMTR, 2016e).

Segundo o cronograma de obras do VLT, as atividades iniciaram dia 20 de junho de 2014 e tinham previsão de término no dia 30 de junho de 2016. O primeiro teste realizado com o VLT energizado foi no dia 21 de novembro de 2015, em um trecho de 150m. Posteriormente, em fevereiro e em abril, foram realizados testes noturnos em trechos maiores. Seu primeiro teste diurno, aberto ao público, foi realizado no dia 28 de fevereiro de 2016 da Cinelândia até a Rodoviária Novo Rio.

Com início em janeiro e término em abril de 2016, as obras do VLT na Avenida Rio Branco em um trecho de 600m forçaram a alteração do trajeto e dos pontos finais de 82 linhas de ônibus (Figura 8). Esse trecho, então, passou a ser de uso exclusivo do VLT (paradas Carioca e Cinelândia), de pedestres e de ciclistas e é onde estão presentes edifícios importantes como Teatro Municipal, Biblioteca Nacional e Museu Nacional de Belas Artes. As linhas foram alteradas da Av. Rio Branco para Av. Nilo Peçanha e Graça Aranha, com mudança de sentido da Rua Debret (SMTR, 2016f).

ATENÇÃO COM AS MUDANÇAS NOS ITINERÁRIOS!

Para mais informações: www.vadeonibus.com.br ou 0800 886 1000

Linhas que permanecem na Av. Rio Branco:
Troncal 1 / Troncal 3 / Troncal 5 / 011 / 422

Linhas que devam de passar na Av. Rio Branco:
202 / 217* / 226* / 232 / 249* / 292 / 309 / 415 / 443 / 455 / 2145 / 2251 / 2342* / 2343* / 2344* / 2345*
Novo Itinerário: ... Av. Passos, R. da Carioca, Av. Nilo Peçanha...
Obs: ** 217 / 218 / 219: Avenida de Saldes ... Av. Almirante Barrroso, Av. República do Chile, Praça Tiradentes...
2342 / 2343 / 2344 / 2345: Avenida de Saldes R. Araújo Porto Alegre, R. Estácio de Sá, Av. República do Paraguai, Praça Tiradentes...

Troncal 8 / 010 / 350 / 374 / 377 / 442 / 2014 / 2017 / 2018 / 2101 / 2332*
Novo Itinerário: ... R. Camerino, Av. Passos, R. da Carioca, Av. Nilo Peçanha...
Obs: ** 2332: Avenida de Saldes R. Araújo Porto Alegre, R. Estácio de Sá, Av. República do Paraguai, Praça Tiradentes...

349 / 384 / 385
Novo Itinerário: ... R. Camerino, Av. Passos, Av. República do Paraguai, R. Visconde de Maranguapé, R. Teixeira de Freitas...
Atenção! Essas linhas devam de atender a Praça Mauá

Troncal 4 / 247 / 399
Novo Itinerário: ... Av. Passos, Av. República do Paraguai, R. Visconde de Maranguapé, R. Teixeira de Freitas...

Linhas que permanecem na Av. Passos:
107 / 472 / 2304 / 2305* / 2331 / 2336 / 2339 / 2381
Novo Itinerário: ... Av. Passos, R. da Carioca, Av. Nilo Peçanha...
Obs: ** 2305: Avenida de Saldes ... R. Araújo Porto Alegre, R. Estácio de Sá, Av. República do Paraguai, Praça Tiradentes...
265
Novo Itinerário: ... Av. Passos, Av. República do Paraguai...

Linhas que devam de passar na Av. Passos:
296 / 298 / 378 / 342
Novo Itinerário: ... R. General Calheiros, R. Henrique Valadarez, Av. República do Chile, Av. Almirante Barrroso...
372 / 373
Novo Itinerário: ... R. General Calheiros, R. Henrique Valadarez, Av. Gomes Freixo, R. do Riachuelo...
213 / 275
Novo Itinerário: ... Av. Presidente Vargas, retorno Camêdela, Av. Presidente Vargas...

Linhas com ponto final transferido da Av. Churchill para a Av. Presidente Vargas:
310 / 311 / 320 / 324 / 326 / 328 / 329 / 330 / 393
Novo Itinerário: ... Av. Presidente Vargas, retorno Camêdela, Av. Presidente Vargas...
322
Novo Itinerário: ... R. Camerino, Av. Presidente Vargas, Camêdela, R. Primeiro de Março, Tarif Rio 450...

Linhas com ponto final transferido da R. Araújo Porto Alegre e Av. Nilo Peçanha para a R. da Assembleia:
306 / 331 / 361 / 2110 / 2111 / 2112 / 2114
Novo Itinerário: ... Av. Passos, R. da Carioca, R. da Assembleia, R. Primeiro de Março...

Linhas com ponto final transferido da R. Santa Luzia para a Av. Presidente Vargas:
352 / 368
Novo Itinerário: ... Av. Presidente Vargas, retorno Camêdela, Av. Presidente Vargas (sentido central)...

Outras mudanças:
006 / 014 / 201 / 229 / 239
Novo Itinerário: ... Av. Presidente Antônio Carlos (sentido Noro), R. Araújo Porto Alegre, R. Evaristo da Veiga, Av. República do Paraguai, Praça Tiradentes...
2015 / 2115
Novo Itinerário: ... Av. Presidente Antônio Carlos, Av. Almirante Barrroso, R. Malhada, Av. Nilo Peçanha...
2309 / 2307 / 2308 / 2309
Novo Itinerário: ... R. Araújo Porto Alegre, R. Malhada, Av. Almirante Barrroso...
344
Novo Itinerário: ... R. Araújo Porto Alegre, Av. República do Paraguai, Praça Tiradentes...
498
Novo Itinerário: ... Av. Francisco Bualho, Viaduto 31 de Março, Tarif Santa Bárbara...

LINHAS INTERMUNICIPAIS:

Linhas com acesso pelo Binário do Porto com destino ao Terminal Menezes Cortes
Novo Itinerário: ... Av. Professor Pereira Reis, Praça Santo Cristo, Rua da América, Viaduto 31 de Março, R. Benedito Hipólito, R. Marquês de Pombal, R. do Riachuelo, R. Henrique Valadarez, Praça da Cruz Vermelha, R. da Relação, Av. República do Chile, Av. Almirante Barrroso, Av. Presidente Antônio Carlos, Terminal Menezes Cortes.

Linhas com acesso pelo Binário do Porto com destino ao Passeio
Novo Itinerário: ... Av. Professor Pereira Reis, Praça Santo Cristo, Rua da América, Viaduto 31 de Março, R. Benedito Hipólito, R. Marquês de Pombal, R. do Riachuelo, R. Henrique Valadarez, Praça da Cruz Vermelha, R. da Relação, Av. República do Chile, Av. Almirante Barrroso, Av. Graça Aranha...
Atenção! Essas linhas devam de atender a Praça Mauá

Linhas com acesso pela Av. Pres. Vargas - Av. Passos com destino ao Term. Menezes Cortes
Novo Itinerário: ... Av. Presidente Vargas, R. General Calheiros, R. Tenente Passalunghi, R. Henrique Valadarez, Praça da Cruz Vermelha, R. da Relação, Av. República do Chile, Av. Almirante Barrroso, Av. Presidente Antônio Carlos, Terminal Menezes Cortes.

Linhas com acesso pela Av. Pres. Vargas - Av. Passos com destino ao Passeio
Novo Itinerário: ... Av. Presidente Vargas, R. General Calheiros, R. Tenente Passalunghi, R. Henrique Valadarez, Praça da Cruz Vermelha, R. da Relação, Av. República do Chile, Av. Almirante Barrroso, Av. Graça Aranha...

Figura 8 – Mudança do itinerário das linhas dos ônibus que passam pelo centro por conta das obras do Porto Maravilha.

Fonte: Secretaria Municipal de Transportes.

No dia 7 de maio de 2016, foram alterados os pontos finais dos ônibus intermunicipais que passavam pela rota do VLT. Outras mudanças no trânsito ocorreram no dia 14 de maio de 2016, com a reabertura da Av. Rio Branco, com duas faixas para automóveis e uma faixa exclusiva para ônibus troncais. No dia 21 de maio, inverteram o sentido do tráfego em trechos da Rua Senador Dantas, Rua Mestre Valentim, Rua do Passeio e Av. Luís de Vasconcelos.

A inauguração da operação do primeiro trecho do VLT estava prevista para o dia 22 de maio de 2016, foi adiada para o dia 5 de junho, por pedido do Ministério Público, alegando risco de acidentes e falhas por conta das sinalizações que ainda não tinham sido plenamente instaladas, testadas e aprovadas. A inauguração, então, ocorreu dia 5 de junho de 2016, com o fechamento da Av. Rio Branco, iniciando o período de adaptação da população à circulação do VLT, sem cobrança de tarifa.

A primeira etapa consistia na circulação do VLT com 8 paradas em horário restrito das 12h às 15h. Em sua primeira semana de funcionamento, realizou 95 viagens nos dois sentidos, com um tempo médio de percurso de 23 minutos entre o aeroporto Santos Dumont e a Parada dos Museus. O planejamento de cada fase de adaptação está detalhado na Tabela 13.

Tabela 13 – Planejamento de cada fase de adaptação da operação do VLT no Zona Portuária do Rio de Janeiro.

