

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIA HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

**RAFAEL DE ARAUJO BARROS SILVA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE TRÊS MODAIS DE  
TRANSPORTE URBANO: TREM, ÔNIBUS E AUTOMÓVEL**

**SÃO PAULO  
2020**

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIA HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

**RAFAEL DE ARAUJO BARROS SILVA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE TRÊS MODAIS DE  
TRANSPORTE URBANO: TREM, ÔNIBUS E AUTOMÓVEL**

Trabalho de Graduação individual para a  
conclusão de curso de Bacharelado em  
Geografia pela Faculdade de Filosofia, Letras  
e Ciências Humanas da Universidade de São  
Paulo

Orientador: Prof. Dr. Luis Antonio Bittar  
Venturi

**SÃO PAULO  
2020**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao prof. Luis Bittar, meu orientador, pela boa instrução e por manter-se solícito durante todo o processo de elaboração deste trabalho.

Sou grato também aos amigos e familiares, cujo apoio e compreensão, em certos momentos, foram cruciais para me dar forças para terminar este trabalho.

## RESUMO

A demanda mundial por energia vem crescendo dia a dia, junto a ela, cresce, também, as tensões políticas e ambientais inerentes ao tema. Discute-se as formas de mitigar esse cenário. Dentre os campos de maior destaque está o da eficiência energética, que busca diminuir o desperdício de energia. O presente trabalho se debruça sobre a eficiência energética no setor dos transportes, que é junto ao setor industrial o maior consumidor de energia. Será realizada uma análise comparativa dos três modais de transporte de passageiros mais utilizados na cidade de São Paulo: automóvel, ônibus e trem. Sob a orientação da análise geográfica integrada, compreenderemos a eficiência energética desses modais, a partir do número de passageiros, a energia gasta e as perdas energéticas intrínsecas a cada modal. A análise criteriosa das perdas, nos seus aspectos humanos e técnicos, é a melhor forma de compreender a eficiência energética de um sistema. Como o esperado, o transporte público será mais eficiente que o individual, mas, dada a nossa metodologia, chegamos a uma análise comparativa dos modais, com valores quantitativos e qualitativos, podendo apontar perdas quantificáveis e não quantificáveis, sendo possível até estipular qual momento os modais se tornam mais eficientes.

**Palavras-chave:** Análise Comparativa. Eficiência Energética. Transporte Urbano.

## **ABSTRACT**

The world demand for energy has been growing day by day, along with it, the political and environmental tensions inherent to the theme also grow. Ways to mitigate this scenario are discussed. Among the most prominent fields is that of energy efficiency, which seeks to reduce energy waste. The present academic work focuses on energy efficiency in the transport sector, which in conjunction with the industrial sector are the largest consumers of energy. A comparative analysis will be carried out of the three most used passenger transport modals in the city of São Paulo: automobile, bus and train. Under the guidance of integrated geographic analysis, we will understand the energy efficiency of these modals, based on the number of passengers, the energy spent and the energy losses intrinsic to each modal. The careful analysis of losses, in their human and technical aspects, is the best way to understand the energy efficiency of a system. As expected, the public transport will be more efficient than individual transport, but, accompanied by our methodology, we come to a comparative analysis of the modals, with quantitative and qualitative values, being able to point out quantifiable and non-quantifiable losses, being even possible to stipulate when the modals become more efficient.

**Keywords:** Comparative Analysis, Energy Efficiency, Urban Transport

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Área da pesquisa em contraste com a Mancha Urbana da RMSP.....	17
Figura 2: Densidade de Viagens Motorizadas RMSP.....	17
Figura 3: Concentração dos empregos no município de São Paulo.....	18
Figura 4: Foto Marginal Pinheiros em paralelo com linha 9 da CPTM.....	19
Figura 5: Divisão zonal de operação da Sptrans.....	21
Figura 6: Registro do começo da obra da Marginal Pinheiros em 1954.....	24
Figura 7: Características básicas Linha – Esmeralda.....	25
Figura 8: Estações com maior número de passageiros embarcados CPTM.....	27
Figura 9: Dimensões da mobilidade Urbana Sustentável.....	30
Figura 10: Foto de divulgação sítio Chevrolet.....	35
Figura 11: Foto do Ônibus tipo Padron.....	37
Figura 12: Trem série 7000.....	38
Figura 13: CO <sub>2</sub> eq Segundo IPCC.....	40
Figura 14: Mapa do sistema metroferroviário da RMSP.....	49
Figura 15: Reclamação do passageiro da CPTM.....	51
Figura 16: Perdas intrínsecas a automóveis.....	52
Figura 17: Ocupação dos carros, em via pública.....	55
Figura 18: Espaço viário ocupado por 48 passageiros transportados por automóveis.....	56
Figura 19: Espaço viário ocupado por 48 passageiros transportados por ônibus.....	56
Figura 20: Espaço ocupado por 48 passageiros em um vagão, transportados por trem.....	57
Figura 21: Consumo médio em relação à velocidade.....	63
Figura 22: Distância de parada do automóvel, com relação a sua velocidade.....	65
Figura 23: Melhoria da fluidez durante a redução de velocidade na Marginal Pinheiros.....	65
Figura 24: Trajeto da faixa exclusiva de ônibus, na nossa área de estudo.....	67
Figura 25: Mapa da rota 37G durante o horário de Pico da manhã.....	70
Figura 26: Mapa da rota 37G durante o horário de Pico da tarde.....	71
Figura 27: Mapa da rota 38G durante o horário de Pico da manhã.....	71
Figura 28: Mapa da rota 38G durante o horário de Pico da tarde.....	72
Figura 29: Número de passageiros embarcados na linha 9 - Esmeralda, entre março e novembro de 2019.....	77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Média Diária de Passageiros Transportados nas estações envolvidas no trecho da pesquisa.....	26
Tabela 2: Características técnicas do Onix.....	36
Tabela 3: Características técnicas ônibus Padron.....	38
Tabela 4: Características técnicas trem série 7000.....	39
Tabela 5: Comparação do tempo de percurso dos modais em diferentes situações.....	61
Tabela 6: Dados do Ponto 1 Rota 37G.....	72
Tabela 7: Dados do Ponto 2 Rota 37G.....	73
Tabela 8: Dados do Ponto 3 Rota 37G.....	73
Tabela 9: Dados de tempo de percurso e retardamento da Rota 37G.....	73
Tabela 10: Dados de tempo de percurso e retardamento dos pontos da Rota 37G.....	74
Tabela 11: Dados de tempo de percurso e retardamento dos pontos da Rota 37G.....	74
Tabela 12: Dados do Ponto 1 Rota 38G.....	74
Tabela 13: Dados do Ponto 2 Rota 38G.....	75
Tabela 14: Dados de tempo de percurso e retardamento da Rota 38G.....	75
Tabela 15: Dados de tempo de percurso e retardamento dos pontos da Rota 38G.....	75
Tabela 16: Comparação de agressividade do motorista Paulistano com o motorista Lisboaeta.....	78
Tabela 17: Perdas energéticas quantificáveis.....	84
Tabela 18: Perdas energéticas não quantificáveis.....	84
Tabela 19: Comparação de emissões.....	86

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ANP	Agência Nacional de Petróleo e Gás
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
ATO	Automatic Train Operation
BEN	Balanço Energético Nacional
CET	Companhia de Engenharia de Tráfego
CPTM	Companhia Paulista de Trens Metropolitanos
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DETRAN	Departamento Estadual de Trânsito
EPE	Empresa de Pesquisa Energéticas
FEPASA	Ferrovias Paulista S. A.
GEE	Gases de Efeito Estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICCT	The International Council On Clean Transportation
IEA	International Energy Agency
MCI	Motores de Combustão Interna
PEB	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PBEV	Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular
PMQC	Programa de Monitoramento da Qualidade dos Combustíveis
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SPTRANS	São Paulo Transporte S/A
TEP	Tonelada Equivalente de Petróleo



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>16</b>
2.1 BREVE HISTÓRICO DA MARGINAL PINHEIROS.....	19
2.2 BREVE HISTÓRICO LINHA 9 CPTM.....	22
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>28</b>
3.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	28
3.2 MOBILIDADE URBANA.....	29
<b>4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>31</b>
4.1 Procedimentos Técnicos Operacionais.....	32
<b>5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS VEÍCULOS.....</b>	<b>35</b>
5.1 CARRO.....	35
5.2 ÔNIBUS.....	36
5.3 TREM.....	38
<b>6. RESULTADOS DAS ANÁLISES COMPARATIVAS.....</b>	<b>41</b>
6.1 NÚMERO DE PASSAGEIROS.....	41
6.1.1 Número de veículos.....	41
6.2 Consumo de energias.....	42
6.2.1 Consumo total por modal.....	43
6.2.2 Consumo per capita.....	44
6.2.3 Consumo de combustível.....	46
6.2.4 Consumo de energia elétrica.....	48
6.3 Perdas Energéticas.....	48
6.3.1 Projeto deficiente.....	48
6.3.1.1 Comparação das dimensões.....	53
6.3.2 Operação ineficiente.....	61
6.3.2.1 Velocidade.....	61
6.3.2.3 Faixa e corredor de ônibus.....	65
6.3.2.4 Qualidade do combustível.....	66

6.3.2.5 Passageiros transportados.....	67
6.3.2.6 Variação dos usos.....	68
6.3.2.7 Condução dos veículos.....	76
<b>7. CONCLUSÕES.....</b>	<b>80</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>86</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A geração e o consumo de energia é um assunto de extrema relevância na sociedade moderna, tendo a demanda mundial de energia em 2016 atingido 13.729 Mtep (IEA, 2016). A questão energética está diretamente ligada ao uso dos recursos naturais, já que são alguns desses recursos que geram tal energia e a sua exploração acarreta diversos problemas ambientais, como alterações do meio e poluição. Além dos problemas ambientais temos tensões políticas envolvidas. A energia é um dos principais insumos da indústria e da vida moderna, mas os recursos para a sua geração não estão distribuídos de forma homogênea no globo, o que gera tensões geopolíticas. Essa questão é tão fundamental que se tornou política de Estado para os EUA, tendo papel central no jogo de poder internacional, como ressalta Porto-Gonçalves (2008, p. 332): “Afim, a questão energética é, nos Estados Unidos, aliás, como deveria ser em qualquer país do mundo, uma questão de Estado e não de governo e, na conformação dos blocos de poder o setor energético cumpre, por isso mesmo, um papel central.”

A produção energética no mundo é baseada no consumo de combustíveis fósseis, correspondendo a cerca de 80% da matriz energética mundial, os demais 20% são divididos entre a biomassa, energia nuclear, energia hidroelétrica e uma menor parte de outras energias de fontes renováveis como eólica e solar, que fica em torno de 1%(IEA, 2016). No Brasil, a matriz energética apresenta uma configuração diferente, em que a importância do combustível fóssil cai para cerca de 55%, seguido de biomassa com 17%, energia hidráulica com 12% e outras fontes em menor grau(BEN 2018).

O crescimento econômico e populacional ainda é uma tendência para as próximas décadas, isso sem contarmos que dos 7,6 bilhões de pessoas existentes no mundo mais de 1 bilhão não têm acesso à energia e que as mudanças climáticas previstas aumentaram a procura por aquecimento e refrigeração (em 2018 foi responsável por um quinto do aumento de demanda de energia). Então, a demanda por energia tende a crescer ainda mais nas próximas décadas. Nesse quadro, o aprimoramento na eficiência energética é fundamental para mitigar os problemas relacionados nesse contexto. Junto ao setor industrial, o setor de transporte é o maior consumidor de energia do mundo, sendo também o setor com maior potencial de melhoria na eficiência energética.

Vivemos em uma realidade em que 54% da população mundial mora nas cidades(ONU). Esse ambiente urbano tem como característica diversos problemas ambientais, alguns deles decorrentes da maior demanda de energia e da mobilidade urbana. No Brasil, a população urbana ultrapassou a população rural em meados dos anos 1960 e hoje chega a 84% (IBGE). Esse vertiginoso aumento da população urbana brasileira se deu a partir dos anos 1950 e ocorreu sem o devido planejamento urbano, causando um grave problema de mobilidade urbana, embora esses dois fatores não sejam diretamente proporcionais (assim como o aumento de degradações ambientais), caso sejam empregadas as devidas políticas de controle ambiental, de eficiência energética e desenvolvimento do transporte público eficiente.

Esse, infelizmente, não é o caso da RMSP (Região Metropolitana de São Paulo), uma das regiões metropolitanas mais populosas do mundo, com aproximadamente 21,6 milhões de habitantes, quase metade da população do estado de São Paulo, com uma densidade populacional de 2.714,41 hab/Km<sup>2</sup>, cujo problema de mobilidade, demanda energética e poluição estão associados ao estímulo do transporte individual e o lento desenvolvimento do transporte coletivo. A cidade mais importante da RMSP é a cidade de São Paulo e, neste século, a frota de automóveis paulistana aumentou em 93%, enquanto a frota de ônibus teve um acréscimo de apenas 66% (DENATRAN) e a de trens e metrô 48%(RELATÓRIO ADMINISTRATIVO CPTM, 2018; INFRAESTRUTURA METRO, 2019), aumentando mais a discrepância entre o número desses modais. Esse quadro resulta em um agravamento da mobilidade e da poluição advinda do transporte, denotando um contexto social de ineficiência energética, já que a eficiência energética não depende somente dos tipos de combustíveis utilizados, mas também dos modais.

Em geral, o sistema de transporte consome cerca de um terço de toda a energia gerada e mais da metade dos derivados de petróleo no Brasil (BEN 2018). O mesmo estudo aponta que esse foi o setor com maior aumento de demanda de energia em 2017, com 2,3%. O setor é o segundo maior consumidor de energia no Brasil, consumindo 32,7% da energia gerada e mantendo esse crescimento de consumo, passará nos próximos anos a ser o maior consumidor de energia no país, já que a indústria que hoje consome 32,9%. Cresceu o seu consumo em 1% em 2017, menos da metade do crescimento do setor de transportes. Esse crescimento de 2,3% é o maior entre todos os setores consumidores de energia no país, embora o relatório [r]evolução (2013) aponte que o setor de transporte tenha o maior potencial

de redução da demanda energética, redução de 61%, com medidas de eficiência energética. A RMSF consumiu em 2018 16.952.931 tep de energia, sendo 8.502.588 tep em derivados de petróleo, 39,7% do consumo do Estado de SP e 52.580.669.898 kWh de energia, que corresponde a 39,8% da energia elétrica consumida no estado de São Paulo.

O conceito de eficiência energética, sob a ótica da física (mecânica), foca apenas na energia gasta para se realizar um trabalho, sendo mais eficiente o sistema que realizar o mesmo trabalho com menos energia ou o combustível capaz de gerar mais trabalho com menor perda energética. Na análise geográfica, contudo, é necessário abordar a eficiência de forma mais ampla, abrangendo não só os sistemas (motores e combustíveis, por exemplo), mas o seu projeto, a forma de uso e a qualidade da manutenção. Vias congestionadas com automóveis levando apenas o condutor configura um quadro de ineficiência energética social, decorrente tanto do projeto (que priorizou o transporte individual) como do uso.

A perspectiva deste trabalho é realizar uma análise da eficiência energética de três modais de transporte urbano de passageiros: o trem metropolitano, o transporte coletivo sobre rodas (ônibus) e o transporte individual de passageiros.

A área estudada foi um trecho onde correm paralelamente a via rodoviária e a férrea, onde circulam diariamente mais de um milhão de pessoas pelos três modais, trata-se da Marginal Pinheiros na cidade, no qual seguem paralelas a linha 9 da CPTM (Companhia paulista de Trens Metropolitanos), a via marginal Pinheiros e avenida das nações unidas, com um recorte específico entre as estações Ceasa e Socorro da CPTM, intervalo com 18,3 Km de distância.

Em termos gerais, a pesquisa foi orientada pela análise geográfica integrada, na qual o fenômeno estudado será compreendido a partir da integração de diferentes variáveis, situadas no tempo e no espaço. Especificamente, a análise será comparativa, pois as mesmas variáveis serão comparadas entre os três modais.

Sendo a eficiência energética uma variável teórica (VOLPATO, 2011), sua análise foi apoiada por três variáveis operacionais ou indicadores: o número de passageiros transportados, a energia gasta em cada passageiro transportado em cada modal e as perdas energéticas intrínsecas a cada modal.

Em relação ao número de passageiros transportados, a estimativa foi feita de dois modos: no transporte público os dados foram levantados junto às empresas responsáveis (CPTM e empresas de ônibus que circulam no trecho escolhido); no que

diz respeito aos passageiros transportados pelos automóveis, utilizamos a capacidade do modelo selecionado. A variável que relaciona a energia gasta por passageiro transportado foi analisada pelos dados técnicos dos modais. Utilizamos a unidade de energia TEP (Tonelada Equivalente de Petróleo) como medida da energia gasta por modal. Foram feitas então as conversões necessárias dos resultados dos diferentes motores estudados (motores elétricos e a combustão)

Para caracterizar as perdas energéticas intrínsecas aos sistemas analisados usamos a sugestão de Nogueira (2007), que classifica as perdas em três grupos: projeto deficiente, operação ineficiente e manutenção inadequada. Quanto ao projeto serão considerados os seguintes indicadores: a) prioridade de cada modal no sistema de transporte; b) Se atende suficientemente a demanda e c) análise de possíveis escolhas tecnologias menos eficientes de cada modal.

Em relação à operação, foram observadas as formas de uso (operação do sistema e operação de cada modal), foram verificadas as variações nos fluxos em dias e horários de maior demanda (picos) e de menor demanda (vales), assim como o número médio de passageiros transportado por unidade (automóvel, ônibus ou vagon), também procuramos compreender o papel dos motoristas e condutores na eficiência energética e cada modal.

Outra variável importante que pode afetar a eficiência energética, segundo Nogueira (2007), refere-se à manutenção dos sistemas, tanto dos modais em si quanto das vias. Uma via em más condições não permite que os automóveis desenvolvam - velocidade constante – afetando o seu desempenho energético. Contudo, essa variável será considerada apenas como complementar nas reflexões finais, já que o seu estudo implicaria na análise de dados, os quais dificilmente teríamos acesso, dada a escala de análise.

Já partimos da premissa que o transporte sobre trilhos é, em princípio, mais eficiente que os demais. O diferencial, nesta análise, advém do fato de que a eficiência será analisada não apenas pelo gasto energético por passageiro, mas também sob uma perspectiva social, pois serão consideradas as dimensões do projeto e da operação e em menor escala a manutenção dos modais. Observamos também em que ponto um modal passa a ser mais eficiente que o outro. Outro ponto relevante é que o transporte público sempre será mais eficiente do que o transporte individual, mesmo sendo implementadas novas tecnologias no transporte individual, como motores elétricos ou autonomia nesses veículos.

O trabalho seguirá com a caracterização da área de pesquisa, em seguida, a fundamentação teórica e a explanação da metodologia utilizada. Partiremos então para a caracterização dos modais estudados, entrando então na análise comparativa, com foco nas variáveis operacionais, número de passageiros, energia gasta e perdas energéticas. Por fim, teremos a conclusão da pesquisa, com as reflexões finais e considerações sobre as emissões de poluentes relacionadas a cada modal.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O local selecionado para a pesquisa foi um trecho da Marginal Pinheiros, na cidade de São Paulo. Tal via corre em paralelo com a via férrea da linha 9-Esmeralda da CPTM, Figura 4, precisamente, um trecho de 18,3Km dessa via, entre as estações Ceasa e Socorro. A marginal do rio Pinheiros é uma das principais vias da capital paulista, assim como a linha 9 da CPTM é uma das mais movimentadas da RMSP (Figura 2). Ambas são fundamentais para o transporte de passageiros entre as regiões Sul e Centro da capital, tal como, essencial ligação para as regiões Oeste e Sudoeste da RMSP, com a capital. Os trens da CPTM têm os seus principais transferidos na estação Osasco, com transferência para Linha 8 da CPTM, na estação Pinheiros, ponto que recebe passageiros do terminal rodoviário e da linha 4 do metro, estação Santo Amaro, com ligação com a linha 5 do metro e a estação Grajaú, onde se encontra um movimentado terminal rodoviário da zona Sul.

Na via Marginal Pinheiros, temos um movimentado terminal rodoviário em Pinheiros, além de diversas ligações com vias importantes da capital e com outras regiões da RMSP: Rodovia Castelo Branco; Marginal Tietê; Avenida Jaguaré; Av. Rebouças; Av. Prof. Francisco Morato – Rod. Regis Bittencourt; Rod. Raposo Tavares; Av. Cidade Jardim – Av. 9 de Julho; Av. Juscelino Kubitschek; Av. dos Bandeirantes – Rod. dos Imigrantes/Rod. Anchieta; Av. Roque Petroni Jr.; Av. João Dias; Av. Washington Luís; Av. Guarapiranga; Av. Guido Caloi e Av. Interlagos.

Por dia, centenas de milhares de pessoas circulam nas vias da Marginal Pinheiros e linha 9 da CPTM, por motivo de: trabalho, educação, compras, lazer, dentre outros motivos. Dentre todas essas razões, o trabalho é o qual se necessita de maior intensidade de viagens, com 44% (OD, 2017). No caso da capital, esses empregos se concentram na região central, como podemos ver na Figura 3. Já na Figura 2 podemos observar a densidade de viagens motorizadas na RMSP e podemos notar como a intensidade de viagens é maior no centro, radiando para a zona sudoeste, de encontro à Marginal Pinheiros.

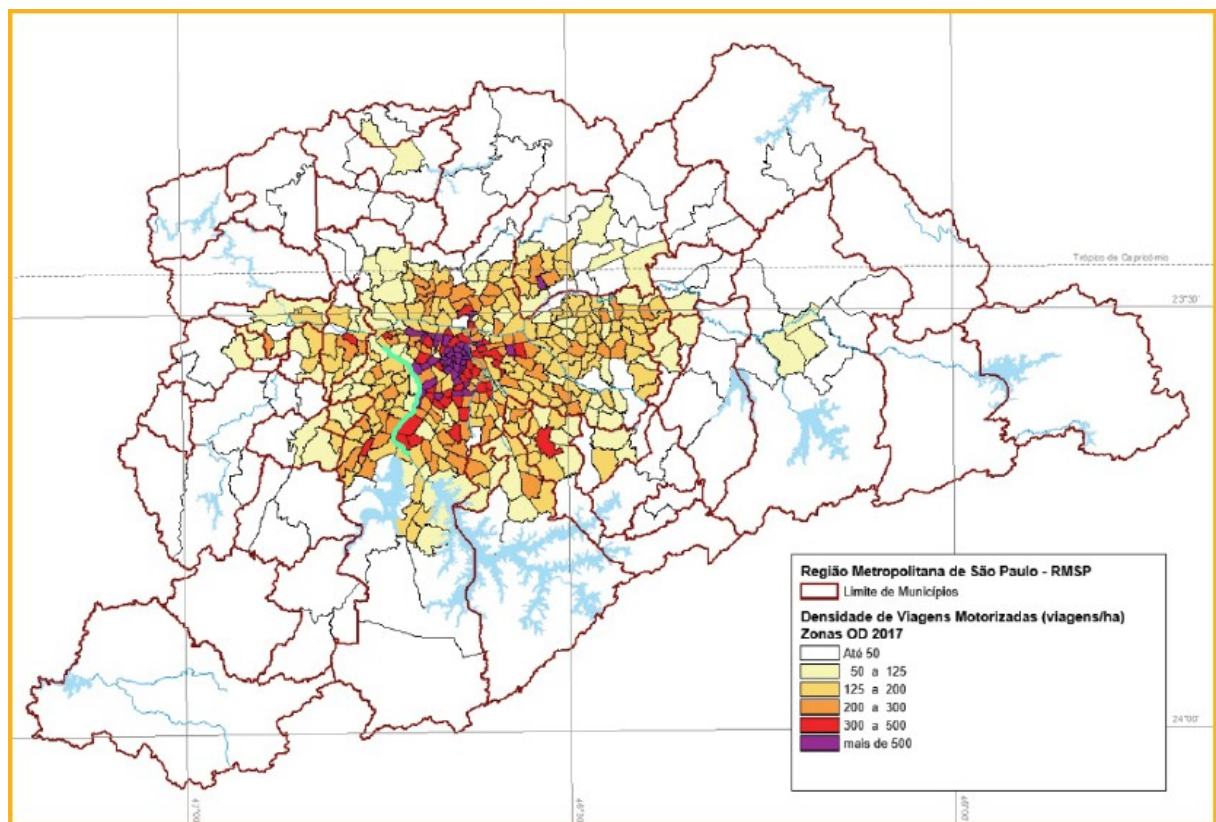


Figura 1: Área da pesquisa em contraste com a Mancha Urbana da RMSP



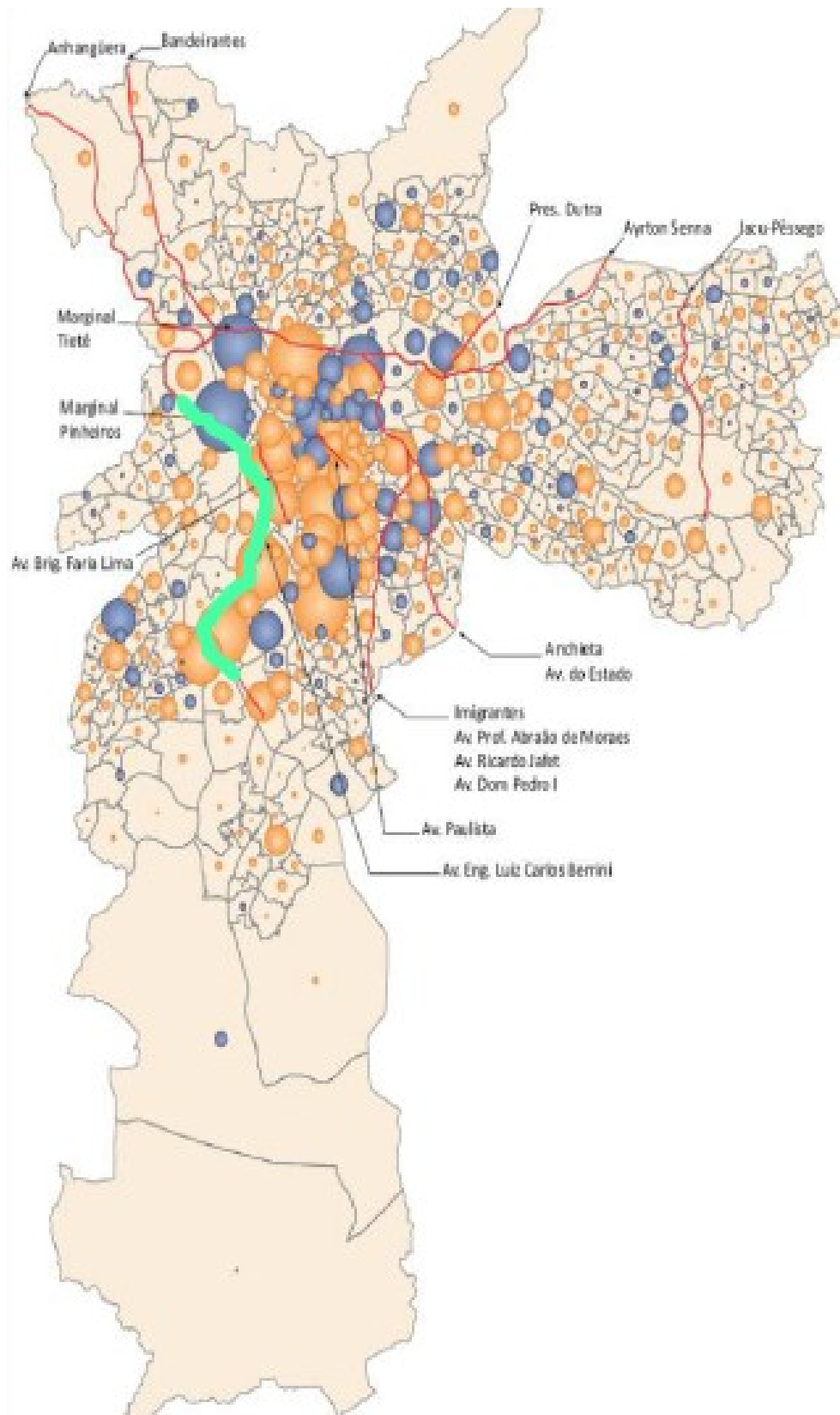
Fonte: Adaptado de Google Earth (2020)

Figura 2: Densidade de Viagens Motorizadas RMSP



Fonte: OD (2017)

Figura 3: Concentração dos empregos no município de São Paulo



Fonte: PlanMob (2015)

Nas Figuras 2 e 3, foram destacados em verde a área da pesquisa, notamos então, que essa área localiza-se em alguns pontos de maior intensidade de atividades e viagens da RMSP. Eles ficam a margem leste do rio Pinheiros, a se destacar de norte a sul, a estação Pinheiros, por concentrar o traslado de 3 modais, a seguir a região da Av. Faria Lima, paralela à Marginal Pinheiros. Entre as estações Vila Olímpia e Morumbi vemos a maior continuidade de mais intensidade de viagens e atividades comerciais. Nessa região temos um importante polo comercial da cidade, a se destacar pela Av. Engenheiro Luís Carlos Berrini e, por último, destaca-se a região próxima à estação Santo Amaro, traslado de trem e metrô e uma área também com relevância comercial.

