

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
ENGENHARIA AMBIENTAL

**MOBILIDADE URBANA, NOVAS TECNOLOGIAS E
SUSTENTABILIDADE**

Aluno: Júlio Limoli Silva

Orientador: Prof. Dr. Tadeu Fabrício Malheiros

Monografia apresentada ao curso de
graduação em Engenharia Ambiental
da Escola de Engenharia de São Carlos
da Universidade de São Paulo.

São Carlos, SP

2020

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

L732m Limoli, Júlio
MOBILIDADE URBANA, NOVAS TECNOLOGIAS E
SUSTENTABILIDADE / Júlio Limoli; orientador Tadeu
Malheiros. São Carlos, 2020.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, 2020.

1. Mobilidade urbana. 2. Meio ambiente. 3.
Sustentabilidade. 4. Tecnologia. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Julio Limoli Silva**

Data da Defesa: 30/11/2020

Comissão Julgadora:

Resultado:

Tadeu Fabrício Malheiros (Orientador(a))

APROVADO

Tércio Ambrizzi

APROVADO

Thelmo de Carvalho Teixeira Branco Filho

APROVADO



Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091 - Trabalho de Graduação

**MOBILIDADE URBANA, NOVAS TECNOLOGIAS E
SUSTENTABILIDADE**

São Carlos

2020

JÚLIO LIMOLI SILVA

MOBILIDADE URBANA, NOVAS TECNOLOGIAS E SUSTENTABILIDADE

Trabalho de graduação apresentado à Escola
de Engenharia de São Carlos da Universidade
de São Paulo.

Orientador: Prof. Tadeu Fabrício Malheiros

São Carlos

2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, principalmente aos meus pais, os quais me proporcionaram condições adequadas de vida que permitiram o ingresso e os estudos na Universidade de São Paulo. Além da formação educacional, eles me ensinaram coisas que nenhum diploma pode substituir: caráter, ética e respeito.

À Carol, minha companheira que me deu força em todas os momentos necessários, principalmente no processo de fechamento deste ciclo de graduação. Com ela aprendi e aprendo todos os dias a ser uma pessoa melhor.

Aos meus verdadeiros amigos de vida, tanto os mais antigos de Campinas, quanto aos que fiz na faculdade em São Carlos.

A todos moradores e ex-moradores da República Deus Tá Vendo, local que me acolheu e compartilhei a moradia durante meu período de faculdade, composta por pessoas incríveis e exemplares que me ensinaram valores que carregarei para toda a vida.

A todos os professores antes e durante à faculdade que, de fato, se preocuparam com meu aprendizado. Na minha opinião, talvez seja a profissão mais admirável e que mereça o devido respeito em todo o mundo.

Ao Professor Doutor Tadeu Malheiros, meu orientador desta monografia, que desde o início me guiou e deu norte ao trabalho. Além disso, me proporcionou muito aprendizado durante o trabalho e nas disciplinas que ministrou na faculdade.

A todos os funcionários da Universidade de São Paulo que se esforçam em manter esta instituição de ensino em nível de qualidade elevado e exemplar. Desde o chão limpo das salas de aula até as aulas ministradas.

RESUMO

Atualmente, é uma realidade dos centros urbanos alguns problemas de mobilidade urbana, como por exemplo: congestionamentos, aumento de acidentes e mortes em decorrência do trânsito e poluição. Concomitantemente a este cenário, é realidade da presença massiva de aparelhos celulares ou dispositivos eletrônicos e tecnologias no cotidiano. No contexto da mobilidade urbana, existem aplicativos e ferramentas tecnológicas que atuam em conceitos como: otimização de rotas, promover o compartilhamento de viagens ou caronas e aluguel de bicicletas, carros ou motos elétricas. O trabalho objetiva analisar como essas tecnologias podem impactar positivamente a mobilidade urbana e consequentemente o meio ambiente. Para isto, foi trabalho com foco na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), devido às suas características expressivas em relação à mobilidade urbana e facilidade de obtenção de dados consistentes. Foi realizada uma revisão bibliográfica a respeito das características da mobilidade urbana na RMSP, os aspectos ambientais envolvidos e de algumas tecnologias presentes. Assim tornou-se possível relacionar as tecnologias, os aspectos e impactos ambientais relacionados à mobilidade urbana. Foram projetados cenários hipotéticos de uso das tecnologias, impactos na mobilidade e emissões atmosféricas evitadas decorrentes do uso. Os resultados obtidos serviram como fundamentação para argumentar e concluir sobre o potencial positivo que estas tecnologias podem ter no meio ambiente e tornar a mobilidade urbana mais sustentável.

Palavras-chave; Mobilidade urbana. Meio Ambiente. Sustentabilidade. Tecnologia. Impactos Ambientais.