Fase	Trecho	Operação	Intervalo (minutos)	Frota (VLTs)
1	Parada dos Museus - Santos Dumont	12h-15h	30	3
2	Parada dos Navios - Santos Dumont	11h-16h	30	3
3	Parada dos Navios - Santos Dumont	10h-16h	30	3
4	Praia Formosa - Santos Dumont	9h-17h	15	7
5	Praia Formosa - Santos Dumont	8h-19h	15	8
6	Praia Formosa - Santos Dumont	7h-21h	15	8
7	Praia Formosa - Santos Dumont	6h-24h	15	5
8	Parada dos Navios - Santos Dumont (Atendimento Olímpico)	Horários de pico	15	3

Fonte: Elaboração própria, a partir da tabela disponibilizada no Site Porto Maravilha

No dia 13 de junho de 2016, o horário de funcionamento foi alterado para 11h as 16h nos dias úteis entre o aeroporto Santos Dumont e a Parada dos Navios, ampliando para 9 paradas no mesmo trecho. No 27 de junho de 2016, este horário foi modificado para 10h as 17h nos dias úteis com 4 VLTs passando em um intervalo de 15 minutos. No dia 9 de julho, passou a circular nos finais de semana, de 8h as 17h. Desde a sua inauguração, o tempo médio do percurso completo, entre o Aeroporto e a Parada dos

Navios, foi de 26 minutos. O horário de pico foi entre as 12h e 14h e a maior concentração de embarque e desembarque foi nas paradas Carioca, Cinelândia e dos Museus. No dia 12 de julho, o VLT passou a circular no trecho entre o aeroporto Santos Dumont e a rodoviária Novo Rio, das 8h às 12h com intervalo de 15 minutos, em 16 paradas, com 7 composições. Durante os finais de semana, circulava da Parada dos Navios até o aeroporto Santos Dumont, das 8h às 20h (Figura 9).

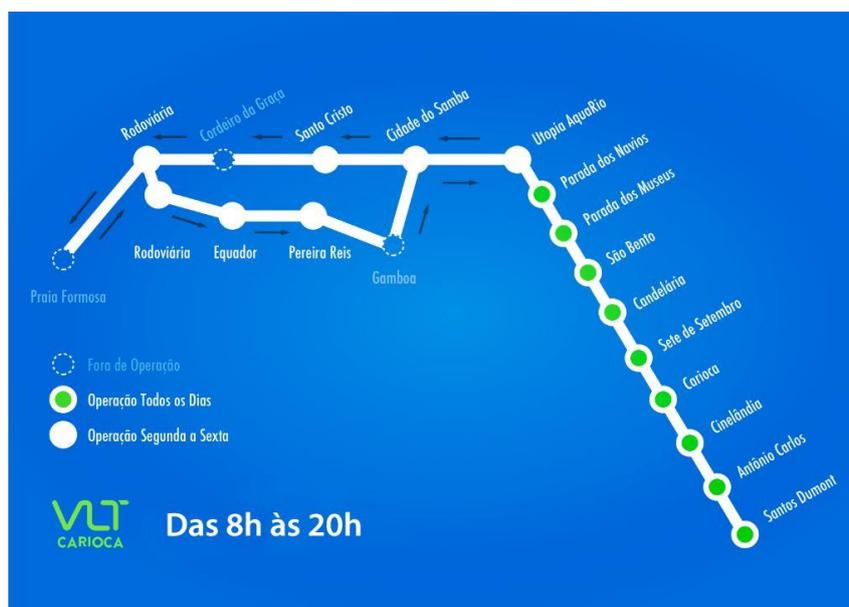


Figura 9 – Operação do VLT no dia 12 de julho de 2016.

Fonte: Site VLT do Rio

A previsão de inauguração da operação com cobrança de tarifa era para o dia 1º de julho de 2016, porém foi adiada para o dia 26 de julho de 2016. No dia 30 de julho, o VLT passou a circular com 7 composições do aeroporto Santos Dumont até a Rodoviária Novo Rio, ampliando sua operação para os finais de semana das 7h às 21h, com um intervalo de frequência de 15 a 20 minutos. O resumo dessas alterações é apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 – Resumo das alterações realizadas durante a adaptação da operação do VLT no centro do Rio de Janeiro.

Data	Trecho	Operação	Intervalo (minutos)	Frota (VLTs)
5 de junho	Parada dos Museus - Santos Dumont*	12h-15h	30	2
13 de junho	Parada dos Navios - Santos Dumont	11h-16h	30	3
27 de junho	Parada dos Navios - Santos Dumont	10h-17h	15	4
9 de julho	Parada dos Navios - Santos Dumont	8h-17h*	15	4
12 de julho	Rodoviária - Santos Dumont	8h-12h	15	7
30 de julho	Rodoviária - Santos Dumont	7h-21h*	15	7

Fonte: Elaboração própria

4.1.1 Especificações técnicas do Alstom Citadis 402

O VLT do Rio é um *light rail train* da empresa francesa Alstom do modelo Citadis 402 Arpège, como ilustrado na Figura 10 (Alstom, 2014b). Esse modelo está presente em diversas cidades do mundo, como nas cidades francesas de Bordeaux, Montpellier, Rouen, Tours, Paris (linha T3), em Grenoble (Suíça), em Dublin (Irlanda), em Dubai (Emirados Árabes) e em Casablanca (Marrocos).

Os estudos do projeto foram realizados na unidade da Alstom em La Rochelle, onde as cinco primeiras composições foram fabricadas. Posteriormente, as outras 27 composições serão fabricadas em Taubaté (SP) (Alstom, 2014b). Há 60 anos, a Alstom possui um parque industrial instalado no Brasil, portanto facilita o fornecimento de peças de reposição e solução de problemas operacionais que surgem ao longo da operação. Os fabricantes estão aptos a fornecer o veículo, sistemas de energia, sinalização e controle, telecomunicações e equipamentos de manutenção. (CCR, 2011b)

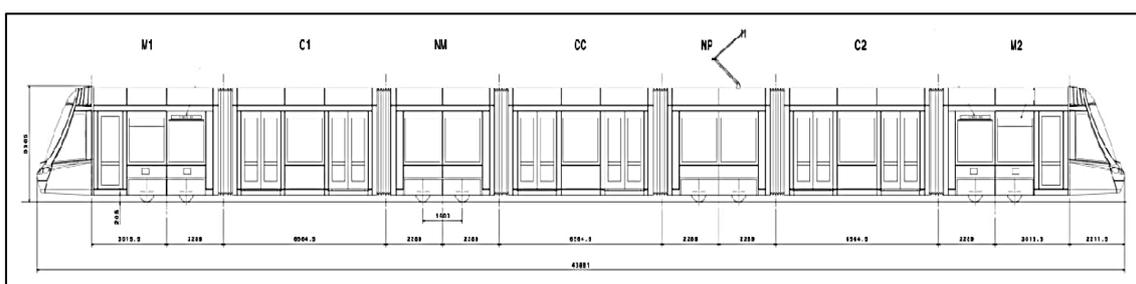


Figura 10 – Diagrama do Alstom Citadis 402 Arpège.

Fonte: Memorial Descritivo Geral do VLT

Cada composição tem capacidade de 420 passageiros. É formado por sete módulos com 8 portas laterais: dois módulos com cabines de condução (M1 e M2), dois módulos suspensos (C1 e C2), um módulo suspenso central (CC), um módulo motorizado (NM) e um módulo reboque, que apoia o pantógrafo (NP). O pantógrafo é apenas utilizado no pátio e na oficina. O veículo é do tipo bidirecional, de piso plano sobre uma base Arpège. Possui três truques 100% motorizados com motores assíncronos com tração independente por truque e mais um truque reboque suprido somente com freios. O detalhamento das características técnicas se encontra na Tabela 15. Além disso, os veículos passam em via permanente semi-segregada com bitola de 1.435 mm, com raio mínimo das curvas horizontais nas vias principais de 25 m e nas vias secundárias de 18 m. (Alstom, 2014b)

Tabela 15 – Características técnicas do Alstom Citadis 402.

Características técnicas	
Comprimento total	43.972 mm
Largura externa	2.650 mm
Altura total com pantógrafo dobrado	3.807 mm
Altura mínima do teto	2.070 mm
Altura dos acessos em relação ao plano de rolamento	336 mm
Largura de passagem livre das portas duplas	1.300 mm
Largura mínima dos corredores a uma altura de 1.000 mm do piso	624 mm
Inclinação máximo no salão	Não há inclinação no salão
Distância entre centros dos truques	11.143 mm
Distância entre eixos do truque	1.600 mm
Diâmetro das rodas novas	610 mm
Altura de trabalho do pantógrafo	4-6m
Peso do veículo vazio - tara (máximo)	55 t
Tipo de trilho	Groove
Alimentação de tração	750 V
Velocidade máxima	70 km/h
Aceleração	1,15 m/s ²

Fonte: Elaboração própria, a partir de Memorial Descritivo Geral do VLT e Estudo Preliminar de Implementação do VLT.