Figura 4: Foto Marginal Pinheiros em paralelo com linha 9 da CPTM



Fonte: <https://www.correioindependente.com.br/atencao-motociclistas-proibicao-demotos-na-pista-expressa-da-marginal-pinheiros-nesta-segunda-20-de-maio/> (2020)

## 2.1 BREVE HISTÓRICO DA MARGINAL PINHEIROS

Existiram projetos de diversas naturezas, desde meados da década de 20 do século passado, pensando nas construções a margem do rio Pinheiros, rio que, aliás, chamava-se em outrora rio Jurubatuba, mas, só a partir de 1950 existiu uma tendência política nas esferas federal, estadual e municipal para o fomento do uso do automóvel, aumentando consideravelmente a oferta desses veículos, o que deman-



dou uma grande ampliação e reestruturação da malha viária das grandes cidades. Essa tendência política está alinhada aos interesses supranacionais:

No Brasil moderno pós-64, conjugam-se, como a mão e a luva, as exigências de inserção em nova ordem econômica mundial que se desenha e as necessidades internas de um Estado autoritário. A integração dos transportes e das comunicações, rapidamente modernizados, necessária à visão panóptica do território, é, igualmente, condição material para a difusão, além das regiões centrais mais desenvolvidas, de atividades industriais e agrícolas altamente capitalistas (SANTOS, 1993, p. 99).

Na cidade de São Paulo entre 1960 e 1980 ocorreu uma grande transformação na malha viária paulistana, a criação da via marginal Pinheiros foi uma delas. Segundo Vasconcelos (1999), nesse período aconteceu o que o autor chama de “cirurgia urbana”, com a ampliação e a construção das principais vias da cidade, onde foram construídos 867,5 Km de faixas de tráfego interrompido (vias arteriais), correspondendo a um acréscimo de cerca de 2,6 milhões de metros quadrados e 618,70 Km de faixas expressas, com cerca de 2,23 milhões de metros quadrados.

Com uma frota de 8.137.878 automóveis, 965.112 motocicletas (DENATRAN, 2019) e 14.048 ônibus (SPTRANS, 2018), os engarrafamentos na cidade de São Paulo foram crescendo ano a ano, e algumas medidas foram sendo tomadas para mitigar esse problema. Desde 1996, a prefeitura implantou o sistema de rodízio para amenizar o problema crescente do trânsito no município, a partir de então, diversas medidas paliativas vêm sendo tomadas, como a de restrição de áreas de estacionamento através da zona Azul e restrição da circulação de caminhões, em particular na marginal Pinheiros, a utilização dos caminhões no sentido centro-sul, que era em direção à av. dos Bandeirantes, no intuito de alcançarem a rod. Anchieta. Com a criação do Rodoanel Mario Covas, o tráfego desses caminhões foi desviado.

Uma outra medida que vem sendo tomada há décadas e intensificada nos últimos anos é a criação de corredores e faixas exclusivas para ônibus. O primeiro vem com um trabalho paulatino há décadas, sendo construída em 1980, na Av. Paes de Barros, chegando hoje com 132 Km. Já as faixas exclusivas, embora as suas primeiras amostras datem da década de 1970, o seu número era tímido até 2013, quando ela se torna prioridade, sendo nesse ano inauguradas 320 Km de faixas exclusivas. Hoje, esse número é de 500 Km e junto com os corredores, eles ocupam 3,5% dos mais de 18.000 Km do sistema viário da capital.

A Sptrans estrutura o transporte público sobre rodas na cidade de São Paulo, dividindo o seu território em nove Zonas administrativas: Zona Sul; Zona Sudoeste;

Zona Sudeste; Zona Oeste; Zona Central; Zona Leste; Zona Noroeste; Zona Nordeste; Zona Norte. Ao todo circulam 1.340 linhas de ônibus da cidade. A frota de ônibus dessas empresas são compostas por mais de 14.048 veículos, que são divididos em oito tipos diferentes de ônibus (Miniônibus, midiônibus, Básico, Padron, Padron-15m, Articulado, Articulado-23m e Biarticulado). Aproximadamente 99% dessa frota é composta por ônibus a diesel, 1% é dividido em 10 veículos movidos a etanos, 201 trólebus e 15 ônibus elétricos a bateria, ainda com restrições operacionais (SP-TRANS, 2019). Os trólebus entram em operação em 1949, em substituição aos antigos bondes.

Figura 5: Divisão zonal de operação da Sptrans



Fonte: Sptrans (2017)

Na nossa área de pesquisa, durante a via Marginal Pinheiros, circulam 68 linhas de ônibus, sendo 16 linhas da área oeste, 15 linhas da área Sul, 29 da área Sudoeste e 8 linhas intermunicipais. As linhas municipais são operadas por 12 empresas, já as linhas intermunicipais de 2 empresas operando. Ao longo da via, são encontrados oito postos de gasolina. 30 pontos de ônibus estão alocados nos 18,3 Km da pesquisa e um terminal rodoviário em Pinheiros. Esse terminal atende a

41 linhas de ônibus<sup>1</sup>. Em 2017 tinham uma média de 123 ônibus circulando por hora, terminal que foi projetado para atender 80 mil passageiros por dia (MARTIN, 2017, p. 54)

## 2.2 BREVE HISTÓRICO LINHA 9 CPTM

A Linha 9 – Esmeralda da CPTM tem 30,2 Km, de um total de 374 Km de extensão da malha metroferroviária da RMSP, trata-se de um antigo ramal da extinta Estrada Sorocabana. O início da construção da estrada de ferro Sorocabana ocorre em 1872 e surge da fusão de duas empresas privadas - a companhia Ituana e Companhia Sorocaba. Em 1876, inaugura-se uma pequena estação no bairro da Luz e o seu trecho inicial de 129 Km, ligando São Paulo a Sorocaba. Devido às dívidas contraídas numa ambiciosa expansão que alcançou o Paraná e o Mato grosso, a estrada Sorocabana passa para a mão do Estado, primeiro para o governo federal em 1904 e, em seguida, em 1905, o governo de São Paulo adquire esse acervo. Entre 1907 e 1917 a estrada de ferro Sorocabana é administrada por um consórcio Franco-americano, no entanto, após esse período, volta ao controle do governo estadual.

A estatal acaba com o monopólio da São Paulo Railway, construindo uma segunda ligação da capital ao porto de Santos e, após a segunda guerra, o governo faz fortes investimentos, expandindo, de maneira considerável, a malha ferroviária. A estrada de Ferro Sorocaba se tornou peça fundamental no entroncamento entre outras ferrovias no estado e até na ligação com outros países, como Argentina, Paraguai e Uruguai, chegando a 2.181 Km de extensão. Entre 1960 e 1975 foram desativados 10 ramais, para transporte de passageiros da estrada de Ferro Sorocabana (Tietê, Borebi, Cantareira, Guarulhos, Santa Cruz do rio Pardo, Pirajá, Mairinque, Piracicaba, São Pedro e Francisco Quirino).

Na década de 70 ocorre a incorporação da Estrada Sorocaba à FEPASA e o processo de desmonte do sistema ferroviário se intensifica. Entre 1970/1980 são fechados pelo menos 15 ramais, 4 da antiga Sorocabana, já entre 1997 e 1998 são extintos mais 4 ramais, 2 deles da antiga Sorocabana, na virada de século são extintas as demais linhas de passageiros de longo percurso do estado de São Paulo, restando somente os trens metropolitanos.

---

<sup>1</sup>Ver mais em: [www.sptrans.com.br/terminais/pinheiros/](http://www.sptrans.com.br/terminais/pinheiros/)

Nota-se que a construção das vias férreas na capital se deu de modo diferente, em comparação ao interior:

Diferente do interior do Estado, onde as ferrovias foram implantadas, preferencialmente, em terrenos mais altos e menos acidentados do Planalto Ocidental paulista e de Depressão Periférica, evitando dessa forma os perigos de inundações, na capital, as estradas de ferro foram instaladas nos vales, paralelas ao leito dos rios Tamanduateí, Tietê e Pinheiros. (STEFANI, 2010)

Isso se deu pela maior capacidade de conformação do relevo e da hidrografia da capital, com mais recurso de capital. Essa lógica pode ser notada não somente no rio Pinheiros, como também no Rio Tietê.

O serviço de subúrbio na Estrada Sorocabana se inicia em 1928, funcionando entre as estações Júlio Prestes (na capital) e a estação Jandira. A eletrificação do sistema se dá em 1944, quando o serviço de subúrbio, que saía da Estação Júlio Prestes, já alcançava a estação de Amador Bueno, na cidade de Itapevi. No entanto, somente em 1959 que essa estrutura é utilizada, com a chegada de 30 trens japoneses TUE Kawasaki/Toshiba.

A chegada desses trens marca um aumento significativo na quantidade de passageiros transportados, que passa de uma média de 2 milhões de passageiros/ano, para 19 milhões de passageiros/ano em 1960, número que cai entre 1961 e 1964, possivelmente devido ao aumento na oferta de ônibus na região da ferrovia, mas volta a crescer a partir de 1965, alcançando 26 milhões de passageiros/ano em 1970.

Os trilhos do que viria a ser a linha 9 da CPTM são projetados em meados da década de 40

A sorocabana inicia seu plano de remodelação em 1946. Este plano contemplava o prolongamento da linha até a margem do Rio Pinheiros de onde seguiria a região Sul. Esse trecho se destinaria, de início, ao transporte de carga e seria um novo, elo de ligação, com o litoral por meio de seu entroncamento com a linha Mairinque-Santos. (STEFANI, 2007, p. 134).

Sua conclusão se dá na década seguinte, ligando a capital com a linha Mairinque/Santos, primeiramente destinado somente ao transporte de carga - esse trecho possibilitou a implantação de um bairro industrial em Santo Amaro. Em 1957, já era eletrificada e o serviço suburbano é também inaugurado na mesma época, ligando a estação Júlio Prestes e a Estação Evangelista de Souza na Serra do Mar.

Figura 6: Registro do começo da obra da Marginal Pinheiros em 1954



Fonte: <http://www.saopauloinfoco.com.br/especial-marginais/> (2020)

Sob o controle da FEPASA, o ramal passa a ser chamado de linha Sul. O serviço de trens metropolitanos é interrompido para a otimização do sistema, como a construção de estações, que não passavam de paradas com estruturas precárias e duplicação da linha. A reinauguração ocorre em 1981, com a frota renovada pelos trens da série 5000 e 5500, funcionando do trecho entre as estações Osasco e Pinheiros. A partir de 1987 conta com uma linha que funciona de Osasco até a estação de Jurubatuba. Em 1992, é inaugurada uma extensão, que parte da estação Jurubatuba, até a estação de Varginha, no extremo sul da capital.

Desde 1996, a antiga FEPASA é incorporada à CPTM, agora a linha Sul é nomeada de linha C, com nove estações e com a responsabilidade de concluir mais sete. Em 1998, a linha C recebe parte dos 48 trens série 2100 adquiridos pela empresa. Já na virada do século são inauguradas as sete estações, ainda herança da FEPASA, sendo elas: Socorro (2000), Granja Julieta (2000), Hebraica Rebouças (2000), Berrini (2000), Morumbi (2000), Cidade Jardim (2000) e Vila Olímpia (2001). Em 2008, novamente, o nome da linha é mudado, sendo chamada de linha 9 - Esmeralda. No mesmo ano são inauguradas as estações de Grajaú e Primavera-Inter-



lagos e chegam dez trens da série 3000<sup>2</sup> na linha. Em 2009 começa a implantação de um novo sistema de sinalização, o ATO (Operação Automática de Trens, na sigla em Inglês) - o sistema até hoje não foi implantado. Em 2010 entram em operação os trens da série 7000, que até hoje operam na linha. Hoje, a linha 9 – Esmeralda dá andamento a uma obra, que vai aumentar a sua extensão em 4,5 Km de linha e mais 3 estações, estação João Dias, estação Mendes-Vila Natal e estação Varginha<sup>3</sup>.

Figura 7: Características básicas Linha – Esmeralda

DADOS BÁSICOS OPERACIONAIS				
LINHA 09				
			OSA - GRA	PIN - JUR
Extensão (km)			30,2	14,8
Municípios atendidos			SP, OSA	
Passagens em Nível (Rodoviário)			0	0
Quantidade de Estações			18	10
Horário Comercial			04x24h	
Tempo de Percurso (min)			49	23
Velocidade Comercial (km/h)			37	39
Quantidade de Viagens Programadas	Dias Úteis		322	106
	Sábados		314	0
	Dom / Fer		244	0
Quantidade de Trens Programados	Dias Úteis	Pico M/T	13	8
		Vale Tarde	14	0
		Vale Noite	14	0
	Sábados	Vale Dia	14	0
		Vale Noite	10	0
	Dom/Fer	Vale Dia	10	0
		Vale Noite	10	0
Intervalo Programado entre Trens (min)	Dias Úteis	Pico M/T	8	4
		Vale Tarde	7	0
		Vale Noite	7	0
	Sábados	Vale Dia	7	0
		Vale Noite	10	0
	Dom/Fer	Vale Dia	10	0
		Vale Noite	10	0
Média de Passageiros Transportados	Dias Úteis		541.761,0	
	Sabados		253.924,1	
	Dom/Fer		135.249,5	
Oferta de Lugares/hora/sentido	06h45 x 07h45	30,314	15,157	
Carregamento/hora/sentido		29,579		
Oferta de Lugares/hora/sentido	17h30 x 18h30	30,314	15,157	
Carregamento/hora/sentido		28,615		
Capacidade do Trem (Carros por Trem)	7000 (8)	2.008		
	8000 (8)	2.036		
Frota Patrimonial Alocada	7000	14		
	8000	12		
Sistema de Sinalização			ATC	
Subestações de Tração (Potência MW)			OSA(8), MRB(8), CDU(8), JAG(8)	
Cabines Seccionadoras			OSA, PAL, CJD, SAM, GRA	

Fonte: <https://www.cptm.sp.gov.br/Transparencia/Pages/Manutencao-eOperacao.aspx> (2020)

2 A CPTM diferencia os modelos de trem como série seguido de uma milhar, ex. Os trens da série 3000 construídos pela SIMENS no começo do século XX.

3Ver mais em: <http://www.cptm.sp.gov.br/a-companhia/Pages/Nossa-Historia.aspx>

Hoje, as características básicas da linha 9 – Esmeralda são as seguintes: No trecho da pesquisa, com extensão de 18,3 Km, todos eles na cidade de São Paulo, temos 12 estações, sendo elas: Estação Ceasa, Estação Vila Lobos - Jaguaré, Estação Cidade Universitária, Estação Pinheiros,; Estação Hebraica – Rebouças, Estação Cidade jardim, Estação Vila Olímpia Estação Berrini, Estação Morumbi, Estação Granja Julieta, Estação Santo Amaro e Estação Socorro. As demais estruturas ferroviárias relevantes, que se encontram no trecho da pesquisa são: 2 Subestações de tração com potência de 8MW cada e 2 cabines seccionadoras.

Tabela 1: Média Diária de Passageiros Transportados nas estações envolvidas no trecho da pesquisa

Estação	Média Diária de Passageiros Transportados
Ceasa	6.687
Vila Lobos – Jaguaré	13468
Cidade Universitária	8468
Pinheiros	126064
Hebraica – Rebouças	13628
Cidade Jardim	16562
Vila Olímpia	38862
Berrini	24019
Morumbi	30900
Granja Julieta	16683
Santo Amaro	93893
Socorro	13933

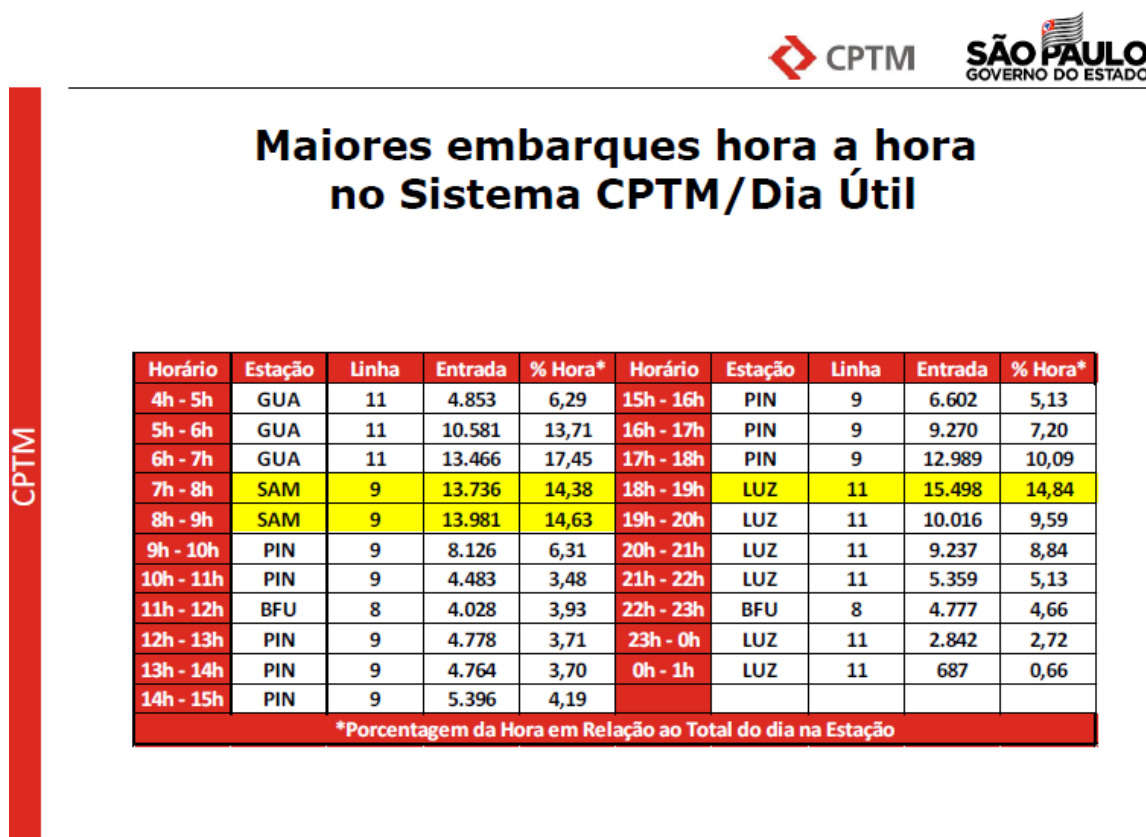
Fonte: Adaptado de <https://www.cptm.sp.gov.br/Transparencia/Pages/Manutencao-eOperacao.aspx> (2020).

As duas estações com maior movimento, dentre as estações do trecho da pesquisa, são a estação de Pinheiros e a estação Santo Amaro, ambas com baldeio recentes com as linhas do metrô. A estação de Pinheiros tem uma média de passageiros embarcados maior que 125.000 passageiros em 2019, além de um movimentado terminal rodoviário, esse grande número de passageiro também se dá devido à linha 4 do metrô, inaugurada em 2011 e, desde então, vem paulatinamente aumentando o número de estações em operação, restando somente uma estação para concluir o seu trajeto planejado, que vai da estação da Luz até a estação Vila Sônia.

No caso da estação Santo Amaro, que tem média de passageiros embarcados maior que 91.000 passageiros, o principal fator é o traslado com a linha 5 do metrô, que foi inaugurada em 2002, com extensão de 9,4 Km, entre as estações Capão Redondo e estação Largo Treze, nos últimos anos. Essa linha do metrô teve

uma expansão considerável, chegando na região central, na estação Chácara Klabin<sup>4</sup>. Essas duas estações são as mais movimentadas da CPTM em toda RMSP, como podemos observar na Figura 8.

Figura 8: Estações com maior número de passageiros embarcados CPTM



Fonte: <https://www.cptm.sp.gov.br/Transparencia/Pages/Manutencao-e-Operacao.aspx> (2020)

<sup>4</sup>Ver mais em: <http://cptm.sp.gov.br/Transparencia/Pages/Manutencao-e-Operacao.aspx>

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo daremos uma breve explanação sobre eficiência energética e mobilidade urbana, dois conceitos fundamentais para a compreensão desta pesquisa.

#### 3.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência energética é uma condição fundamental para a competitividade econômica e para o entendimento dos compromissos ambientais e sociais. Dada a importância desse conceito, ele é utilizado de maneira muito abrangente nas discussões sobre produção e consumo de energia, em que se pode notar a sua utilização com definições diferentes.

Entre as diversas definições utilizadas para se referir à eficiência energética, foram encontradas duas abordagens na engenharia, sendo uma a relação entre a quantidade de energia final utilizada e a quantidade de um bem produzido ou serviço realizado e a outra uma relação entre a energia final utilizada com a energia teórica mínima (ALVEZ, 2007). Definições de maior complexidade física são realizadas por Nogueira (2007) “[...] a geração de entropia e sua medida de engenharia corrente, os balanços de energia, propostos ainda em 1956 por Rant, são os verdadeiros indicadores de eficiência dos sistemas energéticos e da intensidade de suas perdas.”.

O conceito também aparece de maneira mais pragmática em documentos do Estado, como “Quando se discute energia, eficiência energética significa gerar a mesma quantidade de energia com menos recursos naturais ou obter o mesmo serviço (“realizar trabalho”) com menos energia” (EPE, ano), outros correlacionam com o uso racional de energia e, as vezes, até com adjetivo, como ocorre algumas vezes no Plano Nacional de Eficiência Energética.

Dentre as definições expostas, utiliza-se aqui a dada pela engenharia, que dá conta de parte da análise técnica necessária. Ao mesmo tempo, será necessário um maior aprofundamento, devido à natureza da análise geográfica integrada, para tal, recorreremos a Nogueira, que se debruça sobre as perdas em um sistema energético, “Classificar as perdas de energia pode ser interessante para discriminar os meios para promover sua redução” (NOGUEIRA, 2007, p. 92). Nessa abordagem mais proativa, o autor faz a divisão entre perdas reversíveis e perdas irreversíveis. As perdas irreversíveis estão ligadas às perdas técnicas e econômicas inviáveis a siste-

mas energéticos reais. É proposta, também, uma classificação das perdas, que leva em consideração três dimensões: projeto deficiente, operação ineficiente e manutenção inadequada. Dentro dessa proposta mais proativa o autor traz dois mecanismos de fomento para a melhoria da eficiência energética, um de base tecnológica e outro de base comportamental.