ABSTRACT

Currently, some urban mobility problems are a reality in urban centers, such as: congestion, the increase in accidents and deaths due to some urban problems. Concomitantly with this scenario, it is a reality of the massive presence of cell phones or electronic devices and technologies in everyday life. In the context of urban mobility, there are applications and technological tools that work on concepts such as: route optimization, promoting the sharing of trips or rides and the rental of bicycles, cars, or electric motorcycles. The work aims to analyze how these technologies can positively impact urban mobility and, consequently, the environment. For this, it was work focused on the Metropolitan Region of São Paulo (RMSP), due to its expressive characteristics in relation to urban mobility and ease of obtaining consistent data. A bibliographic review was carried out regarding the characteristics of urban mobility in the RMSP, the affected environmental aspects of some technologies present. Thus, it became possible to relate technologies, environmental aspects and environmental impacts related to urban mobility. These are hypothetical scenarios for the use of technologies, impacts on mobility and avoided atmospheres resulting from use. The results obtained served as a basis to argue and conclude about the positive potential that these technologies can have in the environment and make urban mobility more sustainable.

Key words; Urban mobility. Environment. Sustainability. Technology. Environmental impacts.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – MAPA CONCEITUAL DA METODOLOGIA UTILIZADA NO TRABALHO	7
FIGURA 2 – MAPA DE RUÍDOS NA REGIÃO DA AVENIDA HENRIQUE SCHAUMANN	10
FIGURA 3 – TREM DE SUPERFÍCIE EM SÃO PAULO	15
FIGURA 4 – TREM SUBTERRÂNEO (METRÔ) EM SÃO PAULO	15
FIGURA 5 - MONOTRILHO EM SÃO PAULO	16
FIGURA 6 – ÔNIBUS EM SÃO PAULO	16
FIGURA 7 – GRÁFICO SOBRE EMISSÕES VEICULARES ANUAIS NA RMSP, RETIRADA DO RELATÓRIO ANUAL DA QUALIDADE DO AR DO ESTADO DE SÃO PAULO	20
FIGURA 8 – DEZ VIAS COM MAIOR VOLUME DE TRÁFEGO POR PERÍODO	23
FIGURA 9 - GRÁFICO DA PRIMEIRA PROJEÇÃO – CONVERSÃO PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS OU NÃO MOTORIZADOS	35
FIGURA 10 - GRÁFICO DA SEGUNDA PROJEÇÃO – COMPARTILHAMENTO DE VIAGEM	35
FIGURA 11 - GRÁFICO DA TERCEIRA PROJEÇÃO – OTIMIZAÇÃO DE ROTAS	36
FIGURA 12 - GRÁFICO DA PROJEÇÃO DOS 2 CENÁRIOS – “MÉDIO USO” E “GRANDE USO”	37

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS DA MOBILIDADE URBANA E SEUS EFEITOS	14
QUADRO 2 – RESUMO DAS FERRAMENTAS E O QUE CADA UMA OFERECE	30
QUADRO 3 – RESUMO DAS CATEGORIAS DE FERRAMENTAS, ASPECTOS DA MOBILIDADE E AMBIENTAIS ENVOLVIDOS	33