Como citado na seção 4.1, o VLT passou por diversos testes noturnos e diurnos. Os testes foram realizados em série e para cada trem foi realizado, em média, teste estático em 2 dias e teste dinâmico em 3 dias. Os testes diurnos tinham como objetivo avaliar e garantir a segurança e eficiência da operação, enquanto os testes noturnos foram testes de tração, frenagem e reboque, com e sem carga. O teste de carga realizou simulações de peso dos passageiros com capacidade máxima de 38t, para avaliar e garantir a eficiência dos freios. (SMTR, 2016e)

Por operar em regime compartilhado de pedestre, os veículos possuem três tipos de freios. A frenagem de serviço, maior que 1,2 m/s², usando sistemas de freios eletrodinâmicos e fricção a baixa velocidade, a frenagem de emergência, maior que 2,5 m/s², usando freios eletrodinâmicos e de fricção, além dos freios eletromagnéticos e frenagem de segurança, maior que 1,6 m/s², usando freios de fricção e eletromagnético somente. (CCR, 2011b)

O sistema Citadis *Eco-pack* foi inicialmente desenvolvido em conjunto com a operadora ferroviária RATP em 2010, visando buscar soluções de armazenamento de energia. A partir disso, foi desenvolvido um sistema em que o trem é capaz de operar sem catenárias, com maior eficiência energética e com maior autonomia. Os testes

demonstraram que a redução de consumo de energia pode chegar em até 30% (Alstom, 2014a). Por conta da ausência de catenárias, o fornecimento de energia é feito pelo sistema de Alimentação Pelo Solo (APS), por um terceiro trilho. (Alstom, 2014b). Além disso, o VLT ainda conta com supercapacitores independentes instalados no topo do trem (Figura 11) armazenando energia em 20 segundos durante sua parada nas estações e é regenerada durante a frenagem, como um *eco-driving*. (Alstom, 2014a). Estima-se que em 20% do traçado o VLT circulará em autonomia. (SMTR, 2016d).

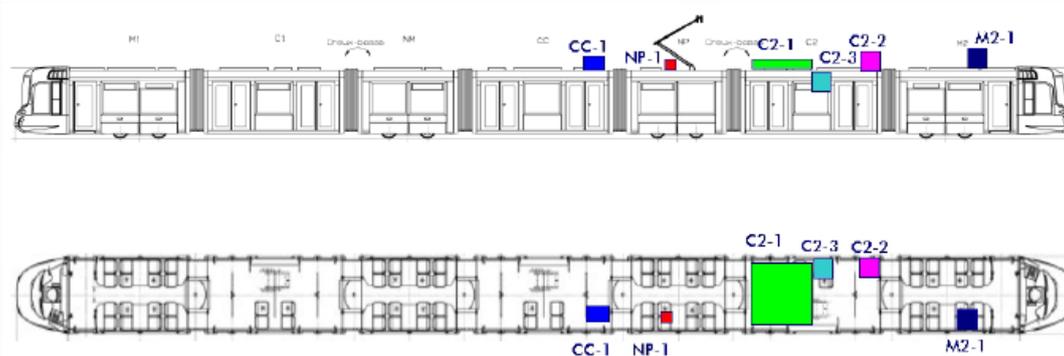


Figura 11 – Instalação do supercapacitor no teto do Alstom Citadis 402 (C2-1).

Fonte: Artigo STEEM.

Segundo um estudo da ADEME (2008) em parceria com a RATP, o consumo energético médio dos *light rail trains* que circulam em áreas urbanas francesas é de 15 gep/pass.km, o equivalente a 0,62 MJ/pass.km. Um outro estudo da RATP em parceria com a Alstom (Moskowitz e Cohuau, 2009) realizado em um Alstom Citadis 402 com o sistema *Eco-pack* instalado, que circula pela linha 3 do sistema ferroviário de Paris, apresentou como resultado uma energia consumida de 300 kWh em um trecho de 8 km com 304 passageiros. Isso significa um consumo energético de 0,44 MJ/pass.km. Esses dois resultados condizem, já que o sistema *Eco-pack* recupera 30% da energia. Além disso, essa estimativa também foi comparada para confirmação com estudo de Davis et al (2009).

4.2 Racionalização das linhas de ônibus

Um dos objetivos da racionalização das linhas da Zona Sul foi utilizar de modo mais eficiente os corredores BRS, trazendo maior fluidez ao trânsito e reduzindo o tempo de viagem dos passageiros (SMTR, 2016a). Para isso, 70% das linhas que circulavam na Zona Sul foram aglutinadas, eliminando as linhas que possuíam rotas sobrepostas e encurtando rotas longas que circulavam com poucos passageiros. Segundo estudos da Secretaria Municipal de Transportes, 54% das linhas que circulavam na cidade tinham

mais de 50% de seus trajetos idênticos ao longo da rota. A rede do sistema de ônibus foi, então, redesenhada seguindo três tipos de ligações. A ligação entre bairros da Zona Sul e Centro, pelas linhas troncais, a ligação entre bairros da Zona Sul, pelas linhas circulares e ligações entre zonas, pelas linhas diametrais (SMTR, 2016c).

Para exemplificar, na primeira semana de implementação, no eixo entre a Avenida Presidente Antônio Carlos e a Rua Primeiro de Março, a redução foi de 19% no pico da manhã (de 176 para 142 ônibus por hora) e de 21% no pico da tarde (de 152 para 120). Além disso, neste trecho, foi registrado um ganho no tempo de percurso de 22,8% (de 6'37" para 5'20") (SMTR, 2016a).

A racionalização das linhas de ônibus foi dividida em duas fases, com cinco etapas cada, em quatro meses (outubro de 2015, dezembro de 2015, janeiro de 2016 e fevereiro de 2016). Além disso, foram necessários ajustes operacionais em cinco dias nos meses de outubro, novembro e março. As datas são apresentadas na Tabela 16. (SMTR, 2016c). Com essa operação, 25 linhas foram criadas, 26 modificadas e 50 extintas (Anexo B) (SMTR, 2016g).

Tabela 16 – Cronograma da racionalização das linhas de ônibus na Cidade do Rio de Janeiro.

Etapa	Primeira fase (2015)	Segunda fase (2016)	Ajustes operacionais
1	3 de outubro	9 de janeiro	12 de outubro
2	24, 25, 26 de outubro	16 de janeiro	20 de novembro
3	20 de novembro	23 de janeiro	30 de novembro
4	28 de novembro	20 de fevereiro	12 de março
5	12 de dezembro	27 de fevereiro	24 de março

Fonte: Elaboração própria a partir de dados disponibilizados no site da Prefeitura.

4.3 Cenário 1

Os cenários foram estabelecidos considerando os meses que seriam passíveis de comparação, ou seja, meses típicos. Para o cenário 1, foi escolhido o mês de maio de 2015, que não representa um mês de férias ou nem de feriados de grande impacto no trânsito, como Carnaval. Além disso, o mês do cenário 1 é um período anterior à implementação da racionalização das linhas de ônibus na Zona Sul, ou seja, antes de outubro de 2015. Nesse mês, das 464 linhas de ônibus circulavam pela cidade do Rio de Janeiro, 156 destas passavam pelo centro. A distância percorrida total dessas linhas é apresentada na Tabela 17.

Tabela 17 - Distância total mensal percorrida pelas linhas de ônibus que passam pelo centro da cidade do Rio de Janeiro, em maio de 2015, em km.

Mês/Ano	Distância percorrida total – Centro (km)
Maio de 2015	18.598.225

Fonte: Elaboração própria

Além da distância percorrida, para calcular os indicadores ambientais também foi necessário calcular os valores de consumo total mensal de cada combustível, que são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 – Volume total de combustível e seus respectivos volumes de diesel e biodiesel consumidos pelas linhas de ônibus que passam pelo centro da cidade do Rio de Janeiro, em maio de 2015, em l.

Consumo [l]	Maio de 2015
Diesel S10B7	7.682.927
Diesel Mineral	7.145.122
Biodiesel	537.805

Fonte: Elaboração própria

Os resultados dos indicadores de Emissão de GEE (total, em kg CO₂ eq/mês e per capita, em kg CO₂ eq/hab.mês) e de Poluentes Atmosféricos (total, em kg/mês e per capita, em kg/hab.mês) desse cenário são apresentados nas Tabela 19, Tabela 20, Tabela 21 e Tabela 22.

Tabela 19 – Emissões totais de Gases de Efeito Estufa no cenário de maio de 2015, em kg CO₂ eq/mês.

Gás de efeito estufa	Emissão total [kg CO₂ eq/mês]
CO ₂	19.906.156
CH ₄	7.253
N ₂ O	94.851

Fonte: Elaboração própria

Tabela 20 – Emissões per capita de Gases de Efeito Estufa no cenário de maio de 2015, em kg CO₂ eq/hab.mês.

Gás de efeito estufa	Emissão per capita [kg CO₂ eq/hab.mês]
CO ₂	3,073536
CH ₄	0,001120
N ₂ O	0,014645

Fonte: Elaboração própria

Tabela 21 - Emissões totais de poluentes atmosféricos no cenário de maio de 2015, em kg/mês.

Poluente atmosférico	Emissão total [kg/mês]
CO	13.612
NO _x	66.934
MP10 COMB	1.060
HCNM	542

Fonte: Elaboração própria

Tabela 22 - Emissões per capita de poluentes atmosféricos no cenário de maio de 2015, em kg/hab.mês.