### 3.2 MOBILIDADE URBANA

Por se tratar da eficiência energética nos transportes, cabe aqui um breve parecer sobre a mobilidade urbana. A sua definição é fundamental para a finalidade deste trabalho.

A mobilidade pode ser definida, segundo Ulian (2008), como a capacidade dos indivíduos realizarem deslocamentos, constituindo-se em atributo social, no contexto da cidade ou aglomerações urbanas - podemos chamar essa capacidade de Mobilidade Urbana. Essa capacidade também se atribui a bens e mercadorias, mas no âmbito da nossa pesquisa, o foco será no transporte de passageiros.

A mobilidade se dá pelo transporte, que pode ser de diversos modos. No meio Urbano, destacam-se os modos não motorizados, principalmente a pé e bicicleta, e os modos motorizados como o automóvel, ônibus e trem. Os modos de transporte também podem ser classificados como transportes coletivos e transportes individuais.

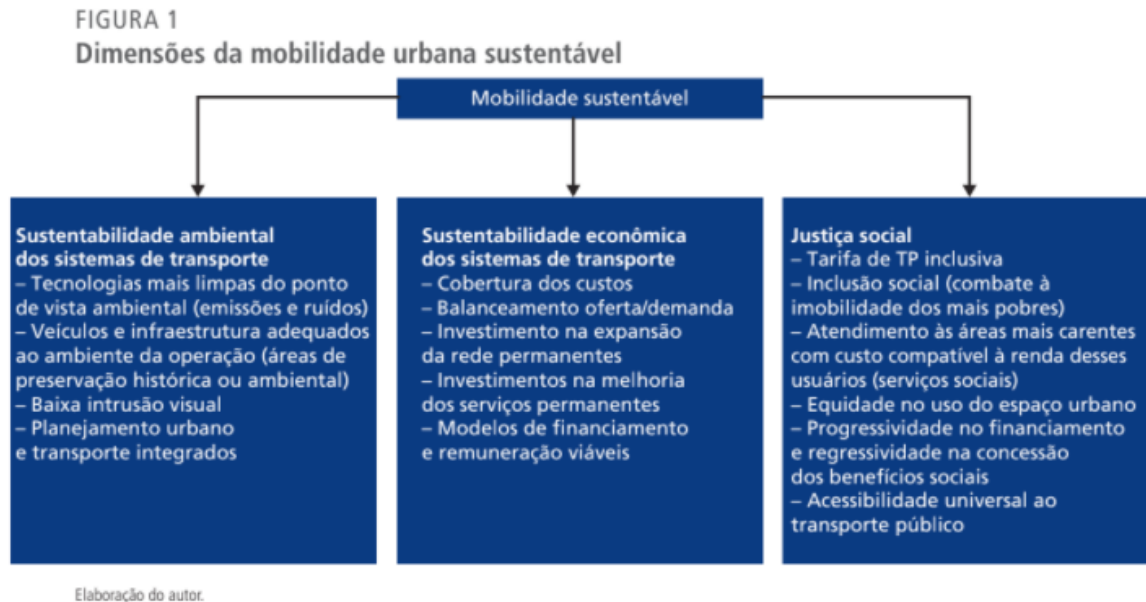
Durante o século XXI, novas perspectivas foram incorporadas às análises mais recentes sobre mobilidade, como aponta Higa (2012). Uma dessas perspectivas é a análises sobre os comportamentos de deslocamento:

Este enfoque mais amplo requer a análise de conexão entre a oferta do sistema de circulação (vias e veículos) e a estrutura urbana, como elementos interdependentes [...]. Requer também a análise da conveniência e da acessibilidade econômica dos meios de circulação, bem como da compatibilização entre o tempo disponível dos indivíduos e as horas de operação das atividades de destino das viagens. Este conjunto complexo de determinantes faz da acessibilidade um conceito muito mais abrangente do que o da mobilidade simples e o único capaz de capturar o padrão de deslocamentos – e da reprodução social – de forma conveniente” (VASCONCELLOS, 1996, p. 31, apud, HIGA, 2012, p.10).

Para Ulian (2008), a mobilidade e a acessibilidade têm por base três elementos principais: o sistema viário (elemento fixo), os percursos (fluxos) e os veículos (meio de transporte público).

Outra perspectiva incrementada ao conceito de mobilidade foi o conceito de sustentabilidade, sendo gerado o conceito de mobilidade urbana sustentável, que desenvolve três dimensões: econômica, ambiental e social. Essa perspectiva moderna é defendida em IPEA (2016) e explicitada na Figura 9.

Figura 9: Dimensões da mobilidade Urbana Sustentável



Fonte: Ipea (2016)

A mobilidade urbana vem ganhando espaço no debate público e em políticas públicas durante o século XXI, exemplos disso é o Estatuto da Cidade (2001) e da Política Nacional da Mobilidade Urbana (PNMU) (2012).

#### 4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A abordagem utilizada na presente pesquisa foi a análise geográfica integrada, na qual compreenderemos o fenômeno pela integração de diferentes variáveis, delimitadas no tempo e no espaço.

Será necessário um trabalho interdisciplinar, já que foram levantados dados e análises técnicas dos veículos estudados, sendo preciso recorrermos aos estudos da área da engenharia para isso. É da natureza do pensamento geográfico esse aspecto multidisciplinar (por sinal, muito requisitado ultimamente), mas nossa análise não se finda aí, devido ao seu caráter de abordagem na análise geográfica integrada e, para tanto, correlacionaremos fatores sociais a todas variáveis.

Quando medimos a eficiência energética de um veículo ou a comparamos com outros, estamos, de certa maneira, medindo a intensidade de uma relação homem-natureza, já que a energia foi produzida com o uso de recursos naturais: “O fato de a análise integrada considerar uma dimensão natural e social dos sistemas paisagísticos nos dá a possibilidade de avaliar o que ocorre na interação sociedade-ambiente em diferentes espaços”(RODRIGUES. 2012, p. 8). Nossa abordagem, na perspectiva sistêmica da análise geográfica integrada, a análise do fluxo de energia é o ponto central.

A relação *input-output* (Entrada e Saída) foi o fenômeno estudado, sendo o consumo de energia o input e o output ocorrendo em forma de emissões de gases, que possivelmente será proporcional ao consumo de combustível e de calor para a atmosfera.

A análise comparativa é outra estratégia metodológica utilizada nesta pesquisa, pois, o sistema de transporte de passageiros tem como característica a divisão entre transporte público e individual. Dentro desses dois campos, selecionamos os três modais mais utilizados (automóvel, ônibus e trem). Existem diversos veículos utilizados nesses modais, então, selecionamos veículos específicos, levando em conta a representatividade desses, no total dos veículos do modal e/ou características próximas à maioria dos veículos desse modal. As variáveis e os dados levantados tiveram o cuidado de ser relacionáveis com os demais veículos da comparação, a fim de se evitar analogias disformes.

#### 4.1. PROCEDIMENTOS TÉCNICOS OPERACIONAIS

São três as variáveis que norteiam a nossa pesquisa: o número de passageiros transportados, a energia gasta para cada passageiro transportado em cada modal e as perdas energéticas intrínsecas a cada modal.

O número de passageiros transportados em cada modal foi uma aproximação da realidade. Na dinâmica do dia a dia do transporte urbano de passageiros é impossível precisarmos esses números, principalmente em relação ao automóvel e ao trem. Sobre o automóvel, a dificuldade consiste no número elevado de veículos, que chega aos milhares no horário de pico. Devido à variação de passageiros por veículo, a contagem precisa fica inviável, utilizaremos a capacidade máxima do automóvel selecionado, mesmo assim, será feita essa contagem e comparada a outras pesquisas do gênero. Já os trens têm problemas distintos, por se tratar de um transporte coletivo há a variação de passageiros no percurso do veículo, a contagem por peso ou pessoas por m<sup>2</sup> são também aproximações, pois, uma pessoa pode pesar 50 Kg ou 100 Kg, a circunferência pode proporcionalmente variar, pessoas transportam mochilas, malas e no trecho da pesquisa até carrinhas com frutas e verduras vindas do Ceasa.

A contagem de entradas e saídas das estações também não dá esse número, pois, as estações têm, pelo menos, dois sentidos de circulação. Não se sabe para onde e de onde esses passageiros vão ou irão, lembrando que se trata de um veículo de grande capacidade (2008 passageiros), uma contagem *in loco*, com uma pessoa em cada uma das 32 portas de um lado do trem, seria um trabalho consideravelmente dispendioso e de grande margem de erro humano. Mesmo o ônibus, um transporte de média capacidade (87 passageiros), ainda tem alguns dos problemas do trem, além do que nenhuma linha de ônibus faz o percurso completo do trecho da pesquisa. Com base em tais ressalvas, o número de passageiros no transporte coletivo será o número máximo de passageiros transportados, dado pelos seus manuais técnicos.

A capacidade de passageiros transportados é uma variável, pois se trata do trabalho que se deve realizar a cada veículo, ou seja, o cerne do cálculo de eficiência energética. Tendo essa importância, foram feitas algumas simulações, projetando alguns cenários, explorando as variações possíveis.



Em relação à energia gasta por passageiro transportado, o parâmetro que levamos em consideração na nossa pesquisa é o consumo específico de energia necessária para transportar uma pessoa por um quilômetro e foi expresso em Kwh por passageiro-Km ou MJ por passageiro-Km (VASCONSELLOS, 2006). Esse parâmetro é adequado para a comparação de eficiência energética, em um sistema de transporte de passageiros, desejada neste trabalho, que não deseja somente uma comparação de veículos e motores, mas sim de modais de transporte de passageiros. Desse modo, o percurso e a capacidade desses veículos foram levados em conta.

No primeiro caso, temos os engenheiros, que podem se incumbir de tal tarefa, aliás, com muito mais ferramentas para tal. Como o presente trabalho se trata de uma pesquisa de abordagem geográfica integrada, não podemos perder de vista os conceitos já apresentados de mobilidade urbana e eficiência energética, se buscamos entender como tornar os sistemas de transporte (no nosso caso de passageiros) mais eficientes. O trabalho em questão é transportar os sujeitos em um determinado espaço, observando o gasto energético para tal.

Para a análise das perdas energéticas usamos duas das três classificações de perdas, trazidas por Nogueira (2007): projeto deficiente e operação ineficiente. Cabe ressaltar que essa classificação leva em conta as perdas reversíveis dos processos energéticos e exclui as perdas irreversíveis desses mesmos processos. Tais perdas irreversíveis estão ligadas às toleráveis, como as técnicas que são aceitáveis, dentro de certos limites, e as econômicas, em que altos custos são impeditivos na efetivação ou na mudança de um processo real. Desse modo, levantaremos dados de perda energéticas reversíveis de cada modal.

Segundo Nogueira (2007), o projeto pode ser considerado deficiente quando “em razão da concepção errônea do ponto de vista do desenho, dos materiais, do processo de fabricação, os equipamentos e/ou os sistemas levam a desperdícios de energia, por exemplo, por utilizar lâmpadas ineficientes ou efetuar sua disposição incorreta ante os princípios da utilização racional de energia.” (NOGUEIRA, 2007, p. 93). Esses projetos ocorrem em diferentes escalas, tanto na esfera pública (projetos nacionais, projetos estaduais e projetos municipais), como na esfera privada (iniciativa privada e âmbito doméstico), analisaremos aqui as escalas do sistema de transportes e a escala dos veículos. Seguindo a classificação de Nogueira, após a análise dos projetos deficientes relacionados aos modais estudados, partimos para a análise

das operações ineficientes relacionadas a elas. Nas palavras de Nogueira (2007), a operação é ineficiente “mesmo quando os sistemas energéticos são bem concebidos, podem ser operados de forma irresponsável, por exemplo, mantendo uma sala sem atividades com lâmpadas eficientes desnecessariamente acesas” (NOGUEIRA, 2007, p. 93). Assim como nas perdas em relação aos projetos deficientes, as perdas oriundas de operações ineficientes foram analisadas na escala do sistema de transporte e na escala dos veículos.

## 5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS VEÍCULOS

A seguir veremos as características dos 3 modais estudados.

### 5.1 CARRO

O modelo de carro escolhido para a realização da análise foi o Hatch Onix. Essa definição se deu pelo fato desse carro ser o mais vendido do país desde 2015<sup>5</sup>. Foi utilizada a versão (1.4AT LTZ), intermediário em consumo entre as versões do modelo. Os dados do consumo de energia e combustível foram coletados do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PEB), usando a sua Tabela de consumo/Eficiência Energética referente aos veículos automotores leves (PEB, 2019). Da mesma tabela foram coletadas as emissões de poluentes. O modelo dispõe de um motor flex, ou seja, que funciona com dois combustíveis, gasolina e etanol. Com cada um desses combustíveis, o desempenho, o consumo e a emissão mudam. Na nossa comparação utilizaremos a gasolina, pois o seu consumo, embora venha caindo ano a ano, ainda é quase o dobro do consumo de Etanol (ANP, 2019).

Figura 10: Foto de divulgação sítio Chevrolet



Fonte: <https://www.chevrolet.com.br/carros/onix> (2020)

O carro é produzido pela montadora norte-americana Chevrolet, modelo Onix 2019 e possui: motor flex 1.4; transmissão automática com 6 velocidades; direção elétrica; computador de bordo; porta-malas de 280 litros; capacidade para 5 passageiros (incluindo o motorista); pesa 1.012 Kg; tem potência máxima de 98Cv a 5500 rpm. Ver mais em: <https://g1.globo.com/carros/noticia/2020/01/02/chevrolet-onix-e-o-carro-novo-mais-vendido-pelo-5o-ano-ford-tem-menor-participacao-desde-2003.ghtml>

6.000 rpm; torque máximo de 13 Kgfm a 4.800 rpm; 1.591 Cm<sup>3</sup> cilindrada; pneus de 185/65 R15 (pressão recomendada pelo fabricante de 32 psi) e tanque de 54 litros.

A eficiência energética, segundo o PBE – 2019, é de 1,73 MJ/Km, consumindo 7,9 Km/l na cidade e 9,7 Km/l na estrada, com etanol, e 11,6 Km/l na cidade e 14,0 Km/l na estrada, com gasolina. No tocante às emissões, segundo os dados também retirados do PBE – 2019, a emissão de CO<sub>2</sub> desse veículo é de 106 g/Km na gasolina e 0 g/Km no Etanol, emitindo, ainda, independente do combustível utilizado, NMHC na quantidade de 0,025 g/Km, CO na quantidade de 0,593 g/Km e NOX na quantidade de 0,028 g/Km.

Tabela 2: Características técnicas do Onix

ONIX 1.4AT LTZ	
<i>Dimensão:</i>	
Comprimento	3.930mm
largura	1.705mm
Altura	1.484mm
<i>Consumo utilizando Gasolina:</i>	
Consumo energético	1,73MJ/Km
Consumo de combustível	11,6 Km/l na cidade e 14,0Km/l na estrada
Peso	1.012Kg
Tanque	54 Litros
Capacidade	5 pessoas
Pneus	185/65 R15
<i>Emissões utilizando gasolina:</i>	
CO <sub>2</sub>	106 g/Km
NMHC	0,025 g/Km

Fonte: Autor (2020)

## 5.2 ÔNIBUS

O modelo de ônibus utilizado foi o Padron, o mais numeroso da cidade de São Paulo, com 3.583 unidades, sendo também o com maior atividade anual, circulando 256.000.000 Km ao ano. A quantidade de passageiros transportados, assim como o consumo de energia e combustível foram coletados no Relatório Anual da SPtrans de 2019. Os dados de emissões de poluentes foram coletados do relatório técnico do ICCT.

Figura 11: Foto do Ônibus tipo Padron



Fonte: <https://www.mobilize.org.br/noticias/11647/novosonibus-em-sp-serao-projetados-sem-espaco-para-ocobrador.html> (2020)

Esse modelo de ônibus tem 4 subdivisões: os ônibus com motor diesel-P5, com motores diesel P-7, os com motores P-7 equipados com ar-condicionado e os modelos D9W com motor elétrico. Utilizaremos, na nossa análise comparativa, os ônibus sem ar-condicionado, que compõe mais de 90% da frota desse modelo. Cada ônibus Padron circulam em média 72.300 Km/ano.

Tabela 3: Características técnicas ônibus Padron

ÔNIBUS PADRON	
<i>Dimensão:</i>	
Comprimento	13.200mm
largura	2.500mm
<i>Consumo:</i>	
Consumo energético	5,5kWh/Km
Consumo de combustível	55L/100Km
Peso	16.000Kg
Tanque	500 Litros
Capacidade	87 pessoas
<i>Emissões:</i>	
CO <sub>2</sub>	1.390 g/Km
MP	0,165g/Km
Nox	9,9g/Km

Fonte: Autor (2020)

### 5.3 TREM

O modelo do trem para essa análise comparativa será o Série 7000, único modelo que percorre o trecho da análise. Todos os seus dados técnicos foram coletados na intranet do sítio da CPTM e diretamente na área de engenharia da empresa. O trem é formado por oito carros, sendo quatro carros motores e quatro carros reboques. O esforço trator do trem é de 28.300 Kgf, potência nominal por TUE 2.414 kW e aceleração máxima de 0,9 m/s<sup>2</sup>.

Figura 12: Trem série 7000



Fonte: Eduardo Gança (2012)

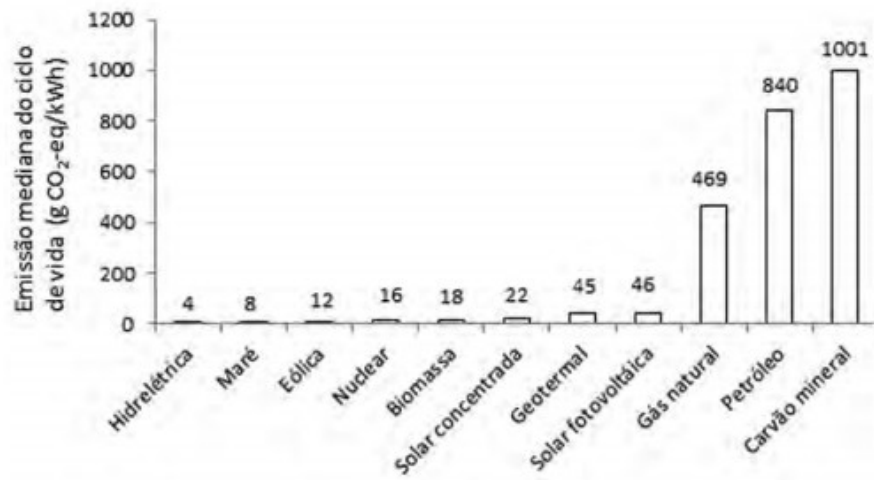


Tabela 4: Características técnicas trem série 7000

TREM SÉRIE 7000	
<i>Dimensão :</i>	
largura	3.050mm
Altura	3.936mm
Comprimento carro motor	21.922mm
Comprimento carro reboque	20.610mm
<i>Consumo:</i>	
Consumo energético	12,396kWh/Km
Peso	358.148Kg
Capacidade	2008 pessoas
<i>Emissões:</i>	
CO <sub>2eq</sub>	86gCO <sub>2eq</sub> /kWh

Fonte: Autor (2020)

Em relação aos dados de emissão de gases poluentes, o trem não emite gases de efeito estufa (GEE), no entanto, para gerar a energia elétrica, as usinas de geração emitem de diversos modos os GEE. Aqui levaremos em consideração somente as usinas hidrelétricas, que geram 65% da energia elétrica no país (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2019), as demais fontes representam menos de 10% dessa matriz cada uma. A emissão dos GEE é a pauta de muita discussão no meio científico. O IPCC estipulou que a emissão desses gases pelas hidrelétricas causaria metade ou menos impacto por KWh de eletricidade gerada em comparação a qualquer outra fonte, incluindo eólica e solar Figura 13 (FEARNSIDE, 2015, p. 242). Essa conclusão é questionada por diversos autores, pois a pesquisa realizada apresenta frágil metodologia (FEARNSIDE, 2015). No âmbito nacional temos algumas pesquisas com metodologias mais elaboradas, como o mestrado de Mariana Maia de Miranda, que estipula o valor de 86 gCO<sub>2eq</sub>/Kwh como fator de emissão das hidroelétricas no Brasil (MIRANDA, 2012, p. 99).

Figura 13: CO<sub>2</sub>eq Segundo IPCC

Fonte: FEARN SIDE (2015)



## **6. RESULTADOS DAS ANÁLISES COMPARATIVAS**

Dada as características dos modais, partimos agora para a comparação das variáveis operacionais.

### **6.1 NÚMERO DE PASSAGEIROS**

A primeira variável operacional estudada será o número de passageiros, para isso será necessário determinar esse número. Dentre os três veículos comparados temos distintas capacidades de transporte de passageiros (Carro 5, Ônibus 87 e Trem 2008), utilizaremos, a maior capacidade, de 2008 passageiros do trem. Será usada a capacidade total declarada do ônibus, 87 passageiros, assim como a ocupação máxima do modelo de automóvel selecionado.

#### **6.1.1 Número de veículos**

O número de passageiros a serem transportados na nossa análise será de 2008 passageiros, que corresponde ao número de passageiros que transporta um trem, modal de maior capacidade entre os modais comparados. Dessa forma, para os outros dois modais de menor capacidade precisaremos calcular o número de veículos necessários para transportar os mesmos 2008 passageiros. Para esse cálculo, usaremos a capacidade máxima do ônibus modelo Padron, que é de 87 passageiros e no caso dos automóveis, utilizaremos a capacidade de 5 passageiros do modelo Onix.

Fórmula:  $Nv = PASSt / PASSv$

Onde

$Nv$ : N° de veículos

$PASSt$ : N° Total de passageiros transportado

$PASSv$ : N° de pessoas transportada por veículo

No caso do carro:

$$Nv = 2008 / 5 \quad Nv = 401,6$$

No caso do ônibus:

$$Nv = 2008/87 \quad Nv = 23,0$$

Por esse cálculo chegamos ao número de 402 automóveis necessários para transportar os 2008 passageiros da análise e em relação aos ônibus precisaremos de 23 veículos para transportar o mesmo número de passageiros.

## 6.2 CONSUMO DE ENERGIAS

Analisaremos a partir daqui os dados pesquisados referentes a segunda variável operacional, o consumo de energia.

### 6.2.1 Consumo total por modal

Para calcularmos quanto cada modal consumirá de energia para transportar os 2008 passageiros, teremos que multiplicar o consumo por quilômetro de cada veículo, pela distância do nosso local de análise, que é de 18,3Km e multiplicar o número de veículos utilizados por modal:

Fórmula:

$$Ct = Ckm \times 18,3Km \times Nv$$

Onde:

Ct: Consumo total

Ckm: Consumo por Km

Nv: N° de veículos

Percurso da pesquisa: 18,3 Km

Para o carro:

$$Ct = 1,73MJ/Km \times 18,3Km \times 402 \quad Ct = 12.726,91MJ \quad Ct = 12,73 \text{ GJ}$$

Para o ônibus:

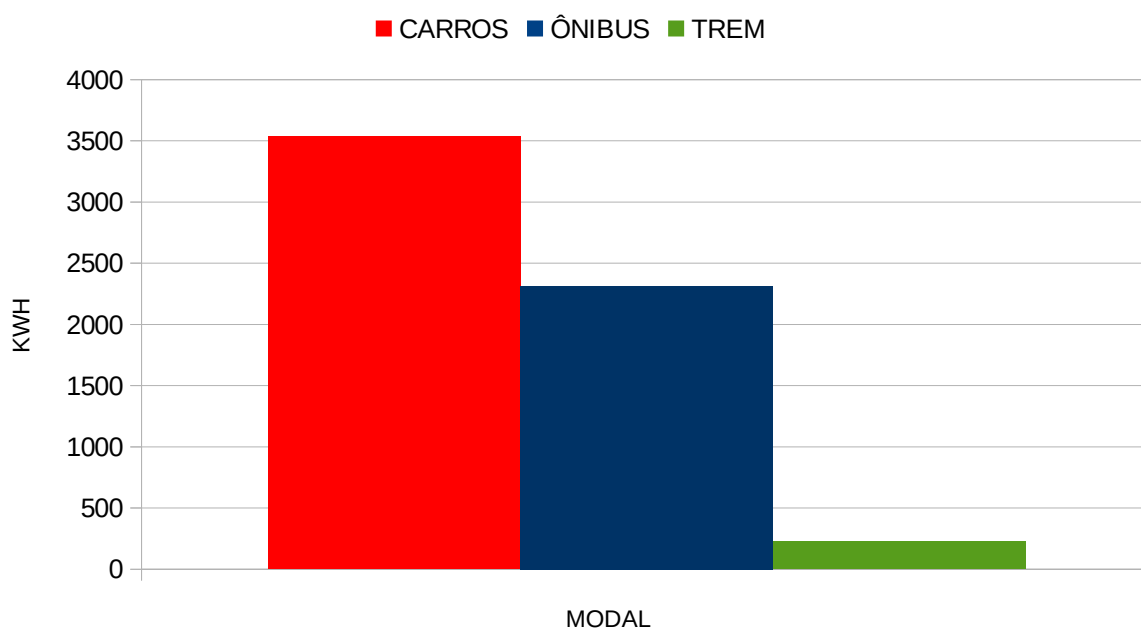
$$Ct = 5,5kWh/Km \times 18,3 \text{ Km} \times 23 \quad Ct = 2.314,95kWh$$

Para o trem:

$$Ct = 12,396kWh/Km \times 18,3Km \times 1 \quad Ct = 226,84 \text{ kWh}$$

Desse modo, temos um consumo de 226,84 kWh para o trem, 2.314,95 kWh para o ônibus e 12,73 GJ, convertendo para a unidade de medida estipulada(kWh), temos 3.535,12kWh para os automóveis. Para uma melhor comparação quanto à conversão para uma unidade de medida única é imprescindível escolhermos a unidade de medida Tep (Tonelada equivalente de petróleo), que é muito utilizada em grandes volumes de energia consumidas, como é o nosso caso. Para tal conversão utilizaremos o fator de conversão de  $8,6 \times 10^{-5}$  para a conversão de quilowatt-hora em Tep. Com essa conversão chegamos ao consumo de 0,3 Tep para o automóvel, 0,2 Tep para o ônibus e 0,02 Tep para o trem.