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – ALGUNS NÍVEIS SONOROS (DB)	9
TABELA 2 – EMISSÕES DE UM AUTOMÓVEL DE ACORDO COM O COMBUSTÍVEL UTILIZADO.....	14
TABELA 3 - MODAIS E QUANTIDADE DE VIAGENS DIÁRIAS MOTORIZADAS NOS ANOS DE 2007 E 2017 NA RMSP	17
TABELA 4 – ESTIMATIVA DA FROTA DE VEÍCULOS DA RMSP EM 2018	18
TABELA 5 – RESUMO DA FROTA CIRCULANTE NA RMSP COM DESTAQUE PARA ÔNIBUS URBANOS E AUTOMÓVEIS	18
TABELA 6 – COMERCIALIZAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS NA RMSP EM 2019	19
TABELA 7 – PERCENTUAL DE TEMPO DE RETARDAMENTO DE UM VEÍCULO EM SÃO PAULO.....	21
TABELA 8 – RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO (FAIXA ETÁRIA)	25
TABELA 9 – RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO (RENDA FAMILIAR).....	25
TABELA 10 – RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO (RENDA FAMILIAR).....	26
TABELA 11 - RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO (POSSE DE CARRO/MOTO).....	26
TABELA 12 – RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO (POSSE DE CARRO/MOTO) – APENAS RESPOSTAS DE “SÃO PAULO – SP”	26
TABELA 13 – QUANTIDADE E PORCENTAGEM RELATIVA DOS PRINCIPAIS MODAIS UTILIZADOS.....	26
TABELA 14 – RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO (MÉDIAS DAS NOTAS DOS MOTIVADORES).....	27
TABELA 15 – RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO (OPINIÃO SOBRE A AFIRMAÇÃO)	28
TABELA 16 – PROJEÇÃO DA REDUÇÃO DE EMISSÃO DE CO E NO _x PELA CONVERSÃO DE MODAL – VEÍCULOS NÃO MOTORIZADOS OU ELÉTRICOS	45
TABELA 17 – PROJEÇÃO DA REDUÇÃO DE EMISSÃO DE CO E NO _x PELA REDUÇÃO DE AUTOMÓVEIS – COMPARTILHAMENTO DE VIAGENS	45
TABELA 18 – PROJEÇÃO DA REDUÇÃO DE EMISSÃO DE CO E NO _x PELA REDUÇÃO DO TEMPO DE RETARDAMENTO EM CONGESTIONAMENTOS – OTIMIZAÇÃO DE ROTAS	46
TABELA 19 – PROJEÇÃO DA EMISSÃO DE CO E NO _x EVITADA NA RMSP CONSIDERANDO 2 CENÁRIOS: “MÉDIO USO” E “GRANDE USO”	46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	5
2.1 OBJETIVOS GERAIS.....	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
3 METODOLOGIA.....	6
4 DIAGNÓSTICOS, ANÁLISES E DISCUSSÕES	8
4.1 MOBILIDADE URBANA E ASPECTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS	8
4.1.1 RUÍDOS	8
4.1.2 EMISSÕES VEICULARES	12
4.2 PANORAMA DA MOBILIDADE URBANA NA RMSP.....	15
4.2.1 DADOS DE FROTAS E QUANTIDADE DE VIAGENS POR MODAIS	16
4.2.2 DADOS REFERENTES AOS COMBUSTÍVEIS UTILIZADOS	19
4.2.3 DADOS REFERENTES AO VOLUME E À LENTIDÃO NAS VIAS.....	21
4.3 PRINCIPAIS MOTIVADORES PARA ESCOLHA DOS MODAIS.....	24
4.3.1 QUESTIONÁRIO REALIZADO A RESPEITO DA ESCOLHA DE MODAIS.....	24
4.3.1.1 PERFILAMENTO.....	25
4.3.1.1.1 FAIXA ETÁRIA	25
4.3.1.1.2 RENDA FAMILIAR	25
4.3.1.1.3 MUNICÍPIOS E UF	25
4.3.1.2 MOBILIDADE	26
4.3.1.2.1 POSSE CARRO/MOTO PRÓPRIO	26
4.3.1.2.2 PRINCIPAIS MEIOS DE TRANSPORTE UTILIZADOS	26
4.3.1.2.3 FATORES E PONDERAÇÕES QUE MOTIVAM A ESCOLHA DE UM MODAL	27
4.3.1.2.4 PESQUISA DE OPINIÃO SOBRE USO DE TRANSPORTE COLETIVO.....	28
4.4 TECNOLOGIAS E FERRAMENTAS DE MOBILIDADE EMERGENTES	28
4.4.1 TECNOLOGIAS E FERRAMENTAS DE MOBILIDADE EMERGENTES	28
4.4.2 COMO AS TECNOLOGIAS E OS ASPECTOS DA MOBILIDADE ESTÃO RELACIONADOS	30
5 CENÁRIOS	34

6 CONCLUSÕES.....	38
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
8 APÊNDICES.....	45
APÊNDICE A – TABELAS DE PROJEÇÕES DE CENÁRIOS	45
APÊNDICE B – MEMORIAL DE CÁLCULO DA PROJEÇÃO: VEÍCULOS NÃO MOTORIZADOS OU ELÉTRICOS	48
APÊNDICE C – MEMORIAL DE CÁLCULO DA PROJEÇÃO: COMPARTILHAMENTO DE VIAGENS	49
APÊNDICE D – MEMORIAL DE CÁLCULO DA PROJEÇÃO: OTIMIZAÇÃO DE ROTAS	49
APÊNDICE E – PERGUNTAS REALIZADAS NO QUESTIONÁRIO	50

1 INTRODUÇÃO

As primeiras cidades que se tem conhecimento estabeleceram-se às margens do Rio Eufrates, estendendo-se em direção a outro rio: Tigre. Esta terra fértil, entre dois rios, deu origem, aproximadamente há 4000 a.C., à conhecida Mesopotâmia (do grego: “região entre rios”) (Lima, 2020, p. 1).

Milênios se passaram, mas algumas concepções adotadas naquela época, permearam pela história das civilizações. Sejam elas antigas ou recentes, extintas ou presentes, algumas características em comum persistem na grande maioria delas. Como exemplo, pode-se citar as necessidades da proximidade de cursos hídricos, terras férteis, disponibilidade de recursos energéticos etc. Como referência, há a supramencionada, povoada pelos Sumérios e Acádios, passando por Atenas, Constantinopla, Roma (antes, Cidades-estados), Londres, São Paulo entre outras (Lima, 2020, p. 2).

Estas necessidades são explanadas por inúmeros fatores, os quais, a título de exemplo, cita-se o saneamento básico, agricultura, localização geográfica estratégica que permita trânsito de uma cidade à outra.