Poluente atmosférico	Emissão per capita [kg/hab.mês]
CO	0,002102
NO _x	0,010335
MP10 COMB	0,000164
HCNM	0,000084

Fonte: Elaboração própria

As emissões de CO₂ são 2.745 vezes maiores que as de CH₄ e 210 vezes maiores que de N₂O. Entre os poluentes atmosféricos, as maiores emissões são de NO_x e CO. Apesar de não ter sido utilizada para comparação, também foi calculado as emissões MP10 de desgaste por freios, pneus e pista. No total, a emissão de MP10 foi de 12.740 kg/mês, um valor 12 vezes maior do que as emissões de MP10 combustão isoladamente. A energia útil total consumida pelas linhas que passam pelo centro foi de 271.527.151 MJ/mês (Tabela 23).

Tabela 23 – Energia útil consumida no mês de maio de 2015 por combustível.

Operação ônibus	Maio de 2015	
	Diesel	Biodiesel
Combustível		
Consumo (l)	7.145.122	537.805
Densidade Energética (MJ/l)	35,5058	33,1610
Energia útil consumida (MJ/mês)	253.692.982	17.834.169

Fonte: Elaboração própria

4.4 Cenário 2

O mês escolhido para o cenário 2 foi maio de 2016, após a racionalização dos ônibus. Nesse mês, das 398 linhas circulavam pela cidade, 136 passavam pelo centro. A distância percorrida total dessas linhas é apresentada na Tabela 24 e o consumo mensal de combustível é apresentado na Tabela 25. Considerando apenas as linhas que trafegam pelo centro, 30 linhas foram extintas, 26 foram modificadas e 25 foram criadas, representando 19,23%, 3,21% e 14,10% das linhas totais que passam pelo centro em maio de 2016, respectivamente. Além disso, este era o mês previsto para a inauguração da operação, sem cobrança de tarifa, do trecho 1 do VLT.

Tabela 24 - Distância total mensal percorrida pelas linhas de ônibus que passam pelo centro da cidade do Rio de Janeiro, em maio de 2016, em km.

Mês/Ano	Distância percorrida total – Centro (km)
Maio de 2016	17.624.722

Fonte: Elaboração própria

Tabela 25 – Volume total de combustível e seus respectivos volumes de diesel e biodiesel consumidos pelas linhas de ônibus que passam pelo centro da cidade do Rio de Janeiro, em maio de 2016, em l.

Consumo [l]	Maior de 2016
Diesel S10B7	7.280.773
Diesel Mineral	6.771.119
Biodiesel	509.654

Fonte: Elaboração própria

Os resultados dos indicadores de Emissão de GEE (total, em kg CO₂ eq/mês e per capita, em kg CO₂ eq/hab.mês) e de Poluentes Atmosféricos (total, em kg/mês e per capita, em kg/hab.mês) desse cenário são apresentados nas Tabela 26, Tabela 27, Tabela 28 e Tabela 29.

Tabela 26 - Emissões totais de Gases de Efeito Estufa no cenário de maio de 2016, em kg CO₂ eq/mês.

Gás de efeito estufa	Emissão total [kg CO₂ eq/mês]
CO ₂	18.864.191
CH ₄	6.874
N ₂ O	89.886

Fonte: Elaboração própria

Tabela 27 - Emissões per capita de Gases de Efeito Estufa no cenário de maio de 2016, em kg CO₂ eq/hab.mês.

Gás de efeito estufa	Emissão per capita [kg CO₂ eq/hab.mês]
CO ₂	2,912655
CH ₄	0,001061
N ₂ O	0,013879

Fonte: Elaboração própria

Tabela 28 - Emissões totais de poluentes atmosféricos no cenário de maio de 2016, em kg/mês.

Poluente atmosférico	Emissão total [kg/mês]
CO	12.900
NO _x	63.430
MP COMB	1.004
HCNM	514

Fonte: Elaboração própria

Tabela 29 - Emissões per capita de poluentes atmosféricos no cenário de maio de 2016, em kg/hab.mês.

Poluente atmosférico	Emissão per capita [kg/hab.mês]
CO	0,001992
NO _x	0,009794
MP COMB	0,000155
HCNM	0,000079

Fonte: Elaboração própria

As emissões de CO₂ são 2745 vezes maiores que as de CH₄ e 210 vezes maiores que de N₂O. Entre os poluentes atmosféricos, as maiores emissões são de NO_x e CO. Apesar de não ter sido utilizada para comparação, também foi calculado as emissões

MP10 de desgaste por freios, pneus e pista. No total, a emissão de MP10 foi de 12.073 kg/mês, um valor 12 vezes maior do que as emissões de MP10 combustão isoladamente. A energia útil total consumida pelas linhas que passam pelo centro no mês de maio de 2016 foi de 257.314.370 MJ/mês (Tabela 30).

Tabela 30 - Energia útil consumida no mês de maio de 2016 por combustível.

Operação ônibus	Maio de 2016	
	Diesel	Biodiesel
Combustível		
Consumo (l)	6.711.119	509.654
Densidade Energética (MJ/l)	35,5058	33,1610
Energia útil consumida (MJ/mês)	240.413.711	16.900.657
Energia útil consumida Total (MJ/mês)	257.314.370	

Fonte: Elaboração própria

A inauguração da operação do primeiro trecho do VLT estava prevista para o dia 22 de maio de 2016, porém foi adiada para o dia 5 de junho. Portanto, para englobar tanto a operação dos ônibus quanto do VLT no cálculo do indicador Energia, foi considerado não foi considerado o mês de maio. O motivo da escolha do mês de julho e não junho foi por questão de limitação de dados. Mesmo assim foi necessário estimar a distância percorrida do mês de julho de 2016, considerando a variação entre maio e julho de 2015, por ser um período mais próximo cronologicamente da mudança de cenários. (Tabela 31, Figura 12).

Tabela 31 – Estimativa da distância percorrida total pelas linhas de ônibus de julho de 2016, a partir de maio e julho de 2015.

Mês/Ano	Distância percorrida [km]
Maio de 2014	54.665.188
Julho de 2014	61.280.285
Δ	1,12
Maio de 2015	54.165.415
Julho de 2015	55.884.695
Δ	1,03
Maio de 2016	49.993.769
Julho de 2016	51.580.636

Fonte: Elaboração própria

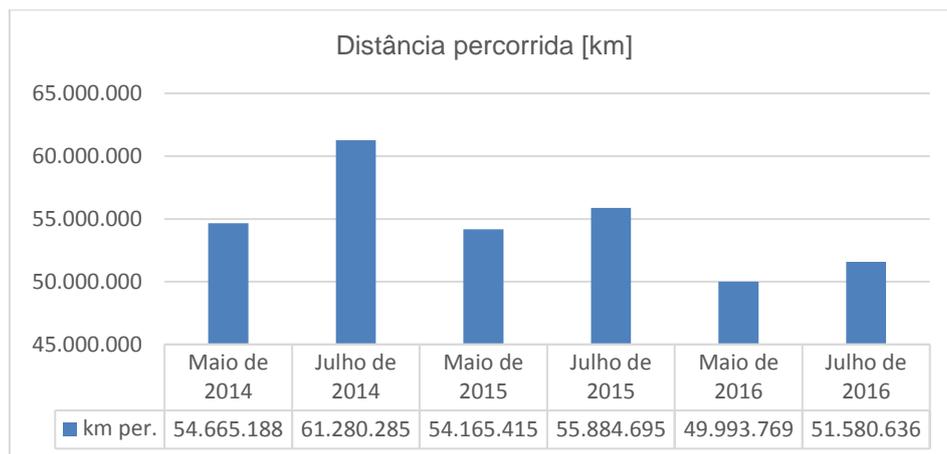


Figura 12 – Distância percorrida por mês, em km

Fonte: Elaboração própria

A partir da estimativa da distância percorrida total de julho de 2016, da distância percorrida total de maio de 2016 e distância percorrida pelas linhas que passam pelo centro de maio de 2016, estimou-se a distância percorrida pelas linhas que passam pelo centro de julho de 2016 (18.184.153 km). A partir desse valor estimado, foi calculada a energia útil consumida em julho de 2016, pela operação dos ônibus e do VLT (Tabela 32 e Tabela 33).

Tabela 32 – Energia útil consumida em julho de 2015 e julho de 2016 pelas linhas de ônibus que passam pelo centro.

Operação ônibus	Julho de 2015		Julho de 2016	
	Diesel	Biodiesel	Diesel	Biodiesel
Consumo (l)	7.371.917	554.875	6.986.043	525.831
Densidade Energética (MJ/l)	35,5058	33,1610	35,5058	33,1610
Energia útil consumida (MJ/Mês)	261.745.524	18.400.248	248.044.752	17.437.108
Energia útil Total (MJ/Mês)	280.145.773		265.481.860	

Fonte: Elaboração própria

Tabela 33 - Energia útil consumida em julho de 2016 pela operação do VLT.

Operação VLT	Julho 2016
Consumo Energético [MJ/pass.km]	0,44
Capacidade por composição [pass]	420
Frequência [h]	0,25
Horas de Funcionamento Diário [h]	12
Dias de Funcionamento 1 [dias]	2
Extensão 1 [km]	14
Dias de Funcionamento 2 [dias]	5
Extensão 2 [km]	28
Energia útil consumida [MJ/mês]	372.557

Fonte: Elaboração própria

A energia útil consumida pela operação dos ônibus e do VLT em julho de 2016 foi então 265.854.417 MJ. Além disso, a energia útil consumida do VLT é de uma ordem de grandeza 10^3 menor do que a dos ônibus.