Gráfico 1: Consumo energético total, no percurso da análise



Fonte: Autor (2020)

### 6.2.2 Consumo per capita

Nossa pesquisa não tem como finalidade expor somente o consumo total dos modais comparados, mas também comparar a eficiência energética de cada um. Para tal, usaremos o consumo per capita de cada modal, medida que exprime melhor o espírito desse trabalho. O cálculo aqui será dividir o consumo total de cada modal, pelo número de passageiros transportados, que em todos os casos foi de 2008 passageiros.

Fórmula:

$$C_{per} = Ct / PASSt$$

Onde:

C<sub>per</sub>: Consumo per capita

C<sub>t</sub>: Consumo total

PASSt: N° Total de passageiros transportado

Para o carro:

C<sub>per</sub> = 3.535,12kWh / 2008    C<sub>per</sub> = 1,76kWh/Pass

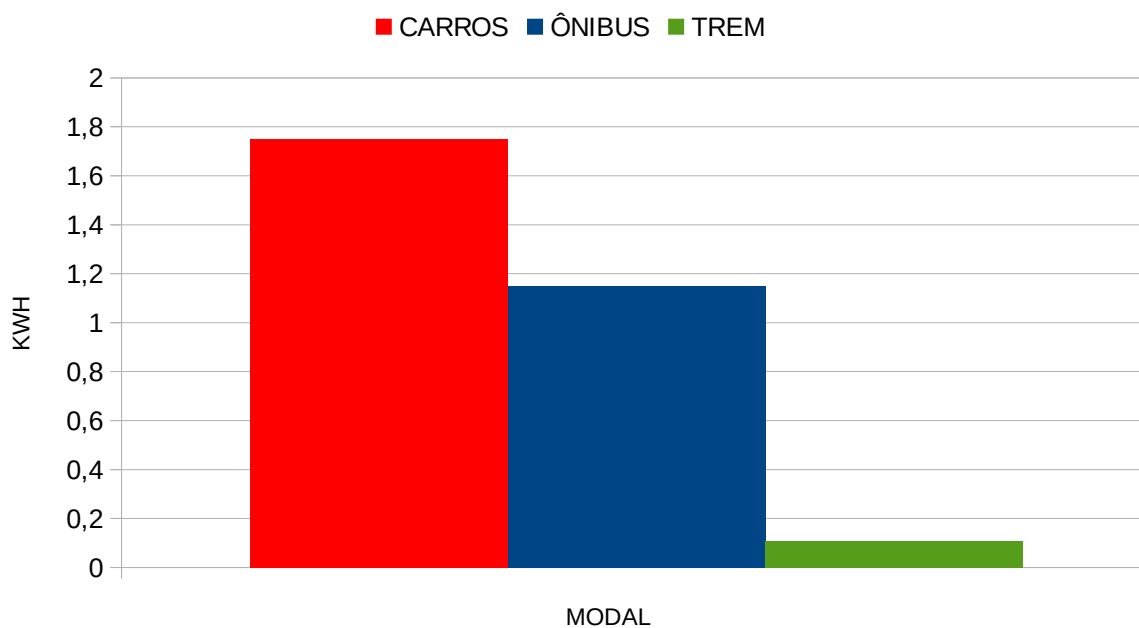
Para o ônibus:

C<sub>per</sub> = 2.314,95kWh / 2008    C<sub>per</sub> = 1,15 Kwh/Pass

Para o trem:

C<sub>per</sub> = 226,84 kWh / 2008    C<sub>per</sub> = 0,11KWh/Pass

Gráfico 2: Consumo per capita de cada modal, no percurso do estudo



Fonte: Autor (2020)

A partir desse valor de consumo total per capita de cada modal, podemos também estipular o consumo por quilômetro de cada passageiro. Para isso, precisamos dividir o consumo total per capita pela extensão do percurso (18,3 Km), assim, obtemos os seguintes resultados: nos automóveis o consumo de 0,09 kWh pass-km, nos ônibus o consumo de 0,06 kWh pass-km e no trem o consumo de 0,006 kWh pass-km.

Comparando os resultados podemos observar que, em relação ao consumo per capita: o passageiro do trem consome 6,25% da energia consumida pelo passageiro do carro, já o passageiro do ônibus consome 65,34% da energia gasta pelo passageiro do carro. Na comparação entre os passageiros do transporte coletivo, o passageiro do trem consome 9,56% da energia consumida pelo passageiro do ônibus.

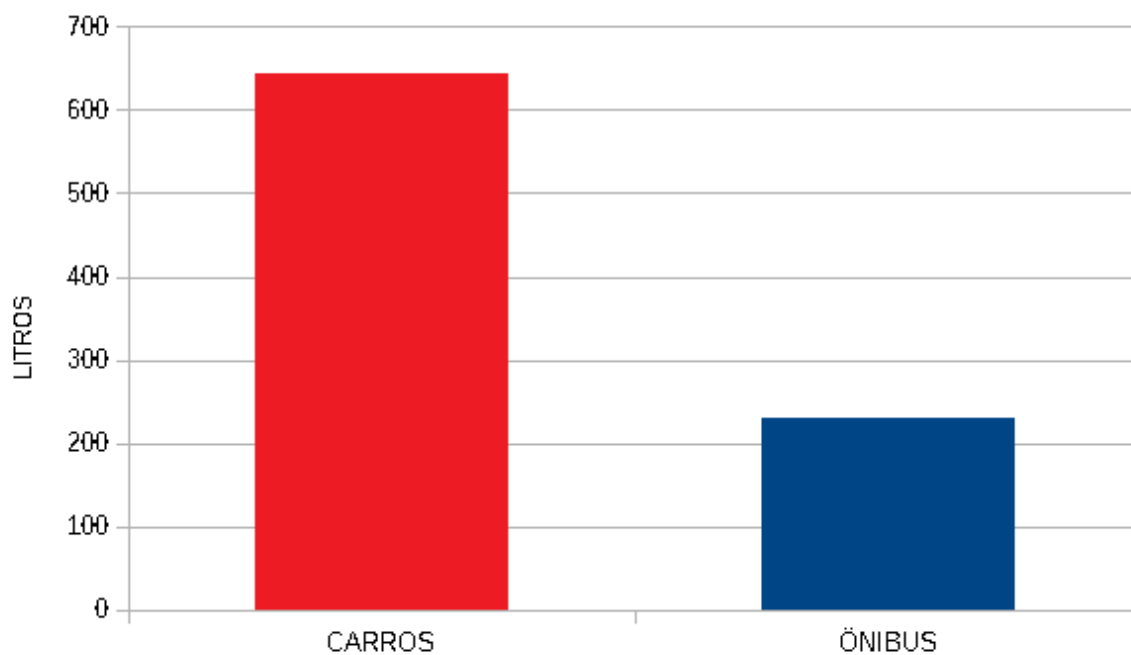
### 6.2.3 Consumo de combustível

O consumo de combustível derivado de petróleo é um ponto importante para se analisar, tratando-se de uma análise de eficiência energética nos transportes, já que os derivados de petróleo correspondem a 77% do gasto energético nesse setor (BEN, 2018). Nesse ponto excluiremos o trem, que embora também tenha uma participação de termoeletricas na produção de sua energia elétrica e, como já citado, não é possível estimar essa participação.

O Onix tem um consumo na cidade, abastecido com gasolina de 11,6 Km/L. No percurso de 18,3 Km consumirá, então, 1,6 litros de gasolina. Esse consumo se refere a um veículo, no entanto, na nossa análise levamos em consideração 402 carros. Dessa maneira, o consumo total de gasolina será de 643,2 Litros de gasolina. O consumo per capita, nesse caso, ficaria de 0,32 litros por passageiro.

Já o ônibus, tem um consumo de óleo diesel de 55L/100Km, assim, nos 18,3 Km do percurso da análise consome 10,06 litros de óleo diesel. Somando esse consumo para os 23 veículos necessários para esse modal, temos um consumo de 231,38 litros de óleo diesel. O consumo per capita de óleo diesel do ônibus fica em 0,11 litro por passageiro.

Gráfico 3: Consumo de combustíveis fósseis pelo automóvel e pelo ônibus



Fonte: Autor (2020)

#### 6.2.4 Consumo de energia elétrica

Dos três modais selecionados para a análise, o único veículo que utiliza a energia elétrica como fonte de energia é o trem série 7000. Carros e ônibus elétricos ainda têm um número muito pequeno de veículos, tendo pouca influência na eficiência energética geral nos meios de transporte. O consumo dos trens da CPTM em 2018 foi de 498.293 MWh. Esse consumo exclui os consumos operacionais de estações e manutenção, por exemplo, sendo somente o consumo de tração pelo material rodante. Tal consumo é correspondente a 1% dos 52TWh consumidos por toda RMSP.

### 6.3 PERDAS ENERGÉTICAS

Na prática, principalmente em grandes sistemas energéticos, como o sistema de transporte, podem ser observadas perdas nos três momentos (projeto, operação e manutenção). Como vemos, no nosso caso, as perdas da operação serão somadas a do projeto deficiente.

#### 6.3.1 Projeto deficiente

O primeiro projeto aqui destacado será um da esfera pública, que abarca as escalas nacional, estadual e municipal, a ideia de priorizar o transporte rodoviário em detrimento ao transporte ferroviário e transporte hidroviário, lógica essa empregada tanto no transporte de carga quanto de passageiros. Nesse último temos, ainda, mais um agravante, o transporte individual em detrimento do transporte coletivo. Esse projeto é oposto a uma melhoria da eficiência energética, visto que o trem é o veículo mais eficiente, seguido pelo ônibus e, por último, o carro. Embora o transporte hidroviário não esteja na nossa análise, cabe ressaltar que ele é mais eficiente do que os aqui citados. O automóvel, aliás, tem uma maior taxa de perda energética em todas as classificações de perdas, como veremos no decorrer deste trabalho.

Podemos observar nesse projeto o investimento feito na infraestrutura para transporte. Segundo o anuário estatístico dos transportes de 2017, nos anos de 2010 até 2016 foram investidos R\$ 80 bilhões no transporte rodoviário, R\$ 49,5 Bilhões no transporte ferroviário e por volta de R\$ 55 Bilhões em outros modais (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE TRANSPORTES (MT), 2017), contribuindo para a já discrepante diferença de infraestrutura entre os sistemas, resultando em uma malha viária de 1.720.700,3 Km de vias rodoviárias e somente 30.485 Km de vias férreas, dessas pouco mais de mil quilômetros destinados a trens urbanos (CNT, 2018).

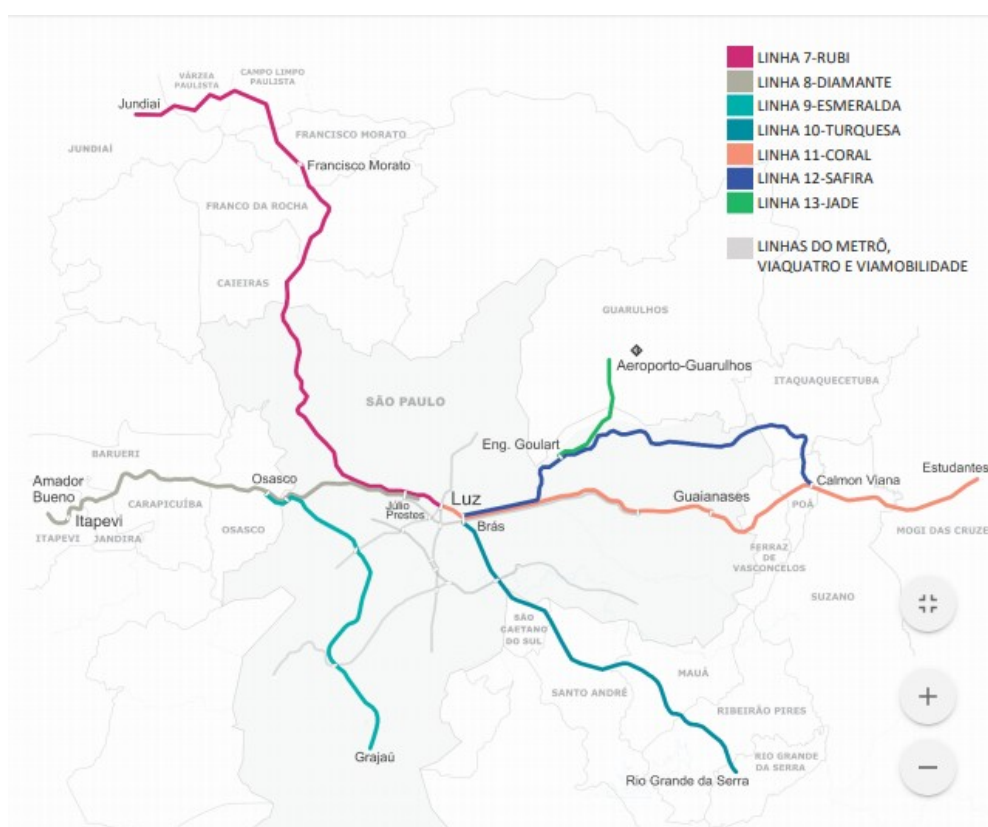
A frota também nos serve de termômetro para elucidar esse projeto, hoje a frota de automóveis na cidade de São Paulo é de 8.137.878 de veículos (DENATRAN, 2019), 14.048 ônibus (SPTRANS, 2018) e os trens apresentam uma frota de 445 veículos (RELATÓRIO ADMINISTRATIVO CPTM, 2018; INFRAESTRUTURA METRO, 2019). A frota dos modais estudados evoluíram neste século da maneira que segue: 93% os automóveis; 66% os ônibus; 48% os trens da



CPTM e Metrô. Aumenta-se, dessa maneira, ainda mais a discrepância do número de carros em relação ao transporte público.

Voltando à infraestrutura, na cidade de São Paulo a malha viária é maior que 18.000 Km, enquanto a malha metroferroviária tem a extensão de 374 Km. Para uma cidade com 1.521 Km<sup>2</sup> é claro o deficit da estrutura para o modal ferroviário, como pode ser visto na Figura 14, devido à escala do mapa da malha viária, que pode ser conferido no sítio da prefeitura da cidade<sup>6</sup>.

Figura 14: Mapa do sistema metroferroviário da RMSP



Fonte: CPTM (2018)

Na nossa área de estudo podemos constatar essa discrepância. A estrutura física de vias oferece ao transporte ferroviário uma via de circulação, de 1 a 4 para o ônibus e de 6 a 8 para os automóveis, isso no sentido Sul – Norte da nossa pesquisa. São 68 linhas de ônibus (a maioria delas percorre um pequeno trecho da área de estudo), que circulam por ali e uma linha de trens. Com essa estrutura, o transporte

<sup>6</sup>Ver mais em: [https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/arquivos/secretarias/desenvolvimentourbano/mapa/02\\_Rede\\_viaria.jpg](https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/arquivos/secretarias/desenvolvimentourbano/mapa/02_Rede_viaria.jpg)

público não consegue atender à demanda nos horários de pico, estão sempre superlotados e as vias de circulação dos automóveis se congestionam.

O Brasil vem tomando medidas (com destaque para o Inovar-Auto e o PRO-CONVE), que tem o intuito, principalmente, de baixar as emissões de GEE. Tais medidas refletem em uma melhora na eficiência energética, já que as duas estão relacionadas - quanto menos combustível se consome, menos gases vão ser liberados. No entanto, embora as novas gerações de carros estejam mais eficientes que as anteriores, alguns modelos de carros populares como SUVs e caminhonetes têm índices de eficiência menores, alguns até com combustível a diesel, no caso das SUVs já são quase 25% dos carros vendidos<sup>7</sup>.

É preciso também levar em conta que os índices de melhora no desempenho ambiental são autodeclarados. São as próprias montadoras que registram o desempenho dos seus carros no PBEV, lembrando que tivemos um caso emblemático em 2016, de adulteração dos dados emissão pela empresa Volkswagen nos EUA<sup>8</sup>.

Indo para os projetos deficientes de escala menor, podemos destacar no sistema ferroviário da CPTM uma deficiência considerável. O sistema de rede aérea da empresa não aproveita a frenagem regenerativa dos trens série 7000. A frenagem regenerativa do trem consiste da produção de energia causada pela sua frenagem, resultando em média em uma poupança de 20% de energia, além de benefícios indiretos, como reduzir a manutenção, aumento da disponibilidade operacional e redução da geração de calor. No entanto, o sistema da rede da empresa ainda não tem capacidade de absorver essa energia regenerada, sendo somente uma pequena parte aproveitada pelo próprio trem.

Outro aspecto de perda energética nos trens da CPTM é o sistema de ar-condicionado dos trens, que trabalha perpetuamente, devido aos carros não possuírem janelas e depender exclusivamente da ventilação do próprio ar-condicionado, em dias de temperaturas amenas ou baixas, por se tratar de um sistema ao ar livre. Diferente do metrô, a ventilação natural deveria ser melhor utilizada, com janelas automáticas controladas pelo maquinista ou até mesmo por computador, a partir dos índices de temperatura e umidade.

---

<sup>7</sup>Ver mais em: <https://agora.folha.uol.com.br/maquina/2019/06/quase-um-em-cada-quatro-veiculos-vendidos-no-brasil-e-suv.shtml>

<sup>8</sup>Ver mais em: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2018/12/escandalo-das-emissoes-de-poluentes-custara-a-volks-75-bi-de-euros-diz-jornal.shtml>

Outro aspecto que demonstra a perda energética dos ares-condicionados do trem série 7000 é a comum reclamação da temperatura deles, em dias de médias temperaturas, os usuários reclamam da baixa temperatura dos carros, ou seja, foi gasto mais energia que a necessária para manter o conforto térmico, causando até mesmo desconforto térmico, como podemos ver na Figura 15, que traz uma reclamação de um passageiro.

Figura 15: Reclamação do passageiro da CPTM

Manifestação N° 2020/013301				
Data/Hora Ocorrência	Origem da Manifestação		Canal de Relacionamento	
24/01/2020 22:01	0800 - CENTRAL DE ATENDIMENTO		TELEFONE	
Classificação *	Local de Referência	Motivo	Competência	Categoria
RECLAMAÇÃO	LINHA 9 - ESMERALDA ( OSA-GRA )	TREM - AR CONDICIONADO - TEMPERATURA	OPERAÇÃO	TREM
Descrição da Manifestação				
PASSAGEIRA DA LINHA 9 RECLAMA QUE NO DIA 24/01/2020, POR VOLTA DAS 22:01MIN O AR CONDICIONADO ESTÁ MUITO GELADO. NÃO CONSEGUE IDENTIFICAR O NÚMERO DO CARRO, SENTIDO OSA, PRÓXIMA ESTAÇÃO OSA.				

Fonte: CPTM (2020)

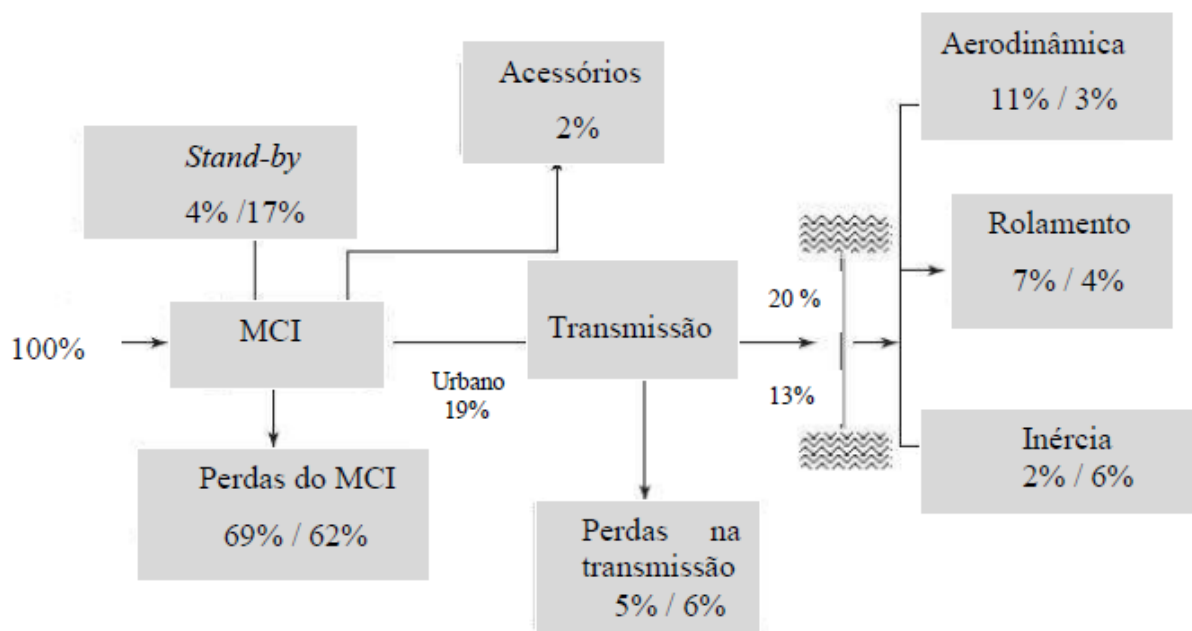
Tanto o sistema de abastecimento de energia como o sistema de sinalização da linha 9 – Esmeralda da CPTM trabalham próximo ao limite, não permitindo um maior incremento de composições no circuito, provavelmente por um subdimensionamento no período da sua reforma no começo do século. Já em 2020, está previsto o término de uma subestação em Grajaú e de sistemas de paralelismo (que distribuem a energia entre as duas vias, balanceando melhor o sistema). No intuito de aumentar a capacidade de abastecimento, uma necessidade nos próximos anos é a reinauguração da estação de varginha, ampliando o alcance da linha.

Sobre o sistema de sinalização, já foi tentada a instalação do sistema ATO (Automatic Train Operation), que automatizaria o controle dos trens, possibilitando maior aproximação entre os trens. Existe ainda a promessa da implantação desse sistema. Com a melhora desses dois sistemas, a Linha conseguiria ofertar mais trens, atraindo mais usuários, tornando a circulação mais fluida, diminuindo o fator humano.

Os motores de combustão interna (MCI) têm perdas energéticas intrínsecas ao seu funcionamento. Segundo Bastin (2010) cerca de dois-terços da energia armazenada no tanque de combustível é perdida na forma de calor no processo de conversão da energia química para a energia mecânica feita pelo motor. Os carros têm outras perdas “naturais”, como perdas relacionadas ao sistema de transmissão,

a resistência por atrito dos pneus, resistência do ar, uso de acessórios, frenagem e sistema de refrigeração. Embora boa parte dessas perdas sejam inevitáveis, parte delas já possuem tecnologias que podem diminuir a intensidade dessa perda e melhorar a eficiência energética do veículo.

Figura 16: Perdas intrínsecas a automóveis



Fonte: Bastine e Cristiane (2010)

Existem diversas técnicas e novas tecnologias voltadas para automóveis, que podem contribuir para a melhoria da eficiência energética do veículo, a maioria ainda não equipam os carros comerciais, boa parte equipam os carros intermediários e top de linha, devido ao maior custo de produção. Contudo, algumas dessas tecnologias já são acessíveis aos automóveis mais populares e poderiam ser incrementadas com um custo razoável, mas as montadoras continuam resistentes, não querendo diminuir a sua margem de lucro ou aumentar o preço de venda do veículo. Aqui, citaremos algumas tecnologias que carros similares ao Onix já possuem e que poderiam ser incrementadas a tecnologia desse veículo.

Uma dessas mudanças seria técnica. A redução do coeficiente de arraste aerodinâmico, que tem a principal barreira nos designs atuais dos veículos, poderia ocasionar em uma economia de até 2% no consumo de combustíveis. Outro fator

que influência muito no consumo de combustível é o peso. Segundo Bastin, cada redução de 10% no peso do veículo pode refletir em uma redução de 7% no consumo de combustível. O Onix pesa 1.012 kg, sendo mais pesado que alguns concorrentes como o HB20, March e Sandero. Para diminuir o peso de um veículo, os principais caminhos são a mudança do desenho, a diminuição do tamanho e, principalmente, a substituição de matéria-prima da estrutura e acessórios.

Motor turbo também é outra tecnologia que está presente em diversos carros hoje em dia, antes sinônimo de consumo elevado de combustível. Hoje, o motor turbinado melhora a potência e a eficiência energética do veículo. Os modelos HB20 e Argo estão equipados com esse equipamento. A tecnologia Star/Stop pode, em média, diminuir o consumo em 2,72%. Essa tecnologia realiza o desligamento do motor após a sua parada e volta a ligá-lo assim que o condutor aciona o pedal de aceleração ou de embreagem. Modelos similares já possuem essa inovação, como, por exemplo, o Fiat Uno, o Argo e o Sandero.

#### 6.3.1.1 Comparação das dimensões

A comparação entre as dimensões dos modais se faz necessária para o melhor entendimento da complexidade da questão. A análise vai além da comparação entre motores. Existem elementos outros que vão contribuir direta ou indiretamente para a qualidade da eficiência energética e não restritos à escala de análise dos ciclos de vida ou energia indireta, como podemos ser levados a pensar em primeiro momento. Por isso mesmo, é fundamental compararmos no presente trabalho a área ocupada por cada modal, o peso dos veículos e o tempo gasto por cada um deles.