A distinção entre as cidades citadas, notavelmente, ao passo que os anos se passaram, é a crescente densidade demográfica. Inclusive, atualmente, há outras classificações que vão além de apenas cidades ou centros urbanos. Nomenclaturas como megaciade, cidades globais, metrópole e megalópole fazem parte do nosso léxico agora e, não só fazem parte, como são muito comuns. Alguns processos como o êxodo rural e conurbação urbana ocorreram e ainda acontecem intensamente. O êxodo rural no Brasil ocorreu de forma demasiada entre os anos de 1960 e 1980, e ainda ocorre, mesmo que em menor força. (Alves, E.; Silva, G.; Marra, R., 2011)

De acordo com o censo demográfico de 2010 do IBGE, a população brasileira era de 190.755.799 pessoas, as quais, 160.925.792 viviam em zona urbana e 29.830.007 em zona rural. Portanto, 84,36% da população brasileira era urbana. (IBGE, 2010)

Cidades passaram a ter alta densidade demográfica, grande parte causada por sua verticalização. A necessidade da proximidade de terras férteis ou localização estratégica, citada anteriormente, já nem possui o mesmo peso. Grande parte da população vive nesta cidade e pode, muito bem, passar a vida inteira nela, sem a necessidade de deslocamento intermunicipais, apenas dentro dela mesma.

Adicionalmente a este processo, questões como um planejamento inadequado ou ineficiente e política de estado favorável à popularização de automóveis, do início do século passado até meados das décadas de 50 e 60, foram responsáveis por um certo caos urbano, quando se diz respeito à mobilidade urbana. A substituição desarmônica dos trilhos, antigamente utilizados por bondes e trens, pelo asfalto, para carros e ônibus, somada à individualização do automóvel e à elevada densidade demográfica, foi fundamental para os problemas de mobilidade urbana que encontramos atualmente. (ANTP, 2013)

A mobilidade urbana, aqui mencionada, remete ao conceito de “Deslocamento de pessoas e bens dentro do espaço das cidades, mediante utilização de veículos, vias públicas e da infraestrutura disponível.” (TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO, 2010)

Por esta definição, pode-se partir para comparações com cenários atuais na maior cidade do Brasil: São Paulo, onde notícias a respeito de acidentes de trânsito fatais, níveis de qualidade do ar abaixo do ideal, recordes de engarrafamentos, horas presas no trânsito e entre outras, tornaram-se comuns ou até, além disso, banais.

Não é segredo que estes fatos relacionados à mobilidade urbana, refletem em problemas psicológicos, sociais, de saúde pública e ambientais. Apenas como breve ilustração cita-se os seguintes fatos: “No ano de 2016, a poluição ambiental do ar foi responsável pela morte de 4,2 milhões de pessoas.” (GLOBAL HEALTH OBSERVATORY DATA, 2016) e “O crescimento da frota de veículos é previsível, sendo que 90% dos poluentes gasosos são originados a partir da queima de combustíveis fósseis dos veículos automotivos, principalmente os veículos leves movidos à gasolina” (CETESB, 2009). Dessa forma, é mais do que explícita a gravidade do cenário em relação ao meio ambiente e a sociedade.

Além da gasolina, há outros combustíveis, como: diesel, gás natural veicular (GNV), etanol e biodiesel. Os dois primeiros são comumente conhecidos como combustíveis fósseis, ou seja, aqueles provenientes de matéria vegetal e animal que, segundo Carvalho (2008, p. 1) “consubstanciam energia solar acumulada por fotossíntese em vegetais e em determinados organismos que deles se nutrem, ao longo de milhões de anos”. Já o etanol é proveniente de fontes como cana de açúcar, milho, beterraba e batata, sendo que na indústria sucroalcooleira do Brasil, a cana de açúcar possui predominância (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP). O biodiesel pode ser produzido a partir de gorduras animais e espécies vegetais como soja, mamona, girassol etc. (ANP, 2016).

A palavra-chave que permite distinguir estes combustíveis em dois grandes grupos é: renovável. Sendo que gasolina, GNV e diesel pertencem ao grupo dos não renováveis e o etanol e biodiesel considerados renováveis (ANP, 2016). A correlação do fato dos não renováveis serem os mesmos de origem fóssil, é adequada.

O conceito de renovável está profundamente atrelado ao ciclo biogeoquímico do carbono que, conforme afirmado por Carvalho previamente, os combustíveis fósseis têm origem de material que precisou de milhões de anos para atingir aquele estado. Portanto, de forma super sintetizada, faz sentido inferir que os renováveis são, em aspectos econômicos, mais vantajosos que os não renováveis, considerando que o ciclo do carbono é mais rápido e diminui a dependência de uma fonte.