4.5 Comparação e avaliação dos cenários

A abordagem do presente trabalho para monitoramento dos cenários é por meio da análise de mudanças relativas entre eles. Uma queda no valor dos indicadores é um aspecto positivo, porém isso não significa que apenas o cenário posterior é sustentável e outro não (Holden et al, 2013). Significa que o segundo cenário está mais próximo do desenvolvimento sustentável e contribui mais para o atingimento de metas sustentáveis.

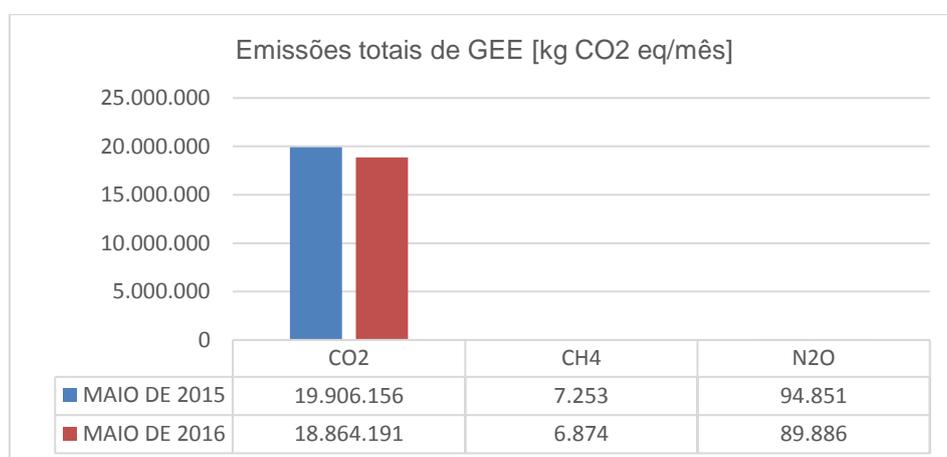


Figura 13 – Emissões totais de GEE de maio de 2015 e maio de 2016, em kg CO₂ eq/mês.

Fonte: Elaboração própria.

Em relação às emissões totais de GEE, o mês de maio de 2016 apresentou uma queda de 1.041.965 kg CO₂ eq/mês nas emissões de CO₂, de 380 kg CO₂ eq/mês nas emissões de CH₄ e de 4.965 kg CO₂ eq/mês nas emissões de N₂O, em comparação a maio de 2015 (Figura 13). No total, isso representa uma queda de 1.047.310 kg CO₂ eq/mês.

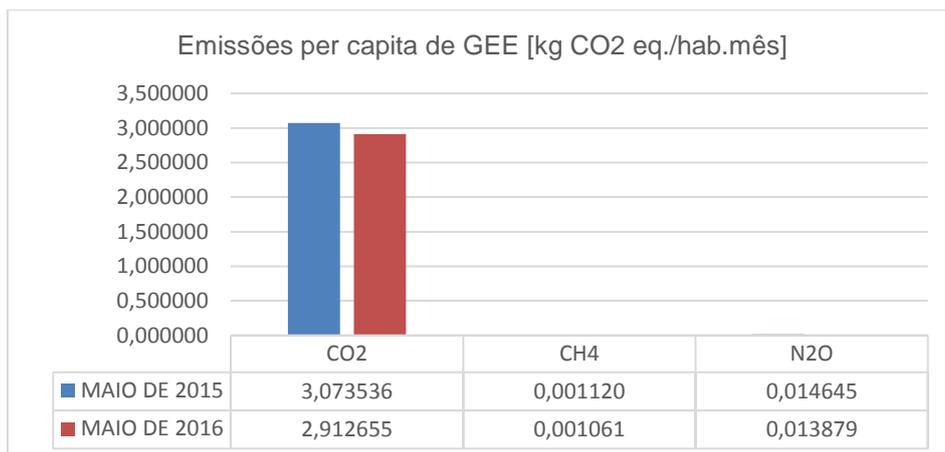


Figura 14 - Emissões per capita de GEE de maio de 2015 e maio de 2016, em kg CO₂ eq./hab.mês.

Fonte: Elaboração própria.

Em relação às emissões per capita de gases de efeito estufa, o mês de maio de 2016 apresentou uma queda de 0,160881 kg CO₂ eq/hab.mês nas emissões de CO₂, de 0,000059 kg CO₂ eq/hab.mês nas emissões de CH₄ e de 0,000767 kg CO₂ eq/hab.mês nas emissões de N₂O em comparação a maio de 2015 (Figura 14). No total, isso representa uma queda de 0,161706 kg CO₂ eq/hab.mês.

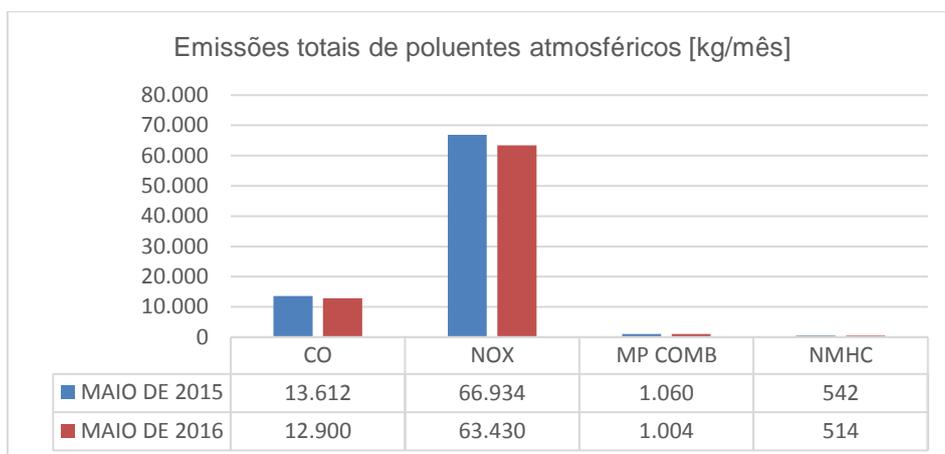


Figura 15 - Emissões totais de poluentes atmosféricos de maio de 2015 e maio de 2016, em kg/mês.

Fonte: Elaboração própria.

Em relação às emissões totais de poluentes atmosféricos, o mês de maio de 2016 apresentou uma queda de 713 kg/mês nas emissões de CO, de 3.504 kg/mês nas emissões de NO_x, de 55 kg/mês nas emissões de MP10 (combustão) e de 28 kg/mês nas emissões de HCNM, em comparação a maio de 2015 (Figura 15).

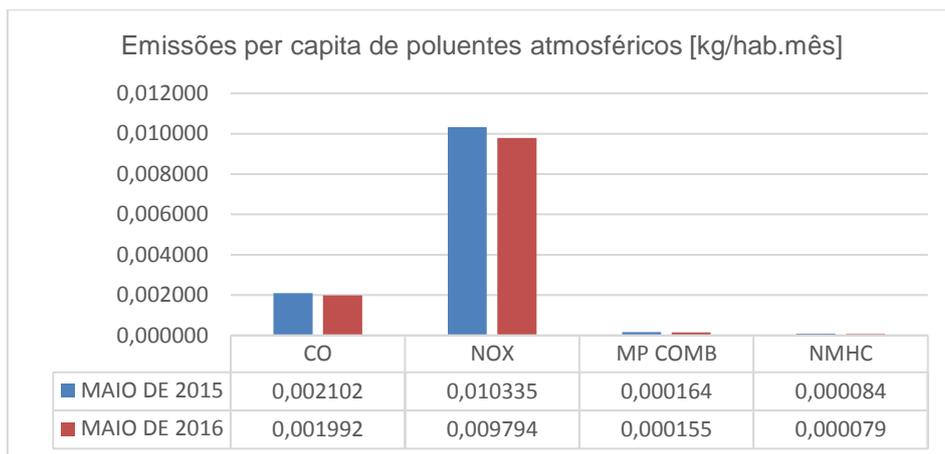


Figura 16 - Emissões per capita de poluentes atmosféricos de maio de 2015 e maio de 2016, em kg/hab.mês.

Fonte: Elaboração própria.

Em relação às emissões per capita de poluentes atmosféricos, o mês de maio de 2016 apresentou uma queda de 0,000110 kg/hab.mês nas emissões de CO, de 0,000541 kg/hab.mês nas emissões de NO_x, de 0,000009 kg/hab.mês nas emissões de MP10 (combustão) e de 0,000004 kg/hab.mês nas emissões de HCNM, em comparação a maio de 2015 (Figura 16).

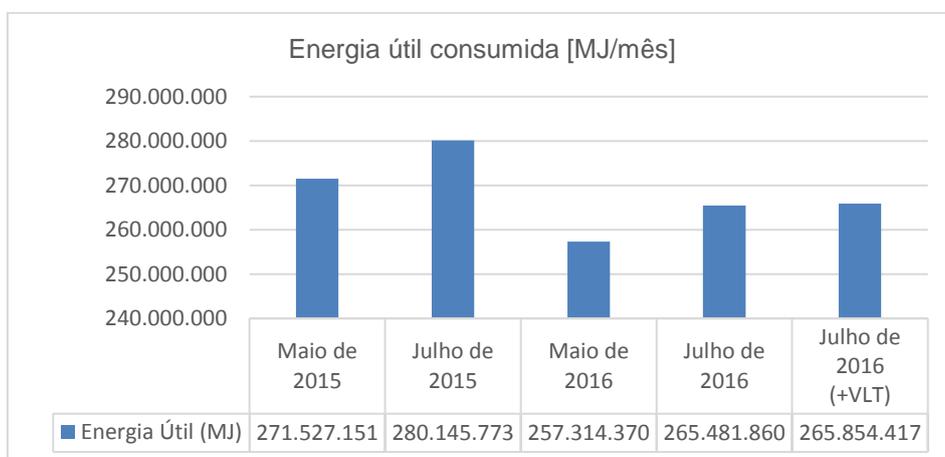


Figura 17 – Energia útil consumida na operação dos ônibus que passam pelo centro, em MJ/mês

Fonte: Elaboração própria.