A área dos modais é um elemento que influencia diretamente na mobilidade urbana, quanto mais ocupada as vias de circulação, maior a dificuldade de fluidez da circulação. Quanto menos fluída a circulação, menor será a eficiência energética do sistema, ocasionando, também, uma necessidade de um maior investimento em infraestrutura, tecnologias e técnicas, em mobilidade urbana.

Nesse elemento, mais uma vez é o carro que traz o maior custo social e ambiental. Segundo Vasconcellos (2006), no início do século, na cidade de São Paulo, os automóveis ocupavam 88% da área viária, enquanto os ônibus ficavam com 11%.

No nosso caso, o carro da comparação é do tipo Hatch, tipo de carro de menor porte comparado com os modelos mais vendidos. Mesmo assim, com um comprimento de 3.030 mm e largura de 1.705 mm, sua área fica em 5,2 m<sup>2</sup>. Como no nosso trabalho levamos em conta 402 carros, eles ocupam uma área total de 2.090 m<sup>2</sup>. Relacionando essa área ao número de passageiros, temos a área média ocupada por passageiros de 1,04m<sup>2</sup> ou 1 passageiros por m<sup>2</sup>.

Cabe também ressaltar que a área média ocupada por passageiro nos automóveis, na prática, é muito maior. O modelo Onix utilizado na nossa comparação é um carro tipo Hatch, também chamado de compacto. Outros tipos, como SUVs, Picapes e Sedans, ocupam uma área muito maior. Restringindo nos aos 15 carros mais vendidos de 2019, temos modelos como o Prisma (8° mais vendido), com área de 7,2m<sup>2</sup>, Toro (11° mais vendido), com área de 9m<sup>2</sup> e o Corolla (14° mais vendido), muito superior aos 5,2m<sup>2</sup> do Onix.

O ônibus modelo Padron vem em seguida, ocupando uma área total de 759 m<sup>2</sup>, com seus 13.200 mm de comprimento, 2.500 mm de largura, resultando em uma área de 33 m<sup>2</sup> para cada ônibus, lembrando que o número de ônibus da nossa comparação é de 23 veículos, a área média ocupada por passageiro nesse caso é de 0,4 m<sup>2</sup> ou 2,6 passageiros por m<sup>2</sup>. Para o trem, consideraremos a área de um único veículo, o modelo 7000, que possui 8 carros, com dois tipos de carros diferentes, ambos com uma largura de 3.050mm, mas com comprimentos diversos, 4 carros motores medindo o comprimento de 21.922mm e 4 carros reboques de comprimento de 20.610 mm, totalizando uma área de 519,2 m<sup>2</sup> (menos que a grande área de um campo de futebol), com uma área média ocupada por passageiro de 0,25 m<sup>2</sup> ou 4 passageiros por m<sup>2</sup>.

Não consideramos o espaço entre os veículos, mesmo os veículos parados, que têm uma distância mínima entre eles, o que na soma entre os diversos veículos, no caso dos automóveis e dos ônibus, expande ainda mais a sua área. Em 2013, o jornal Folha de São Paulo fez uma experiência na Av. Pacaembu na cidade de São Paulo. Em tal experiência eles simularam o espaço ocupado por 48 passageiros, utilizando diferentes modais, como resultado foram geradas uma coleção de fotografia que segue nas Figuras 17, 18, 19 e 20. Essa reportagem foi inspirada em um experimento realizado em 1991 em Münster (Alemanha), depois repetida em outras partes do mundo.

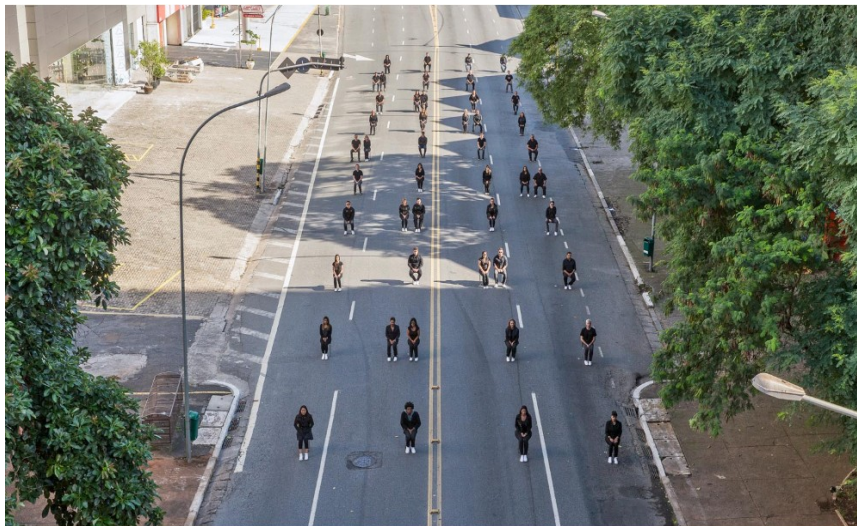


Figura 17: Ocupação dos carros, em via pública



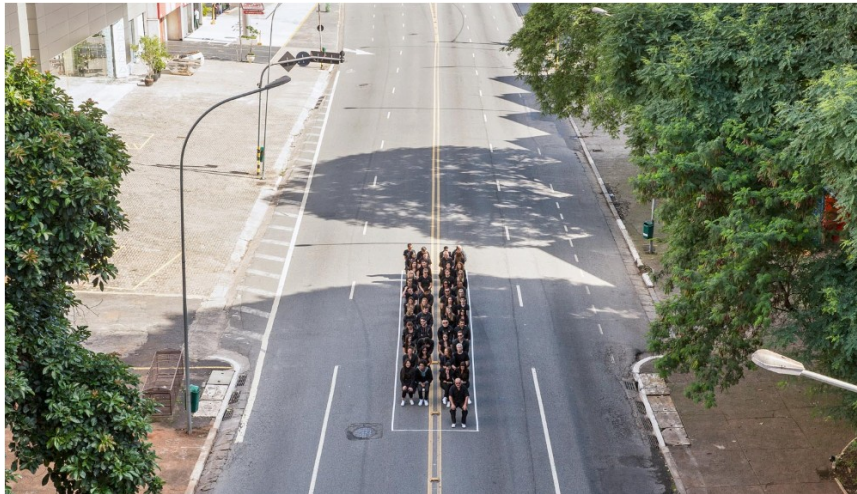
Fonte: Folha de São Paulo (2015)

Figura 18: Espaço viário ocupado por 48 passageiros transportados por automóveis



Fonte: Folha de São Paulo (2015)

Figura 19: Espaço viário ocupado por 48 passageiros transportados por ônibus



Fonte: Folha de São Paulo (2015)

Figura 20: Espaço ocupado por 48 passageiros em um vagão, transportados por trem



Fonte: Folha de São Paulo (2015)

Tanto a comparação desta pesquisa até agora, quanto a experiência da folha de São Paulo, não levaram um fator importante em consideração. Os veículos ocupam uma área ainda maior quando estão em movimento. Uma vez que o veículo se movimenta, ele passa a ter que aumentar a distância em relação aos outros veículos e essa distância é diretamente proporcional à velocidade. Segundo a coordenadora de projetos especiais do Detran-RJ, Janete Bloise, em entrevista ao portal G1, a distância entre os veículos, no caso dos automóveis, deve ser de um automóvel para cada 20 km/h, ou seja, em nosso trecho de análise, com velocidade média de 60 km/h, a distância seria de 3 automóveis.



Usando essa lógica, tendo como base 7 faixas de trânsito, teríamos 1.185 “automóveis fantasmas” na via, ocupando uma área de 8.253,4m<sup>2</sup> (equivalente a 1 campo de futebol). No trecho da nossa análise, o número de faixas varia, assim como a velocidade máxima. Desse modo, essa área também variaria muito durante o percurso. Outro aspecto que afeta a área ocupada pelos veículos é o perfil do condutor, condutores mais agressivos tendem a diminuir a distância do seu veículo com o veículo à frente, um condutor extremamente cauteloso pode manter uma distância maior que a recomendada.

Como na nossa análise comparativa, levamos essa mesma lógica para os ônibus, considerando que o limite de velocidade para esse modal é de 50 km/h e que ele deve circular na via local da Marginal Pinheiros, limitamos o número de faixas para três. Desse modo, teríamos 2.079 m<sup>2</sup> (1/4 de um campo de futebol) ocupados para o transporte dos 2008 passageiros nesse modal e gerando 40 “ônibus fantasmas”. No caso dos ônibus, tanto o número de faixas quanto a velocidade máxima dos veículos pode ser mantida por todo trecho da nossa análise.

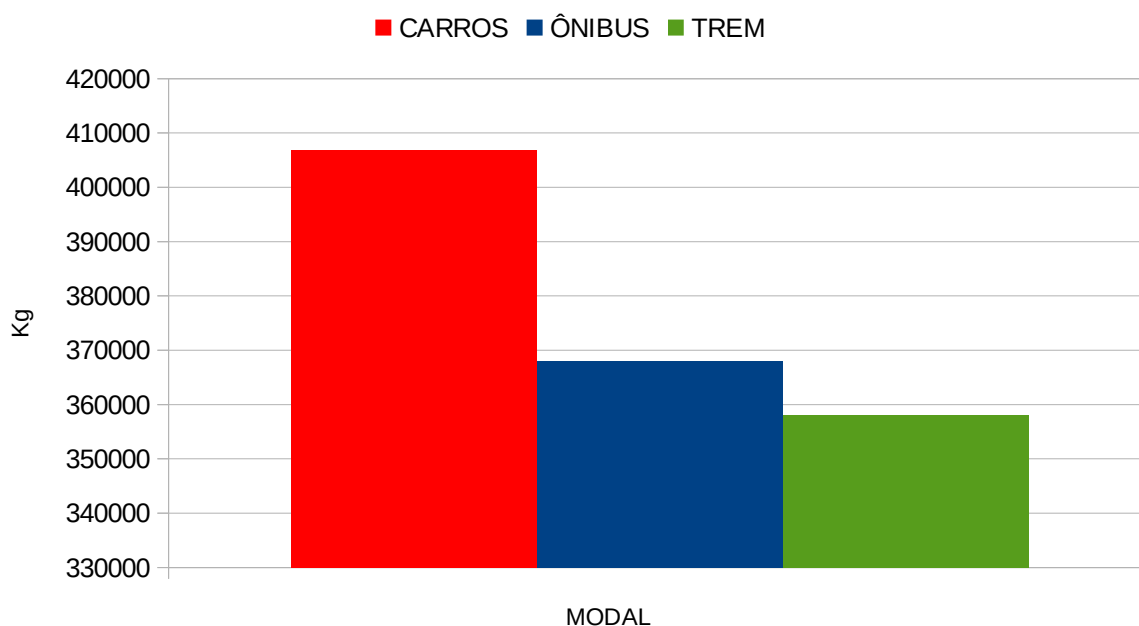
A distância entre trens, não será levada em conta, já que, na nossa pesquisa, consideramos um trem.

Levando em consideração as áreas máximas, o trem ocupa a via férrea numa extensão de 170 m, a extensão da plataforma de uma das estações da CPTM. Já os ônibus ocupariam três faixas da marginal Pinheiros em 330 m, equivalentes a quatro quarteirões e os automóveis ocupariam, por sua vez, 2 Km, contando oito faixas dessa via. Essa distância corresponde, por exemplo, ao trecho entre as estações Berrini e Morumbi, dentro da área de análise.

O consumo do espaço físico pelos modais vai além do seu espaço consumido nas vias. Eles necessitam de espaços de estacionamento, que no caso dos modais coletivos se limita a terminais e pátios, mas no caso dos carros, esse consumo vai além. Em muitos casos, o dono do veículo tem sua própria garagem, são disponibilizados uma série de estacionamentos privados e ainda as próprias vias são usadas. O consumo de espaço físico vai ainda mais além, para operar o sistema de transporte, uma série de outras instalações são necessárias, como: Postos de abastecimento, Oficinas, Depósitos de pesas, Concessionárias e agências, estabelecimentos de treinamento, estabelecimentos fiscalizadores e órgãos burocráticos.

O peso é outra característica que influencia na eficiência energética, um veículo mais pesado requer um motor mais potente, motores mais potentes consomem mais combustível. É claro que para uma análise de eficiência energética nos transportes esse peso deve ser relacionado com a sua capacidade de transportar. O carro apresenta um peso de 1.012Kg, os 402 carros apresentam um total de 406.824Kg, o que resulta em 202,6Kg por passageiro. O ônibus Padron tem um peso maior que 16.000 Kg, contando os 23 veículos temos um peso maior que 368.000 Kg, conseqüentemente 183,3 Kg por passageiro. Já o trem da série 7000, pesa 358.148 Kg, assim, cada passageiro corresponde a 178,4 Kg.

Gráfico 4: Peso total de cada modal



Fonte: Autor (2020)

O peso também revela o quanto de matéria-prima foi empregada para a produção de certo veículo. Esse é um aspecto importante para os estudos sobre energia indireta. Outro aspecto é que esse peso também está relacionado ao desgaste das vias e as vias desgastadas sem a manutenção devida ocasionam um maior consumo, assim como a própria interdição de uma via causa problemas na fluidez da circulação, provocando, novamente, uma piora na eficiência energética.

Tratando-se da eficiência energética, não podemos perder de vista o trabalho que é realizado, no caso da mobilidade urbana, a circulação de pessoas e objetos, esse movimento tem, pelo menos, dois pontos, do ponto A para o ponto B, como no exemplo da nossa pesquisa. Esse movimento é realizado em um determinado tempo, além disso, o tempo é uma variável para se calcular a velocidade média dos veículos. Outro fator que intervém na eficiência energética, dessa maneira, é o tempo, fator importante na análise de eficiência energética.

Nesse aspecto, a única afirmativa seria em relação ao tempo de percurso do trem. Nos demais casos, o número de veículos é um complicador para se estipular até mesmo com aproximações o tempo de viagem. No início do percurso para esses veículos, na Marginal Pinheiros, na altura da estação Socorro da CPTM, temos somente três faixas de circulação, o que já atrasaria muito a partida do volume elevado de veículos, principalmente dos carros. A variação de número de faixas acontece outras vezes no percurso, com entradas e saídas da via e a própria interação entre os veículos, o que vai depender também dos condutores, intervir na fluidez da circulação, na velocidade média dos veículos e, conseqüentemente, no tempo de percurso.

O tempo de percurso do trem, nesse caso, é de 29 minutos, com uma regularidade de 96,7% no ano de 2018 (CPTM,2018), sendo empregada uma velocidade média de 37 Km/h para percorrer os 18,3 Km entre as estações Ceasa e Socorro. Nesse percurso, incluindo essas duas estações, temos 12 estações, ocorrendo paradas de embarque e desembarque de passageiros em todas elas. Caso desconsiderássemos as paradas de embarque e desembarque, a velocidade média seria de 72Km/h e o tempo seria de 15 minutos.

Quanto ao ônibus, não temos uma linha que faça o percurso total da área da pesquisa, no decorrer desse percurso temos 30 pontos de parada para embarque e desembarque. No entanto, alguns são próximos entre si, o que não faria sentido serem usados por uma mesma linha. Então, não podemos precisar quantas paradas seriam realizadas. Segundo a CET (MSVP, 2018), as velocidades médias dos ônibus na faixa exclusiva da Marginal Pinheiros são de 27,9 km/h no horário de pico da manhã e 28,8 km/h no horário de pico da tarde. Levando em consideração o primeiro caso, teríamos um tempo de percurso de 39 minutos. Se assim como o trem desconsiderássemos as paradas, teríamos que levar em conta os 50 Km/h, velocidade máxima do ônibus urbano na cidade de São Paulo, nesse caso o tempo gasto seria de 22 minutos.

No caso dos automóveis, para um único exemplar, o programa Google Maps estipula um tempo de 18 minutos, que resulta em uma velocidade média de 61 km/h para o percurso. O complicador aqui são os 402 veículos da análise e como será melhor explicado mais à frente, a interação entre os veículos e o perfil dos condutores vão influenciar na velocidade média e no tempo de viagem. Se levarmos em conta os horários de pico, as velocidades médias, nesse percurso chegam a 40,3 Km/h no horário de pico da manhã e 26,8 Km/h no horário de pico da tarde (MSVP, 2018), o que levaria, correspondentemente, 27 minutos e 41 minutos.

Desse modo, tem-se uma gama de tempos possíveis para cada modal, como podemos verificar na Tabela 5

Tabela 5: Comparação do tempo de percurso dos modais em diferentes situações

<b>TREM</b>	29 minutos <sup>1</sup>	15 minutos <sup>2</sup>	-
<b>ÔNIBUS</b>	39 minutos <sup>3</sup>	22 minutos <sup>4</sup>	-
<b>CARRO</b>	41 minutos <sup>5</sup>	27 minutos <sup>6</sup>	18 minutos <sup>7</sup>

Nota:

<sup>1</sup> Tempo considerando o de percurso estipulado pela CPTM.

<sup>2</sup> Tempo em horário de vale, sem paradas para embarque e desembarque.

<sup>3</sup> Tempo considerando a velocidade média da faixa exclusiva da Marginal Pinheiros, no horário de pico.

<sup>4</sup> Tempo em horário de vale, sem parada para embarque e desembarque.

<sup>5</sup> Tempo no horário de pico da tarde.

<sup>6</sup> Tempo no horário de pico da manhã.

<sup>7</sup> Tempo em horário de vale.

Fonte: O autor (2020)

Uma diferença gritante entre o automóvel e os modais coletivos, podendo ser apontada como uma das características mais negativas desse modal, é o tempo diário em circulação, enquanto o automóvel circula em média 03h-04h por dia, os modais coletivos circulam 21h por dia (VASCONCELLOS, 2006).

### 6.3.2 Operação ineficiente

Como no caso do projeto observaremos as perdas da operação em duas escalas diferentes, primeiro serão observadas as perdas energéticas relacionadas à operação do sistema de transporte e, no segundo momento, será observado cada modal especificamente.

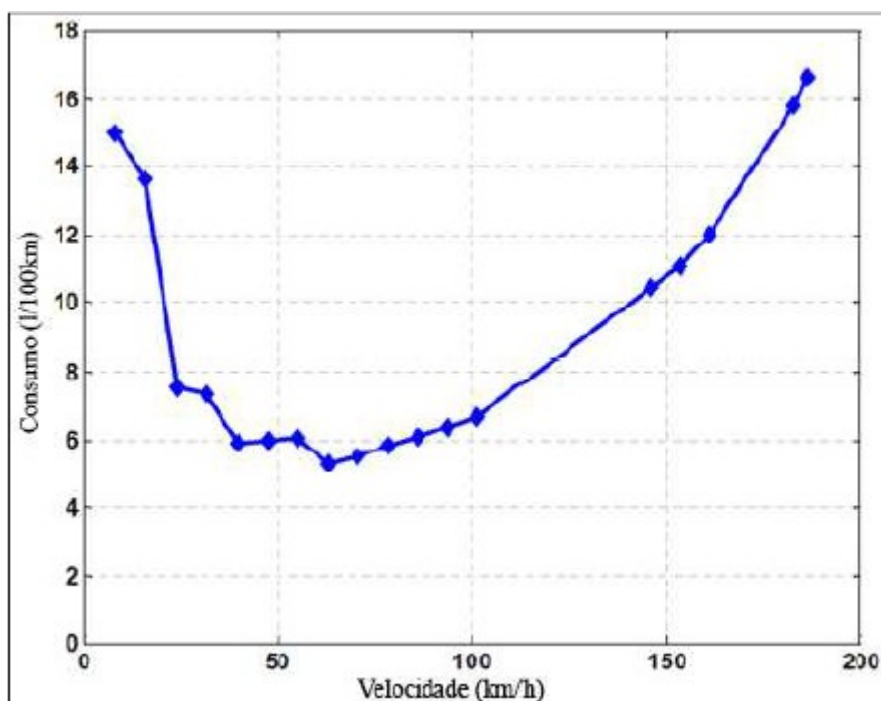
#### 6.3.2.1 Velocidade

Como vimos no capítulo anterior, há anos o projeto do sistema transporte no Brasil é deficiente em termos energéticos. Esse projeto se reflete na área de estudo. Mesmo assim, a operação tem perdas energéticas específicas da operação que podem ser revertidas. Algumas medidas podem ser simples, como a diminuição de velocidade das vias. Na cidade de Barcelona, em 2007, foi implementada uma lei, com o intuito de melhorar a qualidade do ar. Tal lei, dentre outras coisas, limitava a velocidade das estradas de acesso à cidade de 120 Km/h para 80 Km/h. Em 2008 foi registrado, somente nessas vias, uma diminuição expressiva de gases poluentes e da eficiência energética dos veículos, com uma redução de CO<sub>2</sub> de 60.000 t/ano e de 25,5 milhões de litros no consumo de combustíveis (gasolina e gásóleo), o que corresponde a aproximadamente 33,4 Ktep ao ano (PEREIRA, 2011, p. 6). No caso da Marginal Pinheiros, por se tratar de uma via expressa e ter um limite de velocidade menor das estradas de acesso de Barcelona, 90Km/h, os resultados seriam inferiores, mas ainda relevantes, já que a faixa de menor consumo é de 40Km/h e 70Km/h<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup>Ver mais em: <https://super.abril.com.br/blog/oraculo/qual-a-velocidade-ideal-do-carro-para-economizar-mais-combustivel/>.

Figura 21: Consumo médio em relação à velocidade



Fonte: CASTRO PEREIRA (2011)

Foi realizado um teste de relação velocidade e consumo pela revista quatro rodas<sup>10</sup>, feito em quatro carros diferentes (Fox 1.0, Grand Siena 1.6, Fusion 2.0 turbo e Azera 3.0). Os veículos percorreram um percurso de 200 Km em três velocidades constantes (80 Km/h, 100 Km/h e 120 Km/h). Foi observada uma variação de até 113% do consumo de combustível, entre a menor e a maior velocidade no modelo Fusion 2.0. Dos carros observados no teste, o Fox 1.0 tem índices de consumo de combustível e consumo energético mais parecidos com o carro utilizado na nossa pesquisa (Onix 1.4 - 1,73 MJ/Km, consome na gasolina de 11,6 Km/L na cidade e 14 Km/L na estrada, Fox 1.0 – 1,59 MJ/Km, consome na gasolina 12,9 km/L na cidade e 14,2K m/L na estrada).

O Fox 1.0 apresentou a variação de consumo de 35% entre as velocidades de 80 Km/h e 100 Km/h, variação de 50% entre as velocidades de 100 Km/L e 120 Km/L e de 102% entre as velocidades de 80 Km/h e 120 Km/h. Esse aumento exponencial se dá a partir da velocidade de 100 Km/L, como visto na Figura 21, entre a velocidade com consumo ideal, que se dá por volta de 70 Km/h e nos 100 Km/L o aumento é constante, que no caso seria de 1,75% a cada 1 Km/L elevado. Então, po-

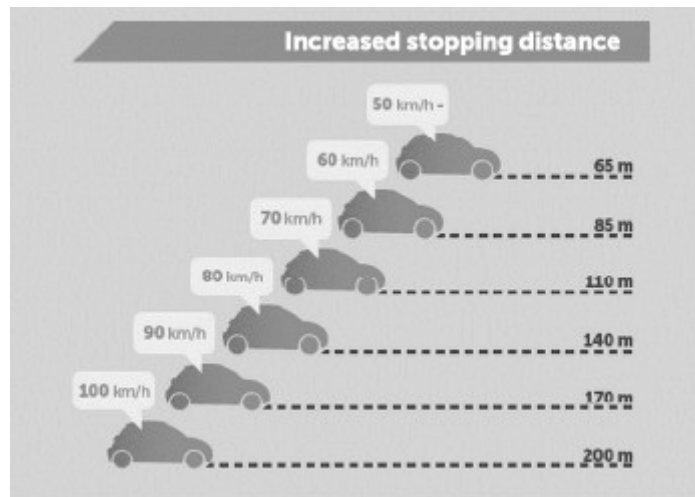
<sup>10</sup>Ver mais em: <https://quatorodas.abril.com.br/auto-servico/o-teste-da-relacao-entre-velocidade-e-consumo/>

demos estipular que, no mínimo, é possível uma redução de 17.5%, com uma redução de limite de velocidade de 90 Km/L para 70 Km/L na marginal Pinheiros, faixa considerada ideal de consumo. Essa redução seria nos horários de vale, em que os veículos conseguem desenvolver a velocidade máxima, mas mesmo nos horários de maior fluxo a redução de velocidade surtiria efeito positivo na eficiência energética dos veículos que ali circulam, o que se daria por dois efeitos, já vistos no período de 2015 – 2016, na cidade de São Paulo.

Com a redução de velocidade, temos o efeito de melhor harmonização do tráfego (CET, 2016), isso porque maiores velocidades diminui o tempo de percepção e reação dos motoristas e aumenta a distância entre os veículos, causando maiores conflitos de deslocamento, interferindo na fluidez do trânsito. Na Figura 22 vemos a melhora da fluidez na Marginal Pinheiros durante o período da redução de velocidade. O outro aspecto que interfere no menor consumo dos veículos que transitam por ali, é a diminuição de acidentes decorrente da diminuição da velocidade. Além da percepção e tempo de reação melhorar, o tempo de parada do veículo também diminui, conforme se pode verificar na Figura 23, causando assim menos acidentes (REDUÇÃO DE VELOCIDADE NAS MARGINAIS, 2015). Na região central, nos primeiros meses de redução de velocidade, a redução de acidentes foi de 18,5%, com redução de 71% dos mortos, o que demonstra a diminuição da intensidade dos acidentes, resultando em menos possíveis danos à via e mais rápida liberação de faixas afetadas.