Seja de fonte não renovável ou renovável, atualmente, os combustíveis já citados presentes no mercado são responsáveis pela emissão de poluentes atmosféricos. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, os aldeídos são “Compostos químicos resultantes da oxidação parcial dos álcoois ou de reações fotoquímicas na atmosfera, envolvendo hidrocarbonetos.” (MMA, 2020) e “são emitidos na queima de combustível em veículos automotores, principalmente nos veículos que utilizam etanol. Os aldeídos emitidos pelos carros são o Formaldeído e o Acetaldeído (predominante).” (MMA, 2020). Ainda de acordo com o Ministério do Meio Ambiente, outros poluentes decorrentes da queima de combustíveis automotivos são: Dióxido de Enxofre (SO_2), Dióxido de Nitrogênio (NO_2), Hidrocarbonetos como Metano (CH_4), Monóxido de Carbono (CO) e Material Particulado (MP).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, estas emissões, em excesso, se comportam como poluentes do ar, causando irritação nas mucosas e vias respiratórias, sendo responsáveis por aumento no número de mortes e internações, sendo até, no caso dos aldeídos, compostos carcinogênicos potenciais. Além disso, ainda de acordo com o Ministério do Meio Ambiente, gases como Dióxido de Nitrogênio e Dióxido de Enxofre, promovem efeitos ambientais como chuvas ácidas, smog fotoquímico.

Em contrapartida a esta situação negativa, o mundo atual passa pelo processo de avanço tecnológico e digital, em ritmo vertiginoso. Combustíveis mais eficientes e menos poluentes, carros elétricos começam a ganhar mais espaço no mercado, aplicativos e sites que permitem caronas e viagens compartilhadas, aplicativos que fornecem a menor rota ou rota mais rápida, estações com bicicletas e patinetes compartilhados. São muitas alternativas que podem ajudar

a melhorar a situação da mobilidade urbana e, de fato, são ferramentas poderosíssimas que, se bem usufruídas, podem mitigar muitos impactos ambientais relacionados à mobilidade urbana.

Da mesma forma, no longo prazo, pode agravar mais ainda a situação da mobilidade urbana, basta apenas compararmos esta situação de avanço tecnológico digital, com o avanço tecnológico industrial, citado anteriormente.

A mobilidade urbana, por envolver majoritariamente veículos motorizados à combustão, está intimamente atrelada à impactos ambientais negativos, principalmente à qualidade do ar. Por consequência, uma mobilidade problemática, implica viagens com maiores durações, levando a impactos ambientais e sociais mais significativos.

De acordo com o Relatório de Qualidade do Ar do Estado de São Paulo - 2019, elaborado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, a frota da Região Metropolitana de São Paulo, em 2018, era estimada em 72,27% de automóveis, 12,47% de comerciais leves, 12,15% de motocicletas, 2,36% de caminhões e 0,75% de ônibus. (CETESB, 2019). O correspondente em números absolutos desta frota é de 5.264.775 de unidades de automóveis, 908.472 de comerciais leves, 885.124 de motocicletas, 171.695 de caminhões e 54.924 de ônibus (CETESB, 2019).

Uma reportagem da Globo, em 2018, relatava que “Segundo o estudo da CET, a avenida Francisco Morato lidera entre as vias mais lentas pela manhã, entre 7h30 às 7h45. A velocidade média, pela manhã, na Avenida Francisco Morato, no sentido centro, é de 11 km/h” (GLOBO, 2018). Este fato não demonstra apenas a problemática em questão, mas desponta o questionamento do porquê muitas pessoas optam pelo transporte motorizado individual ao invés do público ou do não motorizado. Dessa forma, os fatores que motivam a escolha do modal são extremamente relevantes para esta discussão.

Partindo de todas estas observações, trazer a discussão sobre como determinadas tecnologias podem afetar os aspectos de sustentabilidade ambiental da mobilidade urbana é fundamental para sociedade, podendo ter uma maior relevância. Como exemplos destas tecnologias existem aplicativos de otimização de rotas, como: Waze e Google Maps. Aplicativos de compartilhamento de viagens, como o Uber que oferece esta modalidade de viagem, um da própria Waze, o Waze Carpool. Aplicativos para compartilhamento de bicicletas e patinetes, como Bike Itaú, Grin e Uber.

Hipoteticamente, ferramentas de otimização de rotas são responsáveis por tornar rotas mais rápidas ou curtas, portanto, consumindo menos combustível. Ferramentas de compartilhamento de viagem indicam menos veículos nas ruas e, em função disso, podem contribuir na redução trânsito. Plataformas que possibilitam o uso de bicicletas e patinetes, considerando que facilitam o uso destes meios, consequentemente incentivam o seu uso. Assim sendo, estas hipóteses sugerem que podem ser recursos substanciais para mitigação de impactos ambientais, decorrentes da melhoria na mobilidade urbana.

A escolha pela Região Metropolitana de São Paulo como objeto de estudo é justificada pela inegável característica de trânsito problemático e excessivo, maior facilidade de obtenção de dados consistentes e possibilidade de exploração de uma maior gama de modais de transporte.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Este trabalho tem como objetivo compreender como as novas tecnologias impactam a mobilidade urbana e o meio ambiente.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

São os objetivos específicos deste trabalho:

- Exibir o panorama atual da mobilidade urbana da cidade de São Paulo, expondo quais modais de transporte atuam e como atuam, levando em consideração os principais problemas e impactos existentes, principalmente em relação ao meio ambiente.
- Explorar as tecnologias de forma segmentada nas seguintes categorias: otimização de rotas, compartilhamento de viagens e compartilhamento de bicicletas e patinetes. Mostrando quais fatores, no espectro da mobilidade urbana sustentável, são positivos ou negativos. Discorrer sobre análises e dados destas ferramentas já levantados que atrelem a mobilidade urbana.
- Utilizar de parâmetros ou indicadores socioambientais para simular cenários e propor possíveis ações mitigadoras.