Em relação à energia útil consumida na operação dos ônibus que passam pelo centro, o mês de maio de 2016 apresentou uma queda de 16.343.123 MJ/mês, em comparação a maio de 2015, o que representa uma queda de 5,23% (Figura 17). Em relação ao mês de julho de 2016, a queda foi de 14.663.913 MJ/mês (5,23%), em comparação a julho de 2015. A energia útil consumida pelo VLT é de 372.557 MJ/mês, um valor com uma ordem de grandeza 10³ menor do que o valor de energia dos ônibus. A energia útil total consumida é, então, de 265.854.417 MJ/mês.

5. Conclusão e recomendação

Segundo Keseru et al (2016), os valores dos impactos tendem a ser baixos se toda a área do projeto é considerada. Em avaliações quantitativas, projetos pequenos tendem a ter impactos pequenos então, a diferença será pequena porque a magnitude da mudança é também pequena. No caso deste estudo, a emissão per capita foi baixa por considerar toda a população da cidade do Rio de Janeiro.

Em relação aos gases de efeito estufa, as maiores emissões foram do CO₂ e em relação aos poluentes atmosféricos, as maiores emissões foram dos poluentes NO_x e CO. Apesar de não ter sido utilizada para comparação, a emissão de MP₁₀ por desgaste dos freios e pneus é a terceira mais alta entre as emissões de poluentes.

A queda nas emissões, por conta das mudanças nos cenários de mobilidade, é uma contribuição para o alcance das metas voluntárias nacionais e estaduais, no que se refere as emissões de gases de efeito estufa. Em relação aos padrões de qualidade do ar, a diminuição da emissão de poluentes atmosféricos locais, mesmo que em quantidade pequenas, pode representar uma melhoria na qualidade de vida dos residentes, especialmente estes estarem associados a riscos de doenças respiratórias.

A energia útil consumida está diretamente ligada ao consumo energético, que varia com a quantidade de passageiros e distância percorrida, fatores estes relacionados com a etapa de operação. Em relação às operações dos ônibus, um menor consumo de energia útil, quando proveniente de combustíveis fósseis, representa não apenas uma menor emissão de poluentes atmosféricos e gases de efeito estufa, mas também um menor consumo de energia primária de fonte fóssil.

Apesar do VLT consumir menos energia durante a operação do que os ônibus, a racionalização das linhas contribuiu mais para a redução da energia consumida. Isto porque, para os cálculos, foi considerada a energia consumida na rota total dos ônibus, não apenas os trechos do centro, enquanto, para o VLT, sua rota se limita apenas à área central da cidade. Além disso, como a distância percorrida no mês de julho de 2016 foi estimada a partir da tendência de outros meses, o valor da energia útil consumida total neste mês foi calculado apenas somando-se a energia consumida na operação dos ônibus e na do VLT. Isto é, não foi considerado que parte da demanda dos ônibus possa ter migrado para o VLT.

Uma limitação do estudo foi a ausência de análises de custos, focando apenas em uma análise socioambiental. Outra limitação foi a ausência de dados de operação de julho de 2016 e o dado do consumo energético do VLT, sendo necessário estimar estes valores. Além disso, a ausência de uma lista da frota de ônibus com e sem ar condicionado também é uma limitação, pois assim os resultados são menos representativos.

Como já observado, a maior contribuição foi da emissão de CO₂, sendo assim, a recomendação seria fazer uma avaliação da pegada de carbono, ampliando a análise que estava apenas focada no operacional para uma análise sistêmica. Outra recomendação seria a Análise de Ciclo de Vida, considerando tanto os VLTs provenientes de fabricação no exterior quanto os VLTs fabricados em território nacional.

Referências Bibliográficas

ABREU, M. de A., **Evolução Urbana do Rio de Janeiro**, 4ª ed, Rio de Janeiro, RJ, Instituto Pereira Passos, 2013.

ADEME, Efficacites energetique et environnementale des modes de transport, França, 2008. Disponível em: <<http://www.ademe.fr/efficacite-energetique-environnementale-modes-transport>>. Acesso em: 23 jul. 2016.

ALSTOM, CITADIS ECOPACK On-board autonomy for tramways, Urban Transit Catenary-free Solutions. França, 2014a. Disponível em: <<http://www.alstom.com/Global/Transport/Resources/Documents/brochure2014/Citadis%20Ecopack%20-%20Product%20Sheet%20-%20EN.pdf?epslanguage=en-GB>>. Acesso em: 11 jun. 2016.

ALSTOM, Memorial descritivo geral do veículo VLT, Relatório VLT1-1.0-D400-AMR-L000-ESP-0062-D0, Rio de Janeiro, 2014b.

BACHOK, S., PONRAHONO, Z., OSMAN, M. M., et al., “A preliminar study of sustainable transport indicators in Malaysia: the case study of Klang valley public transportation”, **Procedia Environmental Sciences**, v. 28, pp. 464–473, 2015.

BERNARDES, F. F., MESQUITA, A. P., “Veículos leves sobre trilhos no Brasil: Análise metodológica e estudo de caso – Fortaleza e Rio de Janeiro”, Uberlândia. [2014].

BIERMANN, F., STEVENS, C., BERNSTEIN, S., et al., Integrating Governance into the Sustainable Development Goals. POST/UNU-IAS Policy Brief #3. United Nations University Institute for the Advanced Study of Sustainability, Tokyo, 2014.

BRASIL, Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 3 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Presidência da República, Casa Civil, Brasília, 2001.

BRASIL, Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. Presidência da República, Casa Civil, Brasília, 2009.

BRASIL, Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Publicada no DOU, de 22 de agosto de 1990, seção 1, páginas 15937-15939. Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasília

CASTILLO, H., PITFIELD, D. E., “ELASTIC – A methodological framework for identifying and selecting sustainable transport indicators”, **Transport Research Part D**, v. 15, pp. 179–188, 2009.

CBTU, Relatório Anual de Administração, Companhia Brasileira de Trens Urbanos, Rio de Janeiro, RJ, 2015a. Disponível em: <<http://www.cbtu.gov.br/images/relatorios/administracao2015.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2016.

CBTU, Relatório de Gestão – Exercício de 2015, Companhia Brasileira de Trens Urbanos, Rio de Janeiro, RJ, 2015b. Disponível em: <<http://www.cbtu.gov.br/images/relatorios/gestao/gestao2015.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2016.

CCR, Estudo Preliminar e Provisório de Demanda para o Sistema de Veículo Leve sobre Trilhos na Região Portuária e Centro do Rio de Janeiro, Companhia de Concessões Rodoviárias, Rio de Janeiro, RJ, Brasil [2011]a. Disponível em: <http://www.portomaravilha.com.br/conteudo/estudos/estudo_de_demanda_preliminar_vlt_ccr.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2016.

CCR, Estudo Preliminar e Provisório de Implementação para o Sistema de Veículo Leve sobre Trilhos na Região Portuária e Centro do Rio de Janeiro, Companhia de Concessões Rodoviárias, Rio de Janeiro, RJ, Brasil [2011]b. Disponível em: <http://www.portomaravilha.com.br/conteudo/estudos/estudo_tecnico_preliminar_vlt_cr.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2016

CHAKHTOURA, C., POJANI, D., “Indicator-based evaluation of sustainable transport plans: A framework for Paris and other large cities”, **Transport Policy**, v. 50, pp. 15–28, 2016.

CGU, Transparência da Copa 2014 – Brasília, Controladoria-Geral da União. Disponível em: <<http://transparencia.gov.br/copa2014/cidades/tema.seam?tema=8&cidadeSede=2>>. Acesso em: 15 ago. 2016a.

CGU, Transparência da Copa 2014 – Cuiabá, Controladoria-Geral da União. Disponível em: <<http://transparencia.gov.br/copa2014/cidades/tema.seam?tema=8&cidadeSede=3>>. Acesso em: 15 ago. 2016b.

CGU, Transparência da Copa 2014 – Fortaleza, Controladoria-Geral da União. Disponível em: <<http://transparencia.gov.br/copa2014/cidades/tema.seam?tema=8&cidadeSede=5>>. Acesso em: 15 ago. 2016c.

CORAZZA, M. V., GUIDA, U., MUSSO, A., et al., 2015, “A European vision for more environmental friendly buses”, **Transportation Research Part D**, v. 45, pp. 48–63.

D'AGOSTO, M. de A., **Transporte, uso de energia e impactos ambientais – uma abordagem introdutória**. 1ª ed. Rio de Janeiro, Elsevier, 2015. ISBN 978-85-352-2821-2.