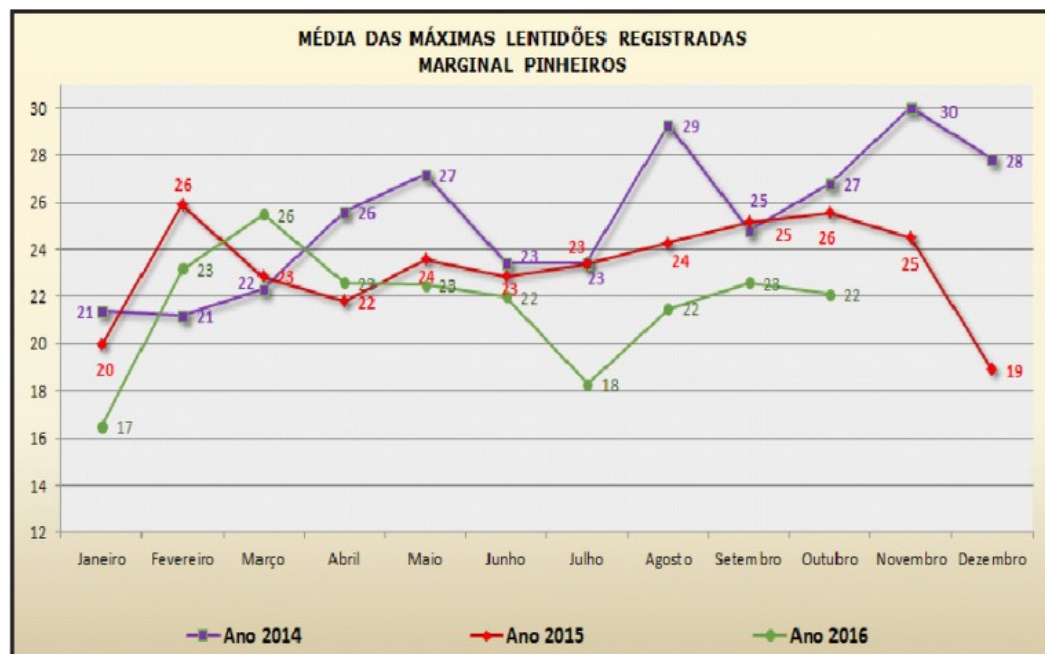
Tanto na melhora da fluidez como na diminuição de acidentes temos um reflexo positivo na eficiência energética dos veículos que ali circulam, pois isso resultará na diminuição de congestionamentos, melhorando a velocidade média constante dos automóveis, diminuindo as desacelerações e as acelerações, o que repercute consideravelmente no consumo de combustível.

Figura 22: Distância de parada do automóvel, com relação a sua velocidade



Fonte: CET (2018)

Figura 23: Melhoria da fluidez durante a redução de velocidade na Marginal Pinheiros



Fonte: CET (2018)



### 6.3.2.2 Idade da frota

A idade dos veículos também pode ser considerada um problema. Com o desgaste trazido pelo tempo e pelo uso, os veículos pioram a sua eficiência energética e a própria tecnologia dos carros atuais são mais eficientes energeticamente do que os carros de gerações passadas. Comparando os modelos de comerciais leves, fabricados pelas 10 principais montadoras de carros, em 2012, com seus modelos de 2017, houve uma melhoria na eficiência energética de 10% para veículos a Etanol e de 11% para veículos a gasolina. Tal melhoria está relacionada diretamente com o programa Inover-Auto do governo federal, que pelos benefícios tributários, estimulou as grandes montadoras a investir em tecnologia, melhoria na segurança, veículos mais baratos, menos poluentes e de menor consumo (ALMEIDA FILHO, 2018). A idade média da frota de veículos paulista é de 9,7 anos. Os automóveis têm 17,4 anos e os ônibus urbanos 11,9 anos (CETESB, 2018), 28% do total da frota foi produzida após 2012 (DETRAN, 2019), marco de mudança da eficiência energética no país nos últimos anos.

A mesma lógica se aplica para os trens - quanto mais moderno o trem, mais eficientes eles são. Embora haja uma renovação da frota nos últimos anos, que vêm até melhorando a eficiência energética por carro (de 2015 até 2018 houve uma redução de 12%), ainda possuem trens antigos, que vão de 30 anos até 54 anos, que consomem consideravelmente mais e aumentam a média de idade da frota para 13 anos. Nos limitando a nossa área de análise, a linha 9-Esmeralda da CPTM tem umas das frotas mais modernas da empresa, limitando-se a dois modelos. Além do 7000 de 10 anos de fabricação, dispõe do modelo 8000 de 8 anos de fabricação, ambos modelos considerados modernos, sem nenhum deficit tecnológico, em relação à eficiência energética, o que é relevante se for comparado com os modelos mais atuais.

### 6.3.2.3 Faixa e corredor de ônibus

Somente 9,5 Km de faixa exclusiva de ônibus está presente na nossa área de análise, um trecho que vai do nosso ponto inicial, estação Socorro da CPTM, até a ponte Ary Torres. Faixas exclusivas ou corredores exclusivos de ônibus contribuem

para a melhor eficiência energética desse modal, diminuindo de 2% a 5% o consumo de combustível (RAMOS, 2019). Cabe ressaltar, que a implantação de faixas ou corredores de ônibus causa diminuição da eficiência energética nos automóveis, devido à diminuição de vias para esses. Sendo assim, pensando na melhoria da eficiência global dos transportes urbanos, a criação de faixas e corredores urbanos devem ser associada à troca de modal do passageiro dos automóveis para os ônibus.

Figura 24: Trajeto da faixa exclusiva de ônibus, na nossa área de estudo



Fonte: <https://entretenimento.band.uol.com.br/melhordata>

rde/noticias/100000610380/marginal-pinheirosganha-faixa-so-para-onibus.html (2020)

#### 6.3.2.4 Qualidade do combustível

Outra questão que influência na eficiência energética dos modais rodoviários da pesquisa é a adulteração de combustível, que além do aumento de consumo imediato, causa danos a diversos equipamentos do veículo, aumentando o consumo em médio e longo prazo. A ANP, pelo Programa de Monitoramento da Qualidade dos Combustíveis (PMQC), fiscaliza a qualidade dos combustíveis consumidos no Brasil

e em 2018 foram coletadas 96.752 amostras. Dessas, 2.946 apresentaram adulteração, no mesmo ano as ações de fiscalização chegaram a 18.684, resultando em 4.506 autos de infração. 92,8% dessas infrações sofridas por postos de abastecimento de combustível ou GLP (Gás Liquefeito de Petróleo), os postos de abastecimentos (instalações para suprimento de combustível, de posse do detentor da instalação, utilizados pelas empresas de ônibus) sofreram 47 atuações, o que corresponde a 1% (ANP, 2019).

No que se refere ao trem, os problemas possíveis sobre o combustível, ou seja, a energia elétrica, são problemas de alimentação, que podem ser ocasionados pela falha no abastecimento da concessionária de energia, descarga atmosférica e problemas técnicos em subestações ou rede aérea da própria empresa. Tais casos impedem a circulação de trens parcialmente ou totalmente por certo período e, em alguns casos, obriga a redução da velocidade e o número de trens em determinado trecho. Nesses casos, são gerados problemas operacionais consideráveis, superlotando ainda mais os trens, reduzindo a velocidade média, aumentando, assim, o consumo. Em 2018 foram registrados na linha 9 – Esmeralda 326.160 passageiros prejudicados, ou seja, essas ocorrências afetaram a circulação de trens, em decorrência de problemas no sistema de abastecimento de energia, no total 18% dos passageiros prejudicados nessa linha.

#### 6.3.2.5 Passageiros transportados

O número de passageiros transportados é um indicador importante na nossa pesquisa, como já explicado, sendo uma das nossas variáveis operacionais e de número já conhecido para a nossa simulação - 2008 passageiros para cada modal, sendo necessário um trem, 23 ônibus com capacidade para 87 passageiros e 402 carros. Para o transporte público levamos em conta a lotação máxima das características técnicas de fábrica, no entanto, sabemos que o transporte público é superutilizado e essa capacidade é tranquilamente superada nos horários de pico, o que resultaria em melhores índices de eficiência energética, segundo o nosso parâmetro, e muito desconforto para os passageiros.

No caso do carro, a sua capacidade é de 5 pessoas, mas sabemos que essa capacidade raramente é alcançada no dia a dia. Foi necessário estipular o número

médio de passageiros transportados pelos automóveis. Para isso, foram feitas observações, a partir das plataformas da CPTM das estações Pinheiros e Vila Olímpia, estações localizadas no trecho da pesquisa. As observações foram realizadas em cinco dias úteis diferentes, com duração de 10 minutos cada observação. Em uma tabela foram divididos os carros com relação ao número de passageiros. Ao final eram divididos o número total de passageiros pelo número total de veículos, obtendo-se uma média simples de passageiros por veículo.

Foram excluídos do levantamento os veículos que poderiam transportar carga, como furgões e picapes, veículos que poderiam ser fretados de pequeno porte, como vans, carros com logotipos de empresas, veículos com insulfilme, obstruídos por outro veículo ou algum outro impeditivo, que impossibilitasse a observação clara da quantidade de ocupantes nos veículos. O resultado das observações foi uma média de 1,46 Passageiros/veículo.

No que diz respeito ao carro, se dá o oposto, ele é subutilizado, sua ocupação média é de 1,46 passageiros, ou seja, 30% da capacidade do veículo que é de 5 passageiros. Desse modo, levando em esse número de passageiros mais próximo da realidade, os dados do carro ficariam em: 1.376 veículos necessários; 43,5 Gj ou 12.080Kwh de gasto total de energia; 6,02 KWh/Pass de gasto per capita de energia; 2.201,6 litros de gasolina.

#### 6.3.2.6 Variação dos usos

As variações de usos dos transportes é outro fator que influencia na eficiência energética do sistema. Se as 28.280 milhões de viagens diárias de veículos motorizados da RMSP(OD, 2017) fossem divididas de maneiras homogêneas durante o dia, os problemas de mobilidade urbana seriam mitigados, mas, na prática, o que acontece é a variação da intensidade do uso dos transportes, formando os chamados horários de pico (horários de maior volume de veículos) e horários de vale (horários de menor volume de veículos). A CET estipula duas faixas de horários de pico para a cidade de São Paulo, o pico da manhã que vai das 07h às 10h e o pico da tarde, começando às 17h e indo até as 20h (MSVP, 2018).

Em 2018, a CET no seu Relatório da Mobilidade no Sistema Viário Principal (MSVP, 2018) traz o estudo sobre a velocidade e o volume de veículos nas principais

vias da cidade de São Paulo, e claro, a marginal Pinheiros estava entre as vias estudadas. Das 24 rotas do estudo, duas estão no trecho da nossa pesquisa, a primeira é a rota 37G – Marginal do Rio Pinheiros (entre Pte. Do Jaguaré e Pte. Eng. Roberto Rossi Zuccolo), a segunda rota é a rota 38G – Marginal Pinheiros (entre Pte. Eng. Roberto Rossi Zuccolo e Pte. João Dias). Ambas as rotas foram estudadas nos dois sentidos, Castelo Branco – Interlagos; Interlagos – Castelo Branco, traremos a seguir os dados do sentido Interlagos – Castelo Branco, que é o foco da nossa pesquisa. Esses dados foram coletados *in loco*, em datas específicas. A rota 37G foi estudada nos dias 12/07/2017 a 24/07/2017, já a rota 38G foi estudada no período de 21/07/2017 a 28/08/2017.

Figura 25: Mapa da rota 37G durante o horário de Pico da manhã



Fonte: MSVP (2016)

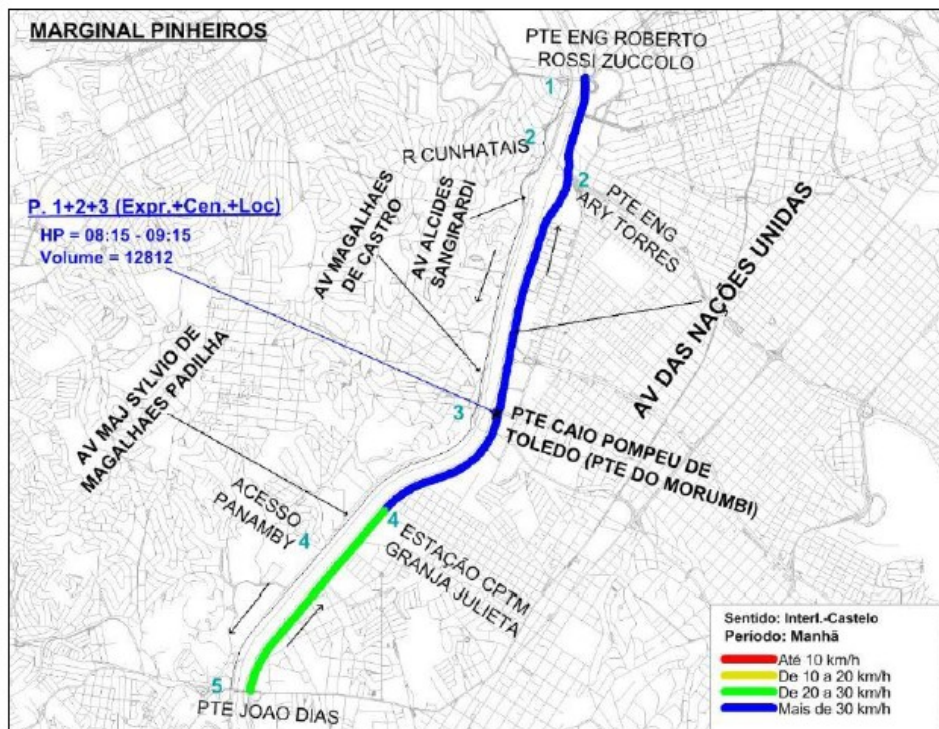


Figura 26: Mapa da rota 37G durante o horário de Pico da tarde



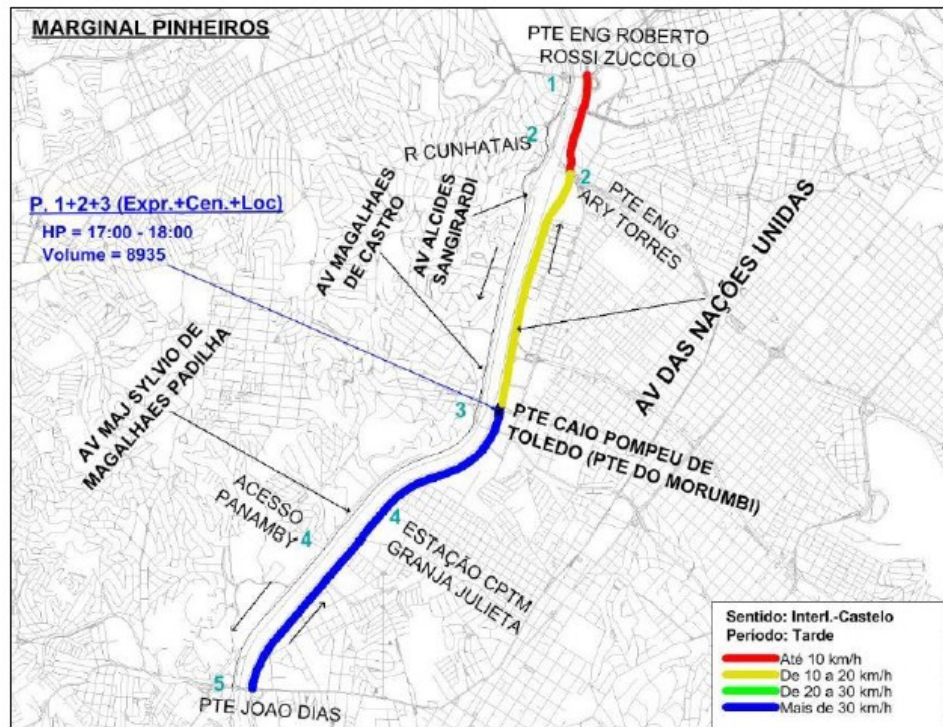
Fonte: MSVP (2016)

Figura 27: Mapa da rota 38G durante o horário de Pico da manhã



Fonte: MSVP (2016)

Figura 28: Mapa da rota 38G durante o horário de Pico da tarde



Fonte: MSVP (2016)

Tabela 6: Dados do Ponto 1 Rota 37G

Ponto 1 \* Av. das Nações Unidas(EXPRESSA), entre Pte. da Cidade Universitária e Pte. da Cidade Universitária

Pico Manhã											Pico Tarde												
Hora	Auto	Ônibus		Caminhões			Moto	Bici-cleta	Volume Total		FHP	Hora	Auto	Ônibus		Caminhões			Moto	Bici-cleta	Volume Total		FHP
		Urb	Fret	2eix	3eix	4eix			Simp.	Equiv.				Urb	Fret	2eix	3eix	4eix			Simp.	Equiv.	
07:00 - 08:00	5.321	0	76	58	55	13	1.009	0	6.532	6.734		17:00 - 18:00	4.425	1	45	42	15	7	972	0	5.507	5.617	0,98
07:15 - 08:15	5.455	0	57	58	52	16	1.014	0	6.652	6.835		17:15 - 18:15	4.169	1	38	35	13	4	1.035	0	5.295	5.386	
07:30 - 08:30	6.009	0	52	70	47	15	936	0	7.129	7.313	0,90	17:30 - 18:30	4.088	0	33	31	10	2	1.058	0	5.222	5.298	
07:45 - 08:45	5.982	0	37	72	49	16	807	0	6.963	7.137		17:45 - 18:45	4.072	0	41	25	8	1	1.094	0	5.241	5.316	
08:00 - 09:00	5.939	0	21	63	58	19	696	0	6.796	6.957		18:00 - 19:00	4.016	0	47	22	8	1	1.195	1	5.290	5.367	
08:15 - 09:15	5.507	1	14	57	62	14	685	0	6.340	6.488		18:15 - 19:15	4.052	0	46	23	6	1	1.146	1	5.275	5.350	
08:30 - 09:30	5.001	1	11	64	79	21	652	0	5.829	6.005		18:30 - 19:30	4.037	0	48	22	5	3	1.091	1	5.207	5.284	
08:45 - 09:45	4.514	2	23	67	86	21	638	0	5.351	5.550		18:45 - 19:45	4.110	0	34	22	7	4	931	1	5.109	5.175	
09:00 - 10:00	4.332	2	26	64	96	21	578	0	5.119	5.328		19:00 - 20:00	4.231	0	26	18	8	3	746	0	5.032	5.087	
Total 3 horas	15.592	2	123	185	209	53	2.283	0	18.447	19.019	0,87	Total 3 horas	12.672	1	118	82	31	11	2.913	1	15.829	16.071	0,95

Nota: Fator hora Pico (FHP) = Mede a variação volumétrica em um período de quinze minutos dentro da hora do maior volume equivalente, o que é igual ao volume total da hora dividido por quatro vezes o volume máximo em quinze minutos. O FHP igual a 1 ocorre quando o volume equivalente é completamente uniforme. O FHP de 3 horas é calculado pelo volume equivalente de 3 horas, dividido por 3 vezes o volume equivalente da hora de pico.

Fonte: MSVP (2016)



Tabela 7: Dados do Ponto 2 Rota 37G

Ponto 2 Av. das Nações Unidas(CENTRAL), entre Pte. da Cidade Universitária e Pte. da Cidade Universitária

Pico Manhã											Pico Tarde												
Hora	Auto	Ônibus		Caminhões			Moto	Bici- cleta	Volume Total		FHP	Hora	Auto	Ônibus		Caminhões			Moto	Bici- cleta	Volume Total		FHP
		Urb	Fret	2eix	3eix	4eix			Simp.	Equiv.				Urb	Fret	2eix	3eix	4eix			Simp.	Equiv.	
07:00 - 08:00	925	14	50	6	6	0	94	0	1.095	1.171		17:00 - 18:00	2.282	0	14	17	3	1	335	0	2.652	2.687	
07:15 - 08:15	919	14	34	4	8	0	113	0	1.092	1.152		17:15 - 18:15	2.327	0	25	14	2	0	350	0	2.718	2.759	
07:30 - 08:30	932	13	26	9	11	0	116	0	1.107	1.166		17:30 - 18:30	2.410	0	46	12	2	0	344	0	2.814	2.874	
07:45 - 08:45	932	14	10	11	10	0	131	0	1.108	1.153		17:45 - 18:45	2.536	0	61	12	2	0	385	0	2.996	3.071	
08:00 - 09:00	984	10	4	13	6	0	136	0	1.153	1.186	0,90	18:00 - 19:00	2.545	0	65	11	2	0	390	0	3.013	3.091	0,89
08:15 - 09:15	962	7	5	15	6	0	123	0	1.118	1.151		18:15 - 19:15	2.534	0	60	10	3	0	378	0	2.985	3.058	
08:30 - 09:30	914	8	4	13	7	0	131	0	1.077	1.109		18:30 - 19:30	2.493	0	46	8	4	0	339	0	2.890	2.948	
08:45 - 09:45	821	9	8	11	9	1	117	0	976	1.014		18:45 - 19:45	2.457	1	31	9	2	0	266	0	2.766	2.809	
09:00 - 10:00	836	10	7	9	9	1	134	0	1.006	1.042		19:00 - 20:00	2.493	1	24	7	3	0	222	0	2.750	2.785	
Total 3 horas	2.745	34	61	28	21	1	364	0	3.254	3.399	0,96	Total 3 horas	7.320	1	103	35	8	1	947	0	8.415	8.563	0,92

Fonte: MSVP (2016)

Tabela 8: Dados do Ponto 3 Rota 37G

Ponto 3 Av. das Nações Unidas(LOCAL), entre Pte. da Cidade Universitária e Pte. da Cidade Universitária

Pico Manhã											Pico Tarde												
Hora	Auto	Ônibus		Caminhões			Moto	Bici- cleta	Volume Total		FHP	Hora	Auto	Ônibus		Caminhões			Moto	Bici- cleta	Volume Total		FHP
		Urb	Fret	2eix	3eix	4eix			Simp.	Equiv.				Urb	Fret	2eix	3eix	4eix			Simp.	Equiv.	
07:00 - 08:00	1.765	13	75	7	8	8	167	8	2.051	2.157		17:00 - 18:00	3.827	5	33	33	10	0	278	1	4.187	4.267	
07:15 - 08:15	1.865	13	58	6	9	10	187	7	2.155	2.246		17:15 - 18:15	3.839	5	66	23	8	0	280	1	4.222	4.323	
07:30 - 08:30	1.952	13	31	6	7	9	202	9	2.229	2.289		17:30 - 18:30	3.855	6	89	17	7	0	253	1	4.228	4.346	
07:45 - 08:45	1.975	11	19	9	7	9	211	8	2.249	2.299		17:45 - 18:45	3.834	4	94	14	5	0	283	1	4.235	4.351	
08:00 - 09:00	2.030	11	18	8	8	5	213	8	2.301	2.346		18:00 - 19:00	3.826	8	101	11	4	0	284	2	4.236	4.359	0,96
08:15 - 09:15	2.130	8	18	11	9	4	206	8	2.394	2.439		18:15 - 19:15	3.787	11	75	9	1	0	281	3	4.167	4.261	
08:30 - 09:30	2.203	10	13	11	8	7	218	7	2.477	2.521		18:30 - 19:30	3.699	10	63	10	6	0	276	3	4.067	4.154	
08:45 - 09:45	2.368	8	14	11	10	7	213	7	2.638	2.683	0,92	18:45 - 19:45	3.624	9	49	7	6	0	225	3	3.923	3.992	
09:00 - 10:00	2.364	7	9	10	9	7	186	5	2.597	2.636		19:00 - 20:00	3.520	5	31	6	5	0	190	2	3.759	3.805	
Total 3 horas	6.159	31	102	25	25	20	566	21	6.949	7.138	0,89	Total 3 horas	11.173	18	165	50	19	0	752	5	12.182	12.431	0,95

Fonte: MSVP (2016)

Tabela 9: Dados de tempo de percurso e retardamento da Rota 37G

		Manhã					Tarde				
Sentido	Dist (m)	Tempo Médio de Percurso	Vel (km/h)	% Ret Sem	% Ret Cong	% Ret Total	Tempo Médio de Percurso	Vel (km/h)	% Ret Sem	% Ret Cong	% Ret Total
Castelo Branco - Interlagos	6.600	10:47	36,7	0	22	22	14:04	28,1	0	11	11
Interlagos - Castelo Branco	6.700	08:10	49,0	0	2	2	10:51	37,0	0	7	7

Nota: Rent. = Retardamento, tempo que o veículo se encontra parado durante o percurso da rota, classificados em dois tipos, retardamento Semafórico (Rent Sem) ou retardamento de congestionamento (Rent Cong).