3 METODOLOGIA

O trabalho propôs-se a realizar um diagnóstico da mobilidade urbana da RMSP, definindo seus aspectos e impactos ambientais relacionados. Para dar suporte às grandes bases de informação, utilizou-se de relatórios técnicos, elaborados por órgãos competentes ao tema tratado, disponíveis em seus próprios *websites*. Foram utilizados, o Relatório da Qualidade do Ar do Estado de São Paulo – 2019, elaborado pela CETESB, a Pesquisa de Origem e Destino dos anos de 2012 e 2017, elaborada pelo Metrô – SP, as pesquisas de Monitoração da Mobilidade da RMSP – 2018, elaborada pela CET, entre outras.

Para maior embasamento dos conceitos e terminologias relacionadas à engenharia ambiental, foi utilizado o livro didático “Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão” de Calijuri et al., 2013, frequentemente utilizado no decorrer do curso, e foi de grande importância para atrelar firmemente parâmetros e indicadores da qualidade do ar e seus impactos aos resultados do relatório da CETESB. Os dois principais aspectos discutidos, foram: ruídos e emissões de gases, ambos provenientes de veículos.

Como subproduto do diagnóstico dos problemas da mobilidade urbana da RMSP, foi feita uma análise sobre os combustíveis utilizados e as políticas nacionais em torno do assunto e como estão relacionadas ao meio ambiente. Para os dados de combustíveis foram utilizadas bases da ANP, fornecidas em seu próprio *website*, a respeito das vendas de combustíveis. Para as leis, foi consultado o Portal da Legislação, do Planalto. Os dados de combustíveis foram discutidos como se relacionam aos indicadores e impactos ambientais.

Com os aspectos problemáticos e suas causas definidas, surge o questionamento do porquê existem preferências de modais para algumas pessoas. Neste ponto, passou-se a tratar sobre fatores que motivam a escolha de um modal e não de outro e vice-versa. O documento “Pesquisa de Origem de Destino – 2012” (METRÔ, 2012), que abordaram o tema na pesquisa, deu suporte inicial para uma discussão e à realização de uma pesquisa em forma de questionário, realizada via plataforma *Google Forms*.

Este questionário foi direcionado a uma amostra intencional (às pessoas mais conhecidas e próximas do autor deste trabalho) e, apesar de não ser amostra de dimensão significativa, serviu de apoio às discussões. As respostas dão indicativos de prováveis fatores que pesam na escolha de um meio de transporte.

As perguntas foram divididas em dois blocos: perfil dos participantes e específicas sobre mobilidades. O perfil tem a importância de entender quais públicos possuem suas respectivas preferências e, também, compreender de forma geral tendências nas respostas em caso de predominância de perfil. As perguntas específicas a respeito da mobilidade, principal foco do questionário, tiveram relevância na compreensão de comportamentos, relacionados à mobilidade urbana, dos participantes. Além de comportamento, fatores que motivam a escolha dos modais mais utilizados por eles. As perguntas e opções de respostas estão no Apêndice E.