DAVIS, S. C., DIEGEL, S. W., BOUNDY, R. G., **Transportation Energy Data Book: Edition 28**. US Department of Energy. pp. Tabela 2.12. ORNL-6984 (Edição 28 do ORNL-5198). Disponível em: <<http://cta.ornl.gov/data/index.shtml>>. Acesso em: 16 abr. 2010.

DZIEKAN, K., “Evaluation of measures aimed at sustainable urban mobility in European cities — Case study CIVITAS MIMOSA”, **Procedia Social and Behavioral Sciences**, v. 48, pp. 3078–3092, 2012.

EMTU, Estudo de Impacto Ambiental da Implantação do SIM/VLT (Fase 2) Trecho Conselheiro Nébias - Valongo, v. 1, Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos – SP, Santos, 2015. Disponível em: <<http://www.emtu.sp.gov.br/ftp/EIA.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2016.

EPA, *A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions*, United States Environmental Protection Agency, EPA420-P-02-001, 2002.

GARAU, C., MASALA, F., PINNA, F., “Cagliari and smart urban mobility: Analysis and comparison”, **Cities**, v. 56, pp.35–46, 2016.

GERLACH, J., RICHTER, N., BECKER, U. J., “Mobility indicators put to test – German strategy for sustainable development needs to be revised”, **Transportation Research Procedia**, v. 14, pp. 973–982, 2016.

GUDMUNDSSON, H., SØRENSEN, C. H., “Some use—Little influence? On the roles of indicators in European sustainable transport policy”, **Ecological Indicators**, v. 35, pp. 43–51, 2012.

HAGHSHENAS, H., MANOUCHEHR, V., 2011, “Urban sustainable transportation indicators for global comparison”, **Ecological Indicators**, v. 15, pp. 115–121.

HOLDEN, E., LINNERUD, K., BANISTER, D., “Sustainable passenger transport: Back to Brundtland”, **Transportation Research Part A**, v. 54, pp. 67–77, 2013.

HOUGHTON, J. T., MEIRA FILHO, L. G., CALLANDER, B. A., HARRIS, N., et al., *Climate Change 1995: the science of climate change*. Cambridge University Press, Cambridge, 1996.

IBGE, Arranjos Populacionais e Concentrações Urbanas no Brasil, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, RJ, 2015. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv93202.pdf>>. Acesso em: 28 jun. 2016.

INAE, Relatório de Impacto Ambiental do VLT de Cuiabá – Várzea Grande, Livro 1, Instituto Naturae, Cuiabá, 2012. Disponível em: <<http://www.cuiaba2014.mt.gov.br/download.php?id=217041>>. Acesso em: 28 jun. 2016.

IPCC, Climate Change 2001: The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, HOUGHTON, J. T., DING, Y., GRIGGS, D.J., et al., Cambridge University Press, Cambridge, Grã-Bretanha e Nova Iorque, 2001. Disponível em: <http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/pdf/wg1_tar-front.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2016.

KESERU, I., BULCKAEN, J., MACHARIS, C., “Sustainable, Participatory and Practical: the NISTO evaluation framework for urban and regional mobility projects”, **Transportation Research Procedia**, v. 13, pp. 134–144, 2016.

LIMA, J. P., LIMA, R. da S., SILVA, A. N. R. da, “Evaluation and selection of alternatives for the promotion of sustainable urban mobility”, **Procedia Social and Behavioral Sciences**, v. 162, pp. 408–418, 2014.

MAROJA, A. de M., SANTOS, F. S., GARAVELLI, S. L., et al., “Veículo leve sobre trilhos: impacto ambiental acústico em Brasília – DF”, Brasília, [2013]

METROFOR, Viagens até Caucaia estão sendo feitas em VLTs. Companhia Cearense de Transportes Metropolitanos. 13 mar. 2012. Disponível em: <<http://www.metrofor.ce.gov.br/index.php/noticias/43828-viagens-ate-caucaia-estao-sendo-feitas-em-vlts>>. Acesso em: 19 jun. 2016.

MILLER, P., BARROS, A. G. de, KATTAN, L., et al., “Analyzing the sustainability performance of public transit”, **Transportation Research Part D**, v. 44, pp. 177–198, 2016.

MINISTÉRIO DAS CIDADES, Matriz de Responsabilidades (ANEXO A – Mobilidade Urbana), Brasília, [2012]. Disponível em: <http://www.copa2014.gov.br/sites/default/files/publicas/09282012_mudanca_matriz_vlt_brasilia1.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2016.

MMA, 2º Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários (Ano-base 2012), Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdmx/~edisp/inea0031540.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2016.

MOSKOWITZ, J.P., COHUAU, J.L., “STEEM: ALSTOM and RATP experience of supercapacitors in tramway operation”, França, [2009].

ODEBRECHT TRANSPORT, Mobilidade Urbana VLT Goiânia. Disponível em: <<http://www.odebrecht-transport.com/pt-br/atuacao/mobilidade-urbana/vlt-goiania>>. Acesso em: 19 jun. 2016.

OLIVEIRA, C. M. de, Aprimorando a sustentabilidade da logística por meio da gestão da operação do transporte de carga, Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2014.

OMS, Reducing Global Health Risks Through Mitigation of Short-Lived Climate Pollutants, Organização Mundial da Saúde, Genebra, 2015. ISBN 978-92-4-156508-0. Disponível em: <<http://www.who.int/phe/publications/climate-reducing-healthrisks/en/>>. Acesso em: 11 ago. 2016.

PAC, Empreendimento: EVTE e Projetos do VLT Recife – Trecho II (centro) e trecho III (sul). Programa de Aceleração do Crescimento. Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/obra/90361>>. Acesso em: 19 jun. 2016a.

PAC, Projeto do VLT Caucaia-Pecém. Programa de Aceleração do Crescimento. Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/obra/76530>>. Acesso em: 19 jun. 2016b.

PDTU, Pesquisa de Origem e Destino, Plano Diretor de Transporte Urbano. Região Metropolitana do Rio de Janeiro, [2003].

PORTAL DA COPA, Governo e prefeitura realizam simulação com VLT em Recife. Site do governo brasileiro sobre a Copa do Mundo. 19 jul. 2012. Disponível em: <<http://www.copa2014.gov.br/pt-br/noticia/governo-e-prefeitura-realizam-simulacao-com-vlt-de-recife>>. Acesso em: 19 jun. 2016.

PREFEITURA DO RECIFE, Prefeitura do Recife realiza passeio teste com Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) para ligar TIP ao Centro. 18 jul. 2012. Disponível em: <<http://www2.recife.pe.gov.br/noticias/18/07/2012/prefeitura-do-recife-realiza-passeio-teste-com-veiculo-leve-sobre-trilhos-vlt>>. Acesso em: 19 jun. 2016.

RIO DE JANEIRO, Lei nº 6.065, de 15 de abril de 2016. Estabelece penalidades aos usuários do Serviço Público de Transporte Coletivo por meio de Veículos Leves sobre Trilhos – SSPVLT nos casos que especifica e dá outras providências. Poder Executivo, Câmara Municipal do Rio de Janeiro, 2016.

RIO DE JANEIRO, Lei complementar nº 101, de 23 de novembro de 2009. Modifica o Plano Diretor, autoriza o Poder Executivo a instituir a Operação Urbana Consorciada da Região do Porto do Rio e dá outras providências. Poder Executivo, Câmara Municipal do Rio de Janeiro, 2009.

SANTOS, A. S., RIBEIRO, S. K., “The role of transport indicators to the improvement of local governance in Rio de Janeiro City: A contribution for the debate on sustainable future”, **Case Studies on Transport Policy**, v. 3, pp. 415–420, 2015.

SEINFRA, Mobilidade Urbana na Região Metropolitana de Fortaleza, Secretaria de Infraestrutura do Estado do Ceará, Fortaleza, [2015].

SMTR, Benefícios ao trânsito. Secretaria Municipal de Transportes, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/smtr/racionalizacao/beneficios>>. Acesso em: 12 jun. 2016a.

SMTR, FAQ Ônibus. Secretaria Municipal de Transportes, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/smtr/exibeconteudo?id=6254164>>. Acesso em: 10 jul. 2016b.

SMTR, FAQ Racionalização das linhas de ônibus da Zona Sul. Secretaria Municipal de Transportes, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/smtr/exibeconteudo?id=6254173>>. Acesso em: 10 jul. 2016c.

SMTR, FAQ VLT. Secretaria Municipal de Transportes, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/smtr/exibeconteudo?id=6254430>>. Acesso em: 10 jul. 2016d.

SMTR, Rio nos trilhos do VLT. Secretaria Municipal de Transportes, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/91241/4160902/COLETIVA_VLT_REVISADACETpublicar.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2016e.

SMTR, Novo Centro do Rio. Secretaria Municipal de Transportes, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.portomaravilha.com.br/conteudo/release/NOVO%20CENTRO%20PPT%20-%20Rio%20Branco.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2016f.

SMTR, Mudanças já realizadas nas linhas dos ônibus. Secretaria Municipal de Transportes, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/smtr/racionalizacao/vejamudancas>>. Acesso em: 12 jun. 2016g.

TCECE, Relatório de Fiscalização de Obras da Copa, Tribunal de Contas do Estado do Ceará, Fortaleza, 2011.

TRANFIELD, D., DENYER, D., SMART, P., “Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review”, **British Journal of Management**, v.14, pp. 207–222, 2003.