Fonte: MSVP (2016)



Tabela 10: Dados de tempo de percurso e retardamento dos pontos da Rota 37G

**Interlagos - Castelo Branco**

Início: 04.Pte. Engº Roberto R. Zuccolo

			Manhã					Tarde						
Via	Trecho até	Dist (m)	Vel. Média (km/h)			Tempo Médio (mm:ss)	Ret. (%)	Vel. Média (km/h)			Tempo Médio (mm:ss)	Ret. (%)		
			Geral	Viagem				Geral	Viagem					
				01	02	03			01	02	03			
TOTAL DA ROTA		6.700	49,0	49,5	50,7	47,0	08:10	2	37,0	45,9	32,0	35,6	10:51	7
Av. das Nações Unidas/R. Hungria	03.Pte. Eusébio Matoso	1.950	41,9	40,6	47,1	38,8	02:47	3	24,9	44,2	18,4	23,0	04:41	10
Av. das Nações Unidas	02.Pte. da Cidade Universitária	2.050	52,8	56,3	49,9	52,7	02:19	0	42,3	44,5	41,2	41,2	02:54	0
Av. das Nações Unidas/R.Gal.Furt.Nasc.	01.Pte. do Jaguaré	2.700	52,6	53,1	54,3	50,6	03:04	0	49,6	48,6	50,1	50,1	03:16	0

Fonte: MSVP (2016)

Tabela 11: Dados de tempo de percurso e retardamento dos pontos da Rota 37G

Ponto 1 \* Av. das Nações Unidas(EXPRESSA), entre Pte. Caio Pompeu de Toledo(Pte. do Morumbi) e Pte. Caio Pompeu de Toledo(Pte. do Morumbi)

Pico Manhã											Pico Tarde												
Hora	Auto	Ônibus		Caminhões			Moto	Bici- cleta	Volume Total		FHP	Hora	Auto	Ônibus		Caminhões			Moto	Bici- cleta	Volume Total		FHP
		Urb	Fret	2eix	3eix	4eix			Simp.	Equiv.				Urb	Fret	2eix	3eix	4eix			Simp.	Equiv.	
07:00 - 08:00	4.964	0	16	38	52	5	2.374	0	7.449	7.580		17:00 - 18:00	4.417	3	17	40	16	0	1.058	0	5.549	5.625	0,89
07:15 - 08:15	4.862	0	17	32	44	7	2.543	0	7.505	7.605		17:15 - 18:15	4.158	3	17	41	11	2	1.121	0	5.353	5.427	
07:30 - 08:30	4.799	1	17	43	48	12	2.687	1	7.608	7.728		17:30 - 18:30	3.744	2	16	30	10	2	1.149	0	4.953	5.013	
07:45 - 08:45	4.904	1	14	49	44	12	2.703	1	7.728	7.847		17:45 - 18:45	3.145	2	7	26	8	2	1.136	0	4.326	4.371	
08:00 - 09:00	5.248	1	10	51	33	14	2.410	1	7.768	7.876		18:00 - 19:00	2.771	1	5	20	5	3	1.175	0	3.980	4.014	
08:15 - 09:15	5.480	1	9	51	37	13	2.307	1	7.899	8.009	0,92	18:15 - 19:15	2.495	1	5	13	9	2	1.127	0	3.652	3.682	
08:30 - 09:30	5.360	0	15	46	34	12	2.049	0	7.516	7.623		18:30 - 19:30	2.258	0	7	15	10	2	997	0	3.289	3.323	
08:45 - 09:45	5.182	0	16	40	43	13	1.764	0	7.058	7.170		18:45 - 19:45	2.152	0	10	13	13	3	854	0	3.045	3.084	
09:00 - 10:00	4.544	0	16	41	49	12	1.488	0	6.150	6.268		19:00 - 20:00	1.957	0	7	13	12	3	641	0	2.633	2.668	
Total 3 horas	14.756	1	42	130	134	31	6.272	1	21.367	21.704	0,90	Total 3 horas	9.145	4	29	73	33	6	2.872	0	12.162	12.307	0,73

Fonte: MSVP (2016)

Tabela 12: Dados do Ponto 1 Rota 38G

Ponto 2 Av. das Nações Unidas(CENTRAL), entre Pte. Caio Pompeu de Toledo(Pte. do Morumbi) e Pte. Caio Pompeu de Toledo(Pte. do Morumbi)

Pico Manhã											Pico Tarde												
Hora	Auto	Ônibus		Caminhões			Moto	Bicicleta	Volume Total		FHP	Hora	Auto	Ônibus		Caminhões			Moto	Bicicleta	Volume Total		FHP
		Urb	Fret	2eix	3eix	4eix			Simp.	Equiv.				Urb	Fret	2eix	3eix	4eix			Simp.	Equiv.	
07:00 - 08:00	1.249	0	10	0	2	0	161	2	1.424	1.435		17:00 - 18:00	823	0	6	3	0	0	132	0	964	973	0,84
07:15 - 08:15	1.346	0	10	0	2	0	171	0	1.529	1.541		17:15 - 18:15	729	0	5	4	1	0	121	0	860	870	
07:30 - 08:30	1.382	0	9	0	2	0	171	0	1.564	1.575		17:30 - 18:30	590	0	4	3	1	0	124	2	724	731	
07:45 - 08:45	1.388	0	9	0	3	0	184	1	1.565	1.576		17:45 - 18:45	534	0	2	2	1	0	120	2	661	665	
08:00 - 09:00	1.446	0	7	1	2	0	197	1	1.654	1.663		18:00 - 19:00	507	0	1	2	1	0	131	2	644	647	
08:15 - 09:15	1.424	0	5	3	2	1	198	1	1.634	1.644		18:15 - 19:15	506	0	1	2	0	0	127	2	638	640	
08:30 - 09:30	1.399	0	5	4	3	1	213	1	1.626	1.638		18:30 - 19:30	523	0	1	2	0	0	117	0	643	646	
08:45 - 09:45	1.470	0	5	5	2	1	220	0	1.703	1.716	0,96	18:45 - 19:45	494	0	1	1	0	0	121	0	617	619	
09:00 - 10:00	1.473	0	6	10	1	1	187	0	1.678	1.696		19:00 - 20:00	484	0	2	1	0	0	101	0	588	591	
Total 3 horas	4.168	0	23	11	5	1	545	3	4.756	4.794	0,93	Total 3 horas	1.814	0	9	6	1	0	364	2	2.196	2.211	0,78

Fonte: MSVP (2016)

Tabela 13: Dados do Ponto 2 Rota 38G

Ponto 3 Av. das Nações Unidas(LOCAL), entre Pte. Caio Pompeu de Toledo(Pte. do Morumbi) e Pte. Caio Pompeu de Toledo(Pte. do Morumbi)

Pico Manhã											Pico Tarde												
Hora	Auto	Ônibus		Caminhões			Moto	Bicicleta	Volume Total		FHP	Hora	Auto	Ônibus		Caminhões			Moto	Bicicleta	Volume Total		FHP
		Urb	Fret	2eix	3eix	4eix			Simp.	Equiv.				Urb	Fret	2eix	3eix	4eix			Simp.	Equiv.	
07:00 - 08:00	2.164	113	41	9	1	1	839	13	3.181	3.337		17:00 - 18:00	1.790	94	176	6	2	0	353	1	2.422	2.699	
07:15 - 08:15	2.180	99	28	8	1	0	933	13	3.262	3.389		17:15 - 18:15	1.813	96	192	7	4	0	356	1	2.469	2.767	0,90
07:30 - 08:30	2.271	100	20	7	2	0	1.021	12	3.433	3.554		17:30 - 18:30	1.673	87	184	5	4	0	386	1	2.340	2.619	
07:45 - 08:45	2.294	91	14	7	2	0	1.030	9	3.447	3.555	0,99	17:45 - 18:45	1.582	86	126	5	5	0	415	1	2.220	2.441	
08:00 - 09:00	2.285	88	10	7	2	0	934	8	3.334	3.436		18:00 - 19:00	1.491	83	81	3	4	0	456	1	2.119	2.289	
08:15 - 09:15	2.259	88	8	5	2	1	907	9	3.279	3.377		18:15 - 19:15	1.444	80	59	1	3	0	453	1	2.041	2.183	
08:30 - 09:30	2.267	86	6	4	2	2	825	6	3.218	3.314		18:30 - 19:30	1.483	70	22	1	2	0	393	1	1.972	2.066	
08:45 - 09:45	2.284	98	5	6	2	3	738	4	3.140	3.251		18:45 - 19:45	1.410	64	9	3	1	0	334	0	1.821	1.898	
09:00 - 10:00	2.285	94	4	6	2	3	705	3	3.102	3.209		19:00 - 20:00	1.398	68	6	4	1	0	272	0	1.749	1.828	
Total 3 horas	6.734	295	55	22	5	4	2.478	24	9.617	9.962	0,94	Total 3 horas	4.679	245	263	13	7	0	1.081	2	6.290	6.817	0,82

Fonte: MSVP (2016)

Tabela 14: Dados de tempo de percurso e retardamento da Rota 38G

		Manhã					Tarde				
		Tempo Médio de Percurso	Vel (km/h)	% Ret Sem	% Ret Cong	% Ret Total	Tempo Médio de Percurso	Vel (km/h)	% Ret Sem	% Ret Cong	% Ret Total
Sentido	Dist (m)										
Castelo Branco - Interlagos	7.800	08:46	53,1	0	6	6	20:29	22,8	0	19	19
Interlagos - Castelo Branco	7.800	14:48	31,6	0	9	9	28:06	16,6	0	35	35

Fonte: MSVP (2016)

Tabela 15: Dados de tempo de percurso e retardamento dos pontos da Rota 38G

Interlagos - Castelo Branco

Início: 05.Pte. João Dias

início: 03.11.2020 às 05:00 Dias

Via	Trecho até	Dist (m)	Manhã						Tarde					
			Geral	Vel. Média (km/h)			Tempo Médio (mm:ss)	Ret. (%)	Geral	Vel. Média (km/h)			Tempo Médio (mm:ss)	Ret. (%)
				01	02	03				01	02	03		
TOTAL DA ROTA		7.800	31,6	48,8	31,4	23,4	14:48	9	16,6	14,6	14,9	22,6	28:06	35
Av. das Nações Unidas	04.Estação Granja Julieta (CPTM)	2.350	21,9	41,9	19,4	16,3	06:25	9	45,6	47,3	40,9	49,8	03:05	0
Av. das Nações Unidas	03.Pte. do Morumbi (Velha)	1.750	38,6	56,8	33,3	33,2	02:43	3	43,1	41,7	36,8	53,8	02:26	0
Av. das Nações Unidas	02.Pte. Engº Ary Torres	2.650	37,5	53,0	51,6	24,0	04:14	4	12,4	8,8	16,3	14,8	12:49	41
Av. das Nações Unidas	01.Ac. à Av.Cidade Jd.(Pç.Nic.David)	1.050	43,6	45,5	45,5	40,2	01:26	0	6,4	7,3	4,1	12,1	09:46	46

Fonte: MSVP (2016)

Com os dados acima, podemos observar o comportamento da Marginal Pinheiros durante o horário de pico. Esse comportamento afeta a eficiência energética de automóveis e ônibus, além de outros veículos que circulam pelo local. Podemos observar uma disparidade, entre o número de automóveis em relação ao número de ônibus, que circulam nas duas rotas, na rota 37G. No horário de Pico da manhã a média de automóveis somados os 3 pontos de coleta foi de 24.496 veículos, já os ônibus apresentaram nessa rota o número de 67 veículos, no horário de Pico da tarde. Essa rota apresentou um total de 31.165 automóveis e 20 ônibus. Nessa rota, a

oferta de ônibus é absurdamente diminuta, dada a demanda, expressa pelos 31.165 automóveis, que circulam ali no horário de pico da tarde e dos quase 150.000 passageiros que embarcam na linha 9 da CPTM no mesmo período.

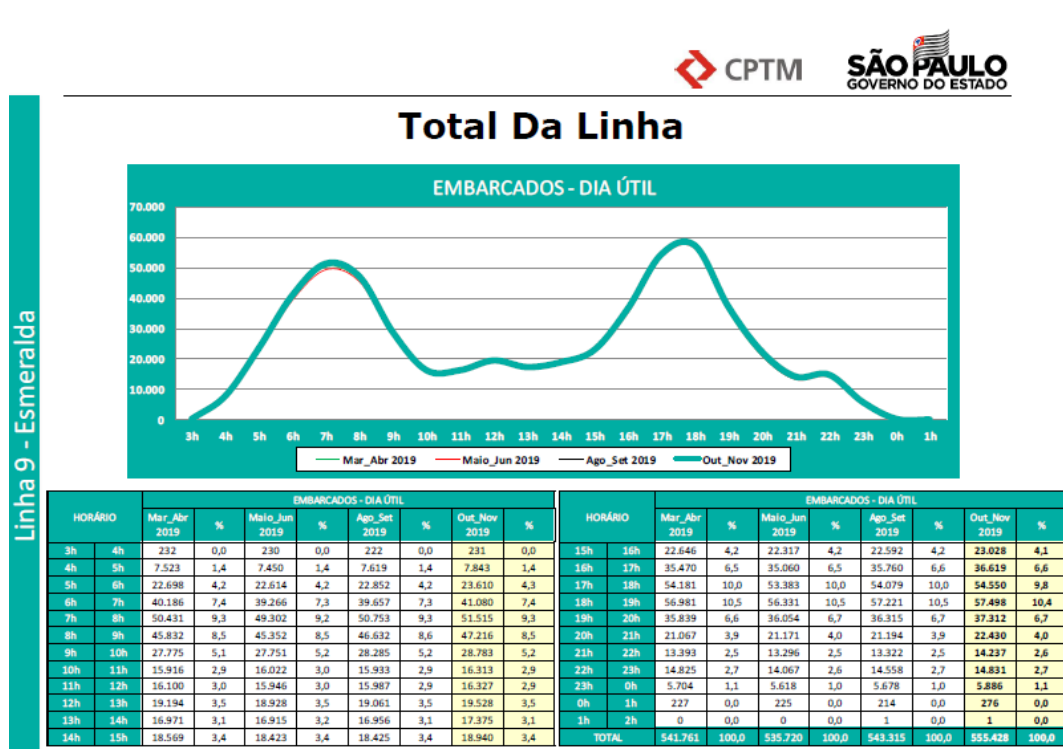
Na rota 38G, essa disparidade diminui, no horário de Pico da manhã, foram computados 25.658 automóveis, por outro lado, os ônibus se limitaram ao volume de 296 ônibus. No horário de pico da tarde, os automóveis têm um volume de 15.638 veículos, contra 249 ônibus. A oferta de ônibus, em comparação com o automóvel, chama a atenção. Na rota 38G no horário de pico da manhã são 62 automóveis para cada ônibus, no horário de pico da tarde 86 automóveis para cada ônibus, na rota 37G, no horário de pico da manhã são 365 carros para cada ônibus, já no horário de pico da tarde, a discrepância salta os olhos, são 1.559 carros para cada ônibus. Um fator que explica a grande diferença do volume de ônibus, entre as rotas 37G e 38G, é a faixa exclusiva de ônibus, que facilita a circulação dele.

Devido ao aumento do número de veículos nos horários de pico, a velocidade média também é alterada. Podemos observar nas Tabelas 10 e 15, a velocidade média de 61 km/h no horário de vale, o que varia durante os horários de pico, chegando à velocidade média de 16,6 km/h no horário de pico da tarde da rota 38G. Fazendo uma média simples, unindo as duas rotas utilizadas, temos uma velocidade média de 40,3 Km/h no pico da manhã e 26,8 Km/h no pico da tarde.

Nesse mesmo estudo foi calculada a velocidade média dos ônibus nas faixas exclusivas. Para a Marginal Pinheiros, essa média foi de 27,9k m/h no horário de pico da manhã e 28,8k m/h no horário de pico da tarde.

Para o caso do trem, os horários de pico são semelhantes. O horário de pico da tarde é o mesmo, das 17h às 20h, período que embarca por volta de 27% dos passageiros que circulam na linha 9 - Esmeralda durante um dia. Para o horário de pico da manhã, o mais adequado é deslocar esse horário para 06h às 09h, horário de maior fluxo no período da manhã. Nessa faixa horária embarcam 25% dos passageiros diários dessa linha.

Figura 29: Número de passageiros embarcados na linha 9 - Esmeralda, entre março e novembro de 2019



Fonte: CPTM (2018)

Nos horários de pico, a CPTM opera com 21 trens, oito a mais do que nos horários de vale. Nesse período, as velocidades se mantêm na média de 37km/h.

#### 6.3.2.7 Condução dos veículos

Outro aspecto que influencia no consumo de energia dos veículos é o modo de condução, essa influência se mostra diferente em cada veículo, como vemos a seguir.

Na operação dos veículos, o comportamento dos condutores também influencia na eficiência energética. Essa influência será maior nos automóveis e ônibus, mas mesmo os trens com seu sistema menos dinâmico têm uma influência significativa na eficiência energética do veículo.

Quanto aos motoristas de automóveis, diversos comportamentos vão influenciar no consumo de energia. Os principais são as gestões das velocidades, das acelerações e da caixa de câmbio e, em menor grau, evitar regimes de rotação do motor muito elevados (acima de 3000RPM), análise dos consumos, condução por anteci-

pação, evitar situações de ralenti, manter o veículo engrenado nas decidas e manter o veículo em boas condições de manutenção.

A adoção desses comportamentos forma um estilo de condução chamado eco-condução. Baseado nesse estilo, Pereira realizou um estudo na grande Lisboa, buscando compreender qual seria a perda energética relacionada ao comportamento dos motoristas da região. Para isso, foram utilizados dataloggers nos carros de 49 indivíduos de diferentes perfis, podendo traçar o perfil de condução de cada um, para, então, comparar-se os consumos. Como resultado foi gerado o “condutor padrão” de um condutor virtual que reuniria as melhores características de eco-condução de todos os condutores. Comparando esse condutor padrão com a média dos condutores, o condutor padrão consome 10,5% menos de energia no ambiente urbano, se compararmos o condutor que menos consumiu, com o condutor que mais consumiu, temos que o segundo consome 29% a mais que o primeiro (PEREIRA, 2011).

No nosso estudo levaremos em conta os 10,5% da diferença do condutor ideal (condutor padrão), que demonstra idealmente as perdas do comportamento na condução dos automóveis, mas cabe aqui ressaltar que esse índice cabe ao motorista lisboeta. O comportamento do motorista de cada região terá as suas características próprias e podemos deduzir a partir de alguns indicativos Tabela 16 que o comportamento do motorista paulistano é mais agressivo se comparado ao motorista lisboeta. Então, esse índice de 10,5% será levado em conta, sabendo que no caso paulistano essa margem de melhoria é ainda maior.

Tabela 16: Comparação de agressividade do motorista Paulistano com o motorista Lisboaeta

COMPARAÇÃO DE AGRESSIVIDADE NO TRÂNSITO – LISBOA X SÃO PAULO		
	<i>Pontuação de raiva na estrada</i>	<i>Taxa de fatalidade/ 100.000 habitantes</i>
SÃO PAULO	90,32	15,4
LISBOA	60,62	2,3

Fonte: Adaptado de <https://www.mister-auto.co.uk/driving-cities-index/> (2020)

O estilo de condução, pelo motorista do ônibus, é um fator relevante na eficiência energética do veículo. A agressividade ao volante é um comportamento que



consome mais combustível, similar ao que acontece nos automóveis. Segundo uma pesquisa de Lucas Ferreira Lopes, baseada na metodologia criada pela Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP), programa administrado pelo banco mundial, com o objetivo de auxiliar os países em desenvolvimento na melhoria da eficiência energética, a educação de motoristas de ônibus pode causar a diminuição do consumo de combustível na casa dos 5% a 15%. Os pilares dessa educação devem ser, segundo Lopes (2014):

- a) reduzir o tempo que o veículo fica ligado sem se movimentar por um período maior do que dois minutos (tais como nos terminais);
- b) operar o veículo dentro dos limites de velocidade e manter a rotação do motor dentro da chamada faixa verde;
- c) acelerar e frear de maneira suave;
- d) usar o momento do próprio veículo para manter a velocidade de cruzeiro;
- e) evitar “bombear” o acelerador;
- f) desenvolver uma visão de trânsito, de forma a planejar a condução, minimizando freadas e acelerações.

Essa necessidade de treinamento aos motoristas de ônibus da cidade de São Paulo, a fim de mitigar sua agressividade, já é sentida pela Sptrans, que há alguns anos iniciou uma série de treinamentos e programas para a redução de acidentes. Além do comportamento agressivo na condução dos veículos consumir mais combustível, ele aumenta o risco de acidentes, que vão causar transtornos ao trânsito, diminuindo mais a eficiência do sistema de transporte.

Em 2018 foram para reciclagem, devido ao envolvimento em acidentes, 293 motoristas de ônibus na cidade de São Paulo. Eles foram encaminhados pelo Programa de Redução de Acidentes em Transportes (PRAT). Além desse programa, a Sptrans premia anualmente os motoristas do ano, sendo um dos critérios o não envolvimento em acidentes, não receber multas de trânsito ou transporte e não estarem envolvidos em reclamações de passageiros. Esse prêmio é dado por outro programa, o Programa Viagem Segura.

Como já dito, a perda energética relacionada ao comportamento do condutor de trem é menor em relação aos outros veículos, podendo ser destacado dois aspectos não quantificados. Primeiro, o conhecimento do perfil da via, com isso, o ma-

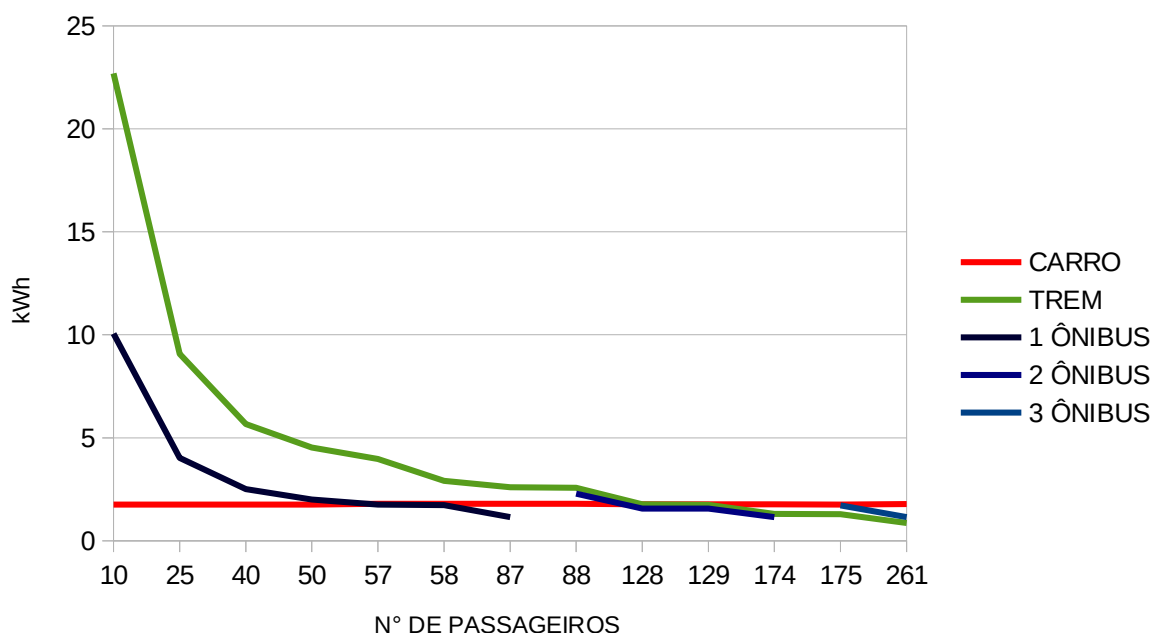
quinista pode utilizar a inércia do trem nos trechos de grau negativo, poupando os motores de tração. Segundo, o conhecimento das quedas de codificação do sistema de sinalização, nos pontos da via-férrea que a codificação de velocidade diminui, o maquinista pode preestabelecer a velocidade no trem, evitando a desaceleração brusca do sistema automático, aproveitando melhor a energia cinética e poupando energia. Na série de trem 7000 existem duas seleções de potência, potência máxima ou potência reduzida. A segunda diminui a potência em 15%. Existe a recomendação para se utilizar a potência reduzida, para poupar o sistema das subestações, mas alguns maquinistas utilizam o trem em potência máxima, o que aumenta também o consumo.

O gerenciamento da velocidade é outro aspecto que depende do maquinista. A extensão da linha 9 – Esmeralda da CPTM é de 30,2 Km, o tempo de percurso é 49 minutos, com velocidade média de 37 Km/h, com 18 estações nesse percurso, com parada para embarque e desembarque em todas elas. Embora a velocidade média seja de 37 Km/h, as velocidades máximas entre as estações variam de 50 Km/h a 90 Km/h. O maquinista, seguindo essas velocidades máximas, adiantaria o tempo de percurso do trem em até 5 minutos. Então, o tempo de viagem é comumente administrado, com paradas maiores do que o necessário para manter a regularidade e o tempo de percurso. Se pensarmos na eficiência energética, a administração do tempo de viagem deveria ser feita com a diminuição da velocidade entre as estações, diminuindo, assim, o tempo do trem em aceleração e aumentando a eficiência energética do trem.

## 7. CONCLUSÕES

Mas o trem é mais eficiente a todo momento? Levando em consideração o consumo médio do trem, ele só é mais eficiente que o automóvel a partir do transporte de 129 passageiros. Com 128 pessoas seriam necessários 26 automóveis, levando em conta os 5 passageiros por veículo. Com esse número de passageiros, o carro é mais eficiente, como pode ser observado no Gráfico 5. Em relação ao ônibus, o trem passa a ser mais eficiente, a partir do transporte de 175 pessoas. Com esse número de passageiros seriam necessários 3 ônibus. Com até 2 ônibus, esse modal é mais eficiente que o trem, conforme se pode depreender pelo Gráfico 6. Também podemos observar no Gráfico 5, o momento em que o ônibus se torna mais eficiente que o carro, ele se dá com 58 passageiros (são necessários 12 automóveis).