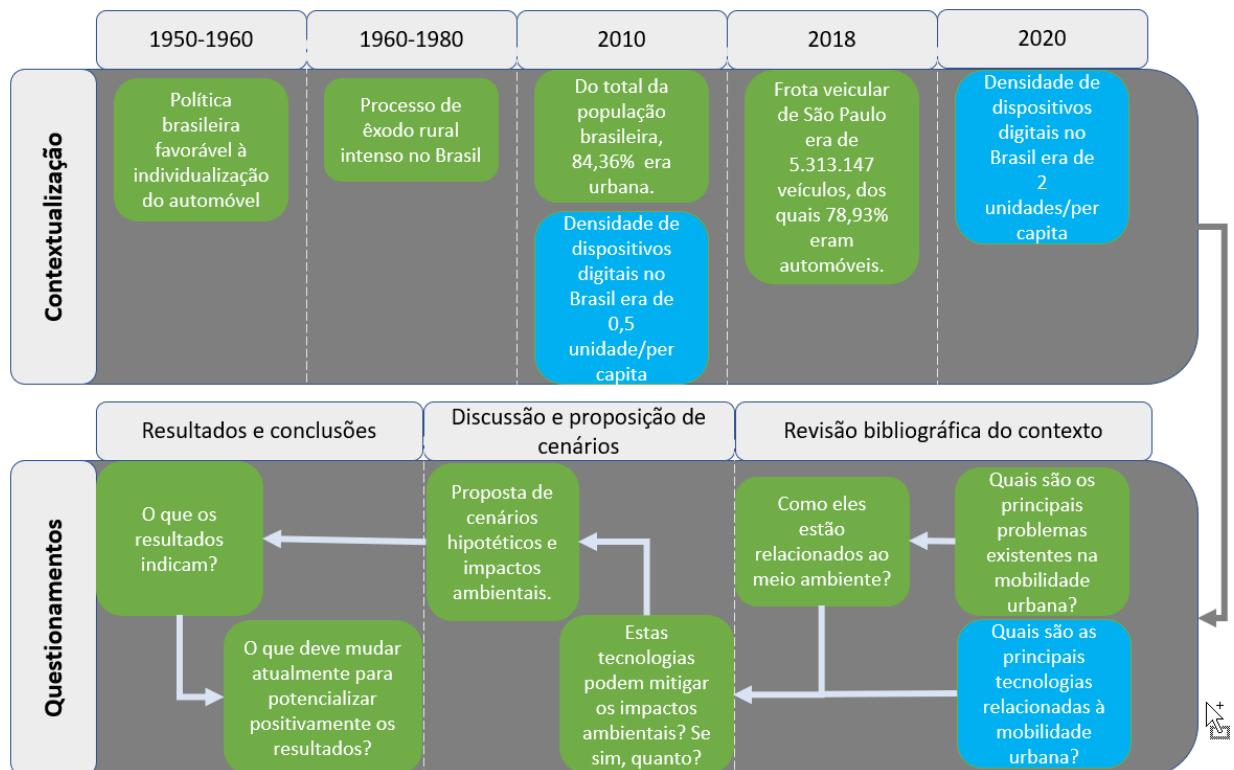
Após apresentar os dados obtidos do questionário, detalhou-se as tecnologias: Waze, Waze Carpool, Uber Pool, Bike Itaú, BeepBeep e Ribashare, evidenciando os aspectos e impactos na mobilidade urbana e ambientais envolvidos. Além disso, dados gerais a respeito de cada, como custos, funcionalidades e usabilidade foram levantados. As informações foram obtidas principalmente nos sites das empresas proprietárias dos serviços e, após isto, relacioná-las aos fatores motivacionais de escolha de modais.

A partir dos parâmetros e indicadores ambientais, listados no item 4.1, foram propostos cenários teóricos considerando taxas hipotéticas de conversão de modal ou utilização das ferramentas, que evidenciem impactos ambientais positivos decorrentes destas tecnologias.

Esta metodologia é fruto de questionamentos norteadores que, antes de tudo, foram motivadores para este trabalho. Estes questionamentos foram organizados de forma sequencial em um fluxograma, abrangendo desde a contextualização do trabalho até a sua conclusão, resultando em um mapa conceitual da metodologia.

A Figura 1 detalha o mapa conceitual, cujos quadros em verde representam fatos contextualizadores e questionamentos realizados a respeito da mobilidade e os quadros em azul são fatos contextualizadores e questionamentos a respeito das tecnologias e que proporcionam ligações com o contexto da mobilidade.

Figura 1 – Mapa conceitual da metodologia utilizada no trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor.

4 DIAGNÓSTICOS, ANÁLISES E DISCUSSÕES

4.1 MOBILIDADE URBANA E ASPECTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS

Conforme já introduzido, a mobilidade urbana é composta majoritariamente por veículos à combustão. Um veículo à combustão em atividade, independentemente do combustível, gera ruídos e compostos químicos resquícios de combustão. A maior parte destes resquícios são gasosos, mas também existem compostos sólidos e líquidos.

4.1.1 RUÍDOS

A onda sonora é definida como qualquer onda mecânica longitudinal (Halliday et al., 2012). O ouvido humano é o órgão responsável pela interpretação dessas ondas e, para a maioria das pessoas, a faixa de frequência audível média é de 20 Hz até 20 KHz. O som, por ser uma onda mecânica, possui diversas características físicas conhecidas, como: frequência, velocidade de propagação, amplitude e intensidade (Halliday et al., 2012).

Considerando as características físicas das ondas sonoras, a de maior interesse neste estudo é a intensidade, pois “A intensidade I de uma onda sonora em uma superfície é a taxa média por unidade de área com a qual a energia contida na onda atravessa a superfície ou é

absorvida pela superfície” (Halliday et al., 2012, p. 158). Portanto, representa a quantidade de energia que o ouvido humano absorve. Intuitivamente, se a quantidade for elevada, pode ser prejudicial ou incômodo.

A intensidade do som, de acordo com Halliday et al., pode ser medida de acordo com a Equação 1.

Equação 1.

$$I = \frac{P}{A} \quad (1)$$

em que P é a taxa de variação com o tempo de transferência de energia (ou seja, a potência) potência da onda e A é a área que absorve essa potência. (Halliday et al., 2012, p. 158).

Ainda de acordo com Halliday et al., é mais conveniente falarmos sobre nível de intensidade sonora β , dado pela Equação 2.