VUCHIC, V. R., “Rail Transit: Streetcars, Light rail, Rapid transit, and Regional rail”, In: **Urban Transit Systems and Technology**, 1. ed., cap. 6, Pennsylvania, John Wiley & Sons, 2007.

WAISMAN, J., “Veículos Leves sobre Trilhos (VLT) no Brasil: semelhanças e diferenças entre os projetos”, São Paulo, [2013]

WCED, Our Common Future, The Brundtland Report, World Commission on Environment and Development, Oxford, Oxford University Press, 1987. ISBN 019282080X. Documento A/42/427. Disponível em: <<https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N87/184/67/IMG/N8718467.pdf?OpenElement>>. Acesso 28 jun. 2016

ANEXO A

Nº	Emissão de GEE	Poluição do Ar	Poluição Sonora	Energia	Uso de Recursos	Uso e Ocupação do Solo	Outros
1	Climate change emissions	Other air pollution	Noise pollution	Use of clean energy and alternative fuels	Resource efficiency	Land use impacts	Water pollution
2	CO2 emissions	CO Level	Noise perception	Energy use	Recycling of used tires	Land consumption for transport	Daily individual consumption of public space for travelling and parking
3	CO2 Emissions	Nox Level	Population exposed to noise	Alternative and renewable energy consumption	Recycling of end-of-life vehicles	Space taken up by transport infrastructure	Risk of accidents
4	GHG emissions	Particulate levels	Noise levels	Fossil energy consumption by transport system	Resource use	Proximity of transport infrastructure to designated environmentally sensitive areas	Efficient vehicle
5	Annual energy consumption and CO2 emissions	CO emissions	Noise	Energy consumption	Other resource	Land consumption	Environment management
6	Air pollutants/GHG	Nox emissions	Noise exposure	Daily per capita energy consumption for passenger transport	-	Land take for transport	Transport facility environmental impact

Nº	Emissão de GEE	Poluição do Ar	Poluição Sonora	Energia	Uso de Recursos	Uso e Ocupação do Solo	Outros
7	Greenhouse gas emissions	Small particulate emissions	Noise pollution	Per capita energy consumption, by fuel and mode	-	Fragmentation of landscapes	Wild life
8	Climate change	CO Emissions	Noise	Energy consumption	-	Land consumption	Ecological impacts of right of way
9	CO2 emissions	Other air pollutants	-	Renewable energy type		Land area consumed by transit facilities	Habitat protection
10	CO2 emissions	Levels of CO, NOX, HC and particles	-	Energy consumption	-	-	-
11		Air quality	-	Quantity of energy consumed	-	-	-
12	-	Air quality	-	Quantity of fuel consumed energy	-	-	-
13	-	Emissions of local air pollutants, including maximum concentration of PM2.5	-	-	-	-	-

ANEXO B

Linhas criadas	Itinerário
112	Alto Gávea Rodoviária (via Túnel Rebouças)
218	Vila Isabel Candelária (circular)
508	Horto – Botafogo (via Jardim Botânico – circular)
517	Gávea (PUC) x Glória (via Fonte da Saudade circular)
Circular 1	Circular 1 Leblon x Cosme Velho (via Copacabana / Urca / Largo do Machado circular)
Circular 2	Leblon x Urca (via Jardim Botânico/Túnel Rebouças/Laranjeiras – circular)
Integrada 1	Alvorada Rio Sul (via Av. das Américas/Autoestrada LagoaBarra /Av. Atlântica)
Integrada 2	Alvorada Rio Sul (via Av. Lúcio Costa/ Av. Niemeyer/ Av. Atlântica)
Integrada 6	Cidade de Deus – General Osório (via Itanhangá)
Integrada 8	Recreio Rio Sul (via Av. das Américas/ Autoestrada LagoaBarra/ Av. Atlântica)
SP580	Largo do Machado Laranjeiras
SP Integrada 8	Barra Sul Rio Sul (via Av. das Américas/ Autoestrada LagoaBarra/ Av. Atlântica)
SP513	Urca x Botafogo Circular
SV 455	Méier Copacabana (via Túnel Rebouças circular)
Integrada 9	Piabas Rio Sul (via Est. Benvindo de Novaes/ Av. Niemeyer/ Av. Atlântica)
Troncal 1	Praça General Osório Central (via Av. N S de Copacabana/ Aterro)
Troncal 2	General Osório – Rodoviária (via Lapa)
Troncal 3	Central – Leblon (via Aterro/Av. N. S. de Copacabana circular)
Troncal 4	São Conrado – Rodoviária (via Av. N. S. de Copacabana/Aterro/Francisco Bicalho)
Troncal 5	Alto Gávea Central (via Praia de Botafogo / Praia do Flamengo / 1º de Março)
Troncal 6	Jardim de Alah Rodoviária (via Túnel Santa Bárbara)
Troncal 7	Central Cosme Velho (via Túnel Santa Bárbara)
Troncal 8	Cosme Velho Rodoviária (via Praça Mauá)
Troncal 9	São Conrado Central (via Jardim Botânico / Túnel Santa Bárbara)
Troncal 10	Jardim de Alah – Cruz Vermelha (via Jardim Botânico / Lapa)

Linhas modificadas	Itinerário
11	Rodoviária Novo Rio - Cinelândia
201	Santa Alexandrina - Castelo (via Lapa -circular)
213 (antiga 413)	Muda - Castelo (circular)
409	Saens Pena - Praia de Botafogo (via Lapa – circular)
410	Saens Pena - Gávea (via Túnel Santa Bárbara)
422	Grajaú - Largo do Machado (circular)
433	Vila Isabel- Prado Júnior (via Lapa- circular)
434	Grajaú x Siqueira Campos – via Lapa/Túnel Velho – circular
456	Norte Shopping - Siqueira Campos (via Túnel Santa Bárbara - circular)
457	Abolição - Siqueira Campos (via Túnel Santa Bárbara - circular)
464	Maracanã- Siqueira Campos (via Lapa- circular)
472	Triagem – Leme (via Túnel Velho)
473	São Januário - Siqueira Campos (via Túnel Rebouças – circular)
474	Jacaré - Copacabana (via Túnel Santa Bárbara)
275 (antiga 475)	Méier - Castelo (circular)
483	Penha - Siqueira Campos (via Túnel Santa Bárbara)
284 (antiga 484)	Olaria - Candelária (Circular)
485	Penha - Siqueira Campos (via Linha Vermelha/ Túnel Santa Bárbara)
486	Fundão - Siqueira Campos (via Túnel Santa Bárbara)
497	Penha - Laranjeiras (circular)
498	Circular da Penha - Largo do Machado
503	Alto Leblon – Gávea (circular)
509	Horto - General Osório (via Leblon – circular)
513	Urca x Fonte da Saudade (via Mena Barreto - circular)
548	Integrada 3 Alvorada- Metrô Botafogo (via Av das Américas/ Jardim Botânico- circular)
580	Largo do Machado - Cosme Velho

Linhas extintas

119 (Copacabana Candelária)

121 (Central Copacabana)

123 (Jardim de Alah Rodoviária)

125 (Central General Osório)

126 (Rodoviária – Copacabana via Túnel Santa Bárbara Circular)

127 (Rodoviária Copacabana)

128 (Rodoviária – Leblon via Copacabana Circular)

132 (Leblon Central)

136 (Rodoviária – Copacabana via Leopoldina Circular)

143 (Central x Gávea – via Praia do Flamengo/Jóquei)

154 (Ipanema – Central)

155 (Ipanema – Central via Túnel Santa Bárbara)

157 (Gávea Central via Lagoa/Leblon)

161 (Lapa Leblon – via Jóquei – Circular)

162 (Lapa Leblon – via Copacabana – Circular)

170 (Rodoviária Gávea Circular)

172 (Rodoviária Leblon via túnel Santa Bárbara/ circular)

173 (Rodoviária Leblon via Túnel santa Bárbara/Circular)

177 (São Conrado Candelária)

178 (São Conrado Rodoviária via Central)

180 (Cosme Velho Central via Largo do Machado)

183 (Laranjeiras Central via Túnel Santa Bárbara)

184 (Laranjeiras Central)

190 (Rodoviária Leme)

305 (Rodoviária Barra da Tijuca)

314 (Central Barra da Tijuca)

317 (Central Alvorada via Túnel Santa Bárbara)

318 (Barra Sul Castelo)

332 (Alvorada Castelo)

354 (Cidade de Deus Praça XV)

360 (Carioca Recreio)

382 (Carioca Piabas)
401 (Rio Comprido Praça São Salvador)
405 (Ramos Cosme Velho)
420 (Vila Isabel Praia de Botafogo)
421 (Vila Isabel Prado Júnior)
423 (Grajaú Real Grandeza)
425 (Grajaú Real Grandeza)
438 (Vila Isabel Leblon via Jóquei circular)
501 (Barra Gávea)
502 (Recreio Gávea)
504 (Piabas Gávea)
505 (Recreio Gávea)
511 (Urca – Leblon – via Joquéi – circular)
512 (Urca – Leblon – via Copacabana circular)
535 (Alvorada Leme)
569 (Largo do Machado – Leblon – via Jóquei circular)
570 (Largo do Machado – Leblon – via Copacabana circular)
573 (Glória – Leblon – via Jóquei circular)
574 (Glória – Leblon – via Copacabana circular)
957 (Maré Alvorada via Botafogo/ Av Sernambetiba)