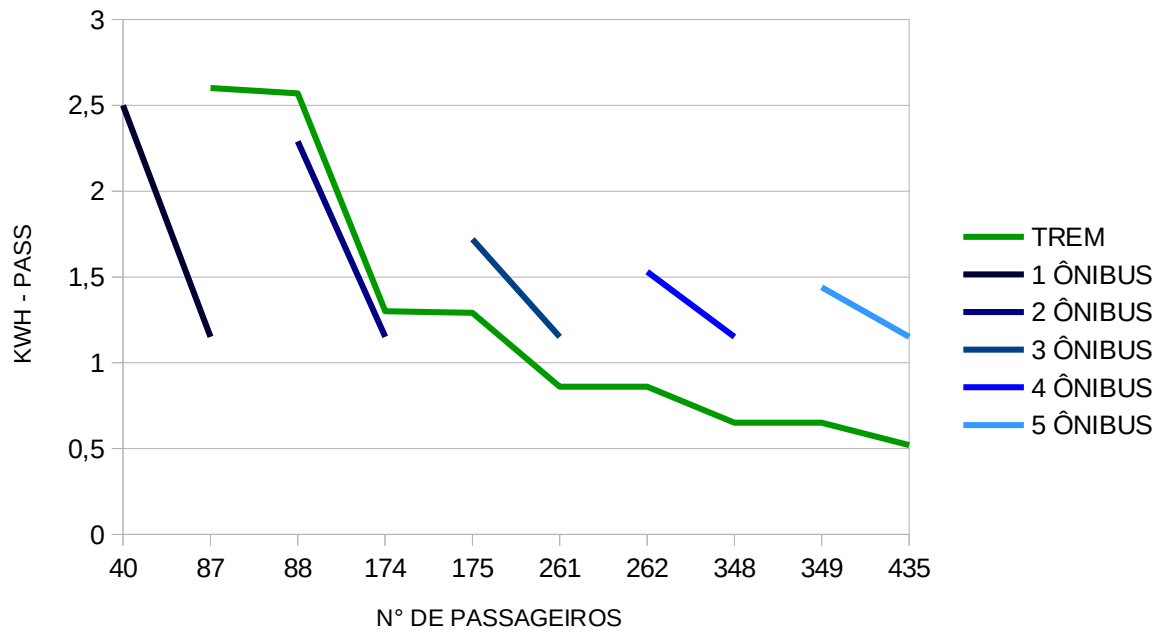
Gráfico 5: Momentos em que trem e ônibus se tornam mais eficientes que o carro



Fonte: Autor (2020)

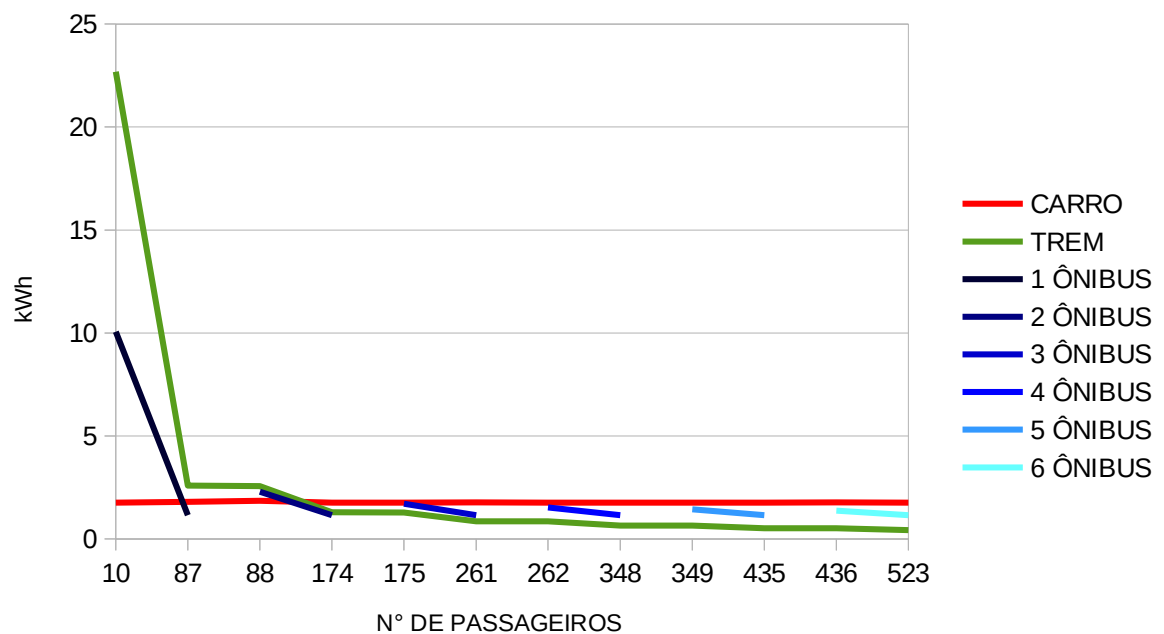


Gráfico 6: Momento em que o trem se torna mais eficiente que o ônibus



Fonte: Autor (2020)

Gráfico 7: Evolução da eficiência energética dos modais com menos de 500 passageiros



Fonte: Autor (2020)

Com base na Figura 29, que mostra a tabela de embarcados na linha 9 da CPTM, de hora em hora e em todas as estações da linha, com o quadro dado acima, é possível estipular os horários no qual o trem é menos ou mais eficiente do que os

demais modais. Se dividirmos o número de embarcados da linha, pelos trens disponíveis, temos uma melhor eficiência energética do trem. Em relação aos demais modais em 20 horas, das 21 horas de operação dos trens, somente entre 00h e 01h que temos uma eficiência energética, que fica abaixo, tanto do ônibus como do automóvel. Os carros, aliás, são utilizados de 2 horas a 4 horas por dia, o que é equivalente ao tempo não operacional dos veículos de transporte público, gerando um desperdício enorme de energia quando pensamos em ciclos de vida e caso levemos em conta toda a estrutura urbana necessária para comportar esses veículos ociosos.

Foram levantados, no presente trabalho, dados sobre as perdas energéticas de cada modal analisado, não podemos perder de vista que tais perdas energéticas podem ser encaradas também como uma margem de melhoria da eficiência energética de um sistema, já que tratamos de perdas reversíveis. Sendo assim, todos os dados expostos tiveram o objetivo de apontar situações de possíveis atuações, a fim de construir-se uma melhora na eficiência energética do sistema de transporte de passageiros, assim como de cada modal analisado.

Dessa maneira, podemos classificar os dados de perdas energéticas em dois campos diferentes: as perdas quantificáveis e as perdas não quantificáveis. Nos levantamentos feitos foram observadas algumas perdas energéticas quantificáveis, tendo dados técnicos ou pesquisas acadêmicas que apontam o possível ganho de energia, caso a mudança seja implementada na Tabela 17. No caso das perdas energéticas não quantificáveis, Tabela 18, sabe-se que implementando certa mudança, existirá um certo ganho de energia, mas não é possível precisar o quanto. Nesse caso, esses dados foram separados em uma tabela, para melhor visualização.

Tabela 17: Perdas energéticas quantificáveis

PERDAS ENERGÉTICAS QUANTIFICÁVEIS			
	CARRO	ÔNIBUS	TREM
Adequação da rede aérea ao freio regenerativo	-	-	20,00%
Design ultrapassado	2,00%	-	-
Peso do veículo	7,00%	-	-
Tecnologia Start/Stop	2,72%	-	-
Volta da velocidade máxima para 90km/h (Em horário de vale)	17,50%	-	-
Falta de faixa exclusiva de ônibus		2,00%	-
Capacidade subutilizada	71,00%	-	-
Fator comportamental na condução do veículo	10,50%	5,0% - 25%	-

Fonte: Autor (2020)

Tabela 18: Perdas energéticas não quantificáveis

PERDAS ENERGÉTICA NÃO QUANTIFICÁVEIS			
CARRO	ÔNIBUS	TREM	SISTEMA DE TRANSPORTE
Baixa fluidez em decorrência do limite de velocidade.	Baixa fluidez em decorrência do limite de velocidade.	Sistema de ar-condicionado.	Preferência pelo transporte rodoviário. Discrepância entre a extensão de via rodoviária e metroferroviária.
Idade da frota.	Idade da frota.	Pouco número de subestações.	Preferência pelo transporte individual (automóvel). Disparidade entre o número de veículos de individuais comparado com os veículos de transporte coletivo.
Combustível adulterado.	Influência dos horários de pico.	Sistema de sinalização defasado.	Morosidade do Estado em tomar medidas regulatórias e legislativas na direção da melhoria da eficiência energética no sistema de transporte.
Influência dos horários de pico.	-	Problemas na alimentação de energia.	-
-	-	Fator comportamental na condução do veículo.	-

Fonte: Autor (2020)

Esse levantamento é não cumulativo, já que muito desses critérios são inter-relacionados entre si, por exemplo, uma mudança no design do automóvel pode interferir no peso de mesmo.

A emissão de poluentes como mencionado influencia na intensidade da ilha de calor da RMSP e segundo a IA é fator decisivo no aumento da temperatura global, ambos os fenômenos climáticos, intervêm na eficiência energética dos veículos, já que se faz necessário maior uso de ar-condicionado e aquecedor. Embora não seja foco desse trabalho e no momento não é possível mensurar o tamanho dessa influência, demonstramos somente as emissões dos veículos pesquisados.

A quantidade de gases poluentes foi distinta entre os modais. No trem que tem uma emissão indireta de gases, foi coletado o dado de fator de emissão de GEE para a geração hidrelétrica no valor de 86 gCO<sub>2</sub>eq/kWh. A partir desse fator, foi calculada a emissão total para os 226,92 kWh consumidos pelo trem na nossa pesquisa. Chegamos ao resultado de 19.515 gCO<sub>2</sub>eq. Dividindo esse número pelo número de passageiros transportados, temos o consumo por passageiro de 9,7 gCO<sub>2</sub>eq ou 0,5 gCO<sub>2</sub>eq pass-Km.

Para os demais modais conseguimos ir além dos GEE. No caso do ônibus Padron, a emissão de CO<sub>2</sub> é de 1.390 g/Km. Contando a lotação máxima do ônibus, temos a relação de 16 gCO<sub>2</sub> por pass-Km e no percurso total de emissões de 585.051 gCO<sub>2</sub>, bem como a emissão per capita total de 291,3 gCO<sub>2</sub>. O Óxido de Azoto (NOx) é um gás que causa problemas à saúde humana, à fauna e à flora e contribui para a formação de chuvas ácidas. A emissão pelos escapamentos do ônibus desse poluente é na proporção de 9,9 g/Km, com emissão de 0,1 gNOx por pass-Km, emissões totais no percurso da pesquisa de 4,1 KgNOx e consumo total per capita de 2 gNOx por passageiro.

Outro poluente relevante emitido pelo escapamento do ônibus, é o Material Particulado, mistura complexa de sólidos com diâmetro reduzido. Esse poluente está relacionado com problemas sérios de saúde, como câncer e enfermidades respiratórias graves. Esse poluente é emitido na proporção de 0,165 g/Km, com emissão de 0,002 gMP pass-Km, emissões totais no percurso da pesquisa de 69,4 gMP e consumo total per capita de 0,03 gMP.

O Onix tem, por sua vez, uma emissão de CO<sub>2</sub> de 106g/Km, com emissão de 72,6 CO<sub>2</sub> pass-Km, emissões totais no percurso da pesquisa de 2,66 TonCO<sub>2</sub> e consumo per capita de 1,3 KgCO<sub>2</sub>. O NOx também é emitido pelo escapamento do carro, com uma taxa de 0,028 g/Km, com emissão de 0,019 gNOx pass-Km, emissões totais no percurso da pesquisa de 705 gNOx e consumo total per capita de 0,35 gNOx. O monóxido de Carbono (CO) é um gás incolor gerado pela queima de com-

bustível fóssil, que causa mal-estar ou até a morte, se inalado em grandes quantidades. A emissão desse poluente pelo Onix é de 0,593 g/Km, com emissão de 0,4 gCO pass-Km, emissões totais no percurso da pesquisa de 14,9 KgCO e consumo total per capita de 7,4 gCO. Por último, temos a emissão de NMHC um hidrocarboneto não metano, precursor para a formação do ozônio troposférico. Nosso automóvel emite 0,025 g/Km de NMHC, com emissão de 0,017 gNMHC pass-Km, emissões totais no percurso da pesquisa de 629,5 gNMHC e consumo total per capita de 0,3 gNMHC.

Tabela 19: Comparação de emissões

EMIÇÃO DE POLUENTES POR PASSAGEIRO			
	CARRO	ÔNIBUS	TREM
GEE	1.300gCO <sub>2</sub>	291,3gCO <sub>2</sub>	9,7gCO <sub>2</sub> eq
CO <sub>2</sub>	1.300gCO <sub>2</sub>	291,3gCO <sub>2</sub>	-
CO	7,4gCO	(a)	-
MP	(b)	0,03gMP	-
Nox	0,35gNOx	2gNOx	-
NMHC	0,3gNMHC	(c)	-

<sup>(a)</sup> Segundo CETESB 2018, para o ano de 2018, a estimativa de emissões de CO, da frota de ônibus Urbanos da RMSP é de 1.820 Ton. Nesse levantamento, as emissões da frota de automóveis flex, utilizando gasolina é de 9.964 Ton de CO.

<sup>(b)</sup> Segundo CETESB 2018, para o ano de 2018, a estimativa de emissões de MP, da frota de automóveis flex, utilizando gasolina da RMSP é de 17 Ton. Nesse levantamento, as emissões da frota de ônibus Urbanos são de 235 Ton.

<sup>(c)</sup> Segundo CETESB 2018, para o ano de 2018, a estimativa de emissões de NMHC, da frota de ônibus Urbanos da RMSP é de 353 Ton. Nesse levantamento, as emissões da frota de automóveis flex, utilizando gasolina é de 996Ton de NMHC.

Fonte: O autor (2020)

Por último, destacamos que o automóvel, assim como esperado, tem uma pior eficiência energética que os demais modais dessa pesquisa. Esse quadro não muda em todos os cenários. Mesmo com novas tecnologias e as técnicas sendo implantadas nos automóveis, mudanças similares acabam acontecendo nos outros modais, como no nosso exemplo de correção das perdas quantificáveis. Em outras palavras, o transporte coletivo é mais eficiente do que o transporte individual, em todos os cenários.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA FILHO, Gilberto. **Programa inovar-auto**: Atendimento das metas de eficiência energética e suas externalidades. Orientador: Prof. Dr. João Amato Neto. 2018. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Automotiva) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2018.

ALVES, Sizenando Silveira. **Tipificação dos instrumentos de política de apoio à eficiência energética**: a experiência mundial e o cenário nacional. Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Saidel. 384 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica, USP, São Paulo, 2007.

BASTIN, CRISTINA. **Análise da discussão de Novas Tecnologias Automotivas em Prol da Eficiência Energética da Frota de Novos Veículos Leves no Brasil**. Orientadores: Luiz Pinguelli Rosa e Alexandre Salem Szklo. 2010. 277 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2010

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**: 2019. Rio de Janeiro: ANP, 2019.

BRASIL. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2018.

BRASIL. Estatuto da Cidade. **Lei N° 10.257 de 10 de julho de 2001**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/l10257.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm). Acesso em: 06 jun. 2019.

BRASIL. **Lei da Mobilidade Urbana**. Lei N° 12.587 de 3 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes de Política Nacional de Mobilidade Urbana. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12587.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12587.htm). Acesso em: 30 jan. 2020.

BRASIL. **Lei de Eficiência Energética**. Lei N° 10.295 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/LEIS\\_2001/L10295.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10295.htm). Acesso em: 21 jan. 2020.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **BEN - Balanço Energético Nacional 2018**. Brasília - DF, 2018.

BRASIL. Ministério dos Transportes 2017. **Anuário Estatístico de Transporte**. Brasília - DF, 2017.

CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro de. **Mobilidade Urbana Sustentável: Conceito, tendências e reflexões**. Brasília, Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2016.

CASTRO PEREIRA, Nuno, B. R. **Eficiência Energética no Setor dos Transportes Rodoviários: Metodologia para quantificação do excesso de energia consumida devido ao factor comportamental na consuação de veículos automóveis ligeiros**. Lisboa: Departamento de Ciência e Tecnologia da Biomassa, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2011.

CPTM. **Embarcados acumulados 2019**. Disponível em: Acesso em: 20 jan. 2020.

CPTM. **Nossa História**. Disponível em: <https://www.cptm.sp.gov.br/Transparencia/Pages/Manutencao-e-Operacao.aspx>. Acesso em: 30 jul. 2020.

CPTM. **Relatório Integrado da Administração 2018**. Disponível em: <https://www.cptm.sp.gov.br/noticias/Pages/Relat%C3%B3rio-Integrado-da-Administra%C3%A7%C3%A3o-2018.aspx>. Acesso em: 06 ago. 2019.

Dados em sítios do Estado:

DALLMANN, Tim. **Benefícios de tecnologias de ônibus em termos de emissões de poluentes do ar e do clima em São Paulo**. Washington, DC - USA: Relatório técnico, ICCT, 2019.

DENATRAN. **Frota por município, combustível e procedência**. Disponível em: [https://www.detran.sp.gov.br/wps/portal/portaldetran/detran/estatisticatransito!/ut/p/z1/04\\_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfljo8zijU0Mgi2dDB0NLIL8LAWc\\_d0DvCwsLIwCA s31w9EUula5GThaBBm7Gbr6GxIYmOIHEaPfK9DA2cPDwsjH3dDF2cDR0sTE19PL 29jA0pg4\\_QY4gKMBcfrxKljCb3y4fhSaFZghAFaAz4uELCnIDQ0NjTDI9HRUVAQAuU lByA!!/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/](https://www.detran.sp.gov.br/wps/portal/portaldetran/detran/estatisticatransito!/ut/p/z1/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfljo8zijU0Mgi2dDB0NLIL8LAWc_d0DvCwsLIwCA s31w9EUula5GThaBBm7Gbr6GxIYmOIHEaPfK9DA2cPDwsjH3dDF2cDR0sTE19PL 29jA0pg4_QY4gKMBcfrxKljCb3y4fhSaFZghAFaAz4uELCnIDQ0NjTDI9HRUVAQAuU lByA!!/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/). Acesso em: 26 jul. 2019.

EPE. **Eficiência Energética**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica>. Acesso em: 30 mar. 2020.

EQUIPE SEMPRE FAMÍLIA. **Qual o peso médio de homens e mulheres em diferentes países do mundo**. Gazeta do Povo, 12 set. 2016. Disponível em: <https://www.semprefamilia.com.br/saude/qual-o-peso-medio-de-homens-e-mulheres-em-diferentes-paises-do-mundo/>. Acesso em: 21 fev. 2020.

FEARNSIDE, Philip M. **Hidrelétricas na Amazônia: Impactos Ambientais e Sociais na tomada de decisões sobre grandes obras**. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia – INPA, 2015.

G1. **‘Distância segura é de um carro para cada 20 Km/h’, alerta especialista**. 2008. Disponível em: <http://g1.globo.com/Noticias/Carros/0,,MUL611100-9658,00-DISTANCIA+SEGURA+E+DE+UM+CARRO+PARA+CADA+KMH+ALERTA+ESPECI ALISTA.html>. Acesso em: 01 fev. 2020.

GALLO, Ricardo. **Ensaio Sobre o Aperto**. Folha de São Paulo, 2015. Disponível em: <http://arte.folha.uol.com.br/cotidiano/2016/01/24/sp-se-move/>. Acesso em: 07 maio 2019.

HIGA, Caio Vinicius. **Política de Transporte Coletivo em São Paulo: Meio ambiente construído, sistemas técnicos e organização dos serviços de transportes**.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Betioli Contel. 2012. 124 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) - Departamento de Geografia, FFLCH, USP. São Paulo, 2012.

IBGE. **Brasil/São Paulo.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/panorama>. Acesso em: 16 ago. 2019.

IEA. **Data and Statistics.** Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables?country=WORLD&energy=Balances&year=2016>. Acesso em: 15 abr. 2019.

LOPES, Lucas Ferreira. **Estudo dos parâmetros de influência no consumo de combustível de ônibus urbano.** Orientador: Prof. Alberto C. G. C. Diniz. 2014. 83 f. Projeto (Graduação em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Tecnologia, UNB, Brasília, 2014.

MARTIN, Bruno Moreno; SANTIAGO, J. M.; ALLIL, L. V.; SOUZA, L. F. **Simulação e análise do fluxo de pedestres em terminais.** Orientador: Prof. Dr. Cláudio Luiz Marte. 2017. 90 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

METRÔ. **Infraestrutura - Dados de linhas e estações.** Disponível em: <https://transparencia.metrosp.com.br/dataset/infraestrutura-dados-de-linhas-e-esta%C3%A7%C3%B5es>. Acesso em: 20 jan. 2020.

METRÔ. **Manutenção.** Disponível em: <https://transparencia.metrosp.com.br/dataset/infraestrutura-dados-de-linhas-e-esta%C3%A7%C3%B5es/resource/1d8a9fc7-4560-4822-8232-70f6fae314be>. Acesso em: 10 dez. 2019.

MIRANDA, Mariana Maia de. **Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil:** implicações de aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida. Orientador: Prof. Dr. Sérgio Almeida Pacca. 2012. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MISTER AUTO. **The 2019 Driving Cities Index.** Disponível em: <https://www.mister-auto.co.uk/driving-cities-index/>. Acesso em: 23 mar. 2020.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta. Uso racional: a fonte de energia oculta. **Dossier Energia. Revista do IEA (Instituto de Estudos Avançados)**, São Paulo, v. 21, n. 59, p. 91 - 105, abr., 2007.

ONU. **ONU prevê que cidades abriguem 70% da população mundial até 2050.** Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2019/02/1660701#:~:text=Segundo%20a%20ONU%2C%20atualmente%2055,implementando%20processos%20de%20pol%C3%ADticas%20descentralizadas>. Acesso em: 11/07/2019.

PEDROSO, Fernando. **Quase um em cada quatro veículos vendidos no Brasil é SUV.** Folha de São Paulo, 15 jun. 2019. Disponível em: <https://agora.folha.uol.com.br/maquina/2019/06/quase-um-em-cada-quatro-veiculos-vendidos-no-brasil-e-suv.shtml>. Acesso em: 20 dez. 2019.



PORTO-GONÇALVES, Carlos Walter. Outra Verdade Inconveniente – a nova geografia política da energia numa perspectiva subalterna. **Universitas Humanística**, Bogotá - Colombia, v. 66, n. 66, p. 327-365, jul.-dez. 2008,

RAMOS, Raul Fernando. **Corredores Exclusivos de Ônibus**: Contribuição à Sustentabilidade Urbana. Orientador: Prof. Dr. Wilson de Castro Hilsdorf. 2019. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Centro Universitário FEI. São Bernardo do Campo, 2019.

RIBEIRO, Wagner Costa. Geografia política e gestão internacional dos recursos naturais. **Estud. av. São Paulo**, São Paulo, v. 24. n. 68, p. 69-80, Jan. 2010. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_asttext&pid=S0103-40142010000100008&ing=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_asttext&pid=S0103-40142010000100008&ing=en&nrm=iso). Acesso em: 30 ago. 2019.

RODRIGUES, Fernanda. **Análise da evolução das transformações no Rio Pinheiros e das políticas ambientais associadas**. Orientador: Prof. Dr. Luis Antonio Bittar Venturi. 2012. 112 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Departamento de Geografia, FFLCH, USP, São Paulo. 2012.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SANTOS, Milton. **A Urbanização brasileira**. São Paulo: HUCITEC, 1993.

SÃO PAULO (cidade). Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB. **Emissões Veiculares no estado de São Paulo 2018**. São Paulo, 2019.

SÃO PAULO (cidade). Companhia de Engenharia de Tráfego – CET. **Benefício Imediato da Redução das Velocidades Máximas Permitidas**: O caso das Marginais Tietê e Pinheiros. Notas Técnicas. São Paulo, 2016.

SÃO PAULO (cidade). Companhia de Engenharia de Tráfego – CET. **Pesquisa de Monitoração da Mobilidade**: Mobilidade no Sistema Viário Principal – MSVP. Volume e Velocidade 2017. São Paulo, 2018.

SÃO PAULO (cidade). **Mapa das faixas e corredores de ônibus de SP**. Disponível em: <https://www.mobilize.org.br/mapas/70/mapa-das-faixas-e-corredores-de-onibus-de-sp.html> . Acesso em: 15 dez. 2019.

SÃO PAULO (cidade). **Rede Viária Estrutural**. Disponível em: [https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/arquivos/secretarias/desenvolvimentourbano/mapa/02\\_Rede\\_viaria.jpg](https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/arquivos/secretarias/desenvolvimentourbano/mapa/02_Rede_viaria.jpg). Acesso em: 22 dez. 2019.

SÃO PAULO (cidade). SPTRANS. **Relatório Administrativo**. São Paulo, 2018.

SÃO PAULO (estado). Companhia do Metropolitano de São Paulo – METRÔ. **Pesquisa Origem Destino 2017** – OD. São Paulo. 2019.

SÃO PAULO (estado). **Relatório Integrado da administração**. São Paulo: CPTM, 2018

Sítios e reportagens relevantes:

SPTRANS. **Terminal Pinheiros**. Disponível em: <http://www.sptrans.com.br/terminais/pinheiros/> . Acesso em: 28 jun. 2020.

STEFANI, Celia Regina Baider. **O sistema Ferroviário Paulista**: um estudo sobre a evolução do transporte de passageiros sobre trilhos. Orientador: Prof. Dr. Francisco Capuano Scarlato. 2007. 307 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - FFLCH, USP, São Paulo, 2007.

ULIAN, Flavia. **Sistema de transporte terrestre de passageiros em tempos de reestruturação produtiva na Região Metropolitana de São Paulo**. Orientador: Prof. Dr. Francisco Capuano Scarlato. 2008. 322 f. Tese (Doutorado em Geografia Humana) Departamento de Geografia, FFLCH, USP. São Paulo, 2008.

VASCONCELOS, Eduardo Alcantara de. **Circular é preciso, viver não é preciso: a história do trânsito na cidade de São Paulo**. São Paulo: Annablume, FAPESP, 1999.

VASCONCELOS, Eduardo Alcantara de. **Transporte e meio ambiente**: conceitos e informações para análise de impactos. São Paulo: Annablume, 2006.

VOLVO. **Classificação dos Tipos de ônibus no Brasil**. 2016. Disponível em: <https://www.volvobuses.com.br/pt-br/news/blog/informacoes-e-curiosidades/classificacao-dos-onibus-no-brasil.html>. Acesso em: 21 dez. 2019.