Equação 2.

$$\beta = 10dB \times \log \frac{I}{I_0} \quad (2)$$

em que dB é abreviação de decibel, unidade de medida para nível sonoro e I_0 é uma intensidade referência ($= 10^{-12} \text{ W/m}^2$).

A Tabela 1 exemplifica alguns níveis sonoros na prática.

Tabela 1 – Alguns níveis sonoros (dB)

Atividade	Nível sonoro (dB)
Limiar da audição	0
Farfalhar de folhas	10
Conversa	60
Show de rock	110
Limiar da dor	120
Turbina a jato	130

Fonte: Halliday et al., 2012.

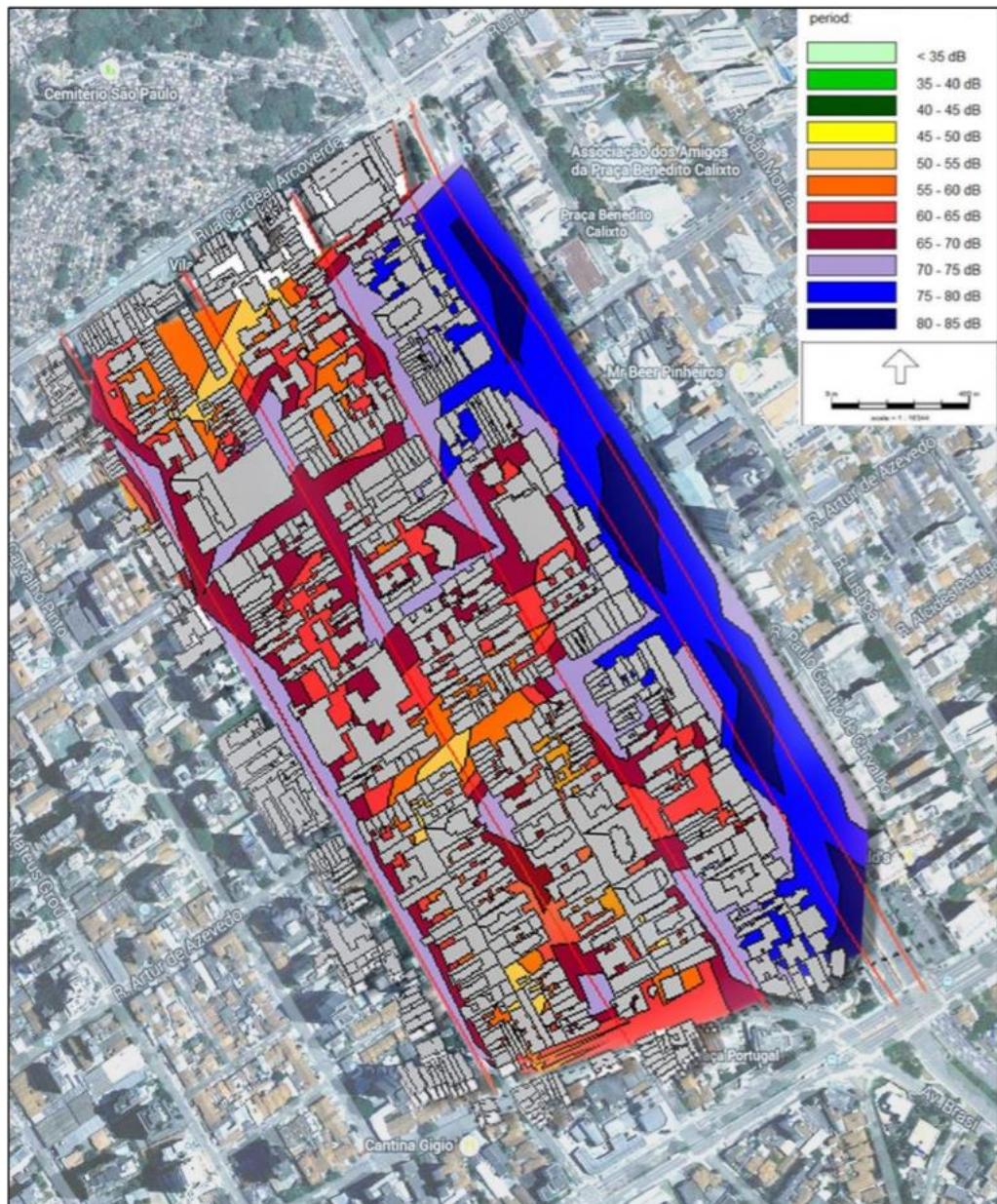
Como já observado na Tabela 1, sons a partir de 120 dB pode causar até dor. A OMS define que um som acima de 65 dB é considerado poluição sonora. Este valor não rege uma lei para todos os lugares, funcionando apenas como um indicador.

A resolução nº 624, de 19 de outubro de 2016 do Contran, revogou a resolução nº204 de 20 de outubro de 2006, a qual previa punições para veículos que emitissem quaisquer tipos de sons superiores a 80 dB com medição a 7 metros de distância da fonte. Portanto, hoje em dia não existe um limite pré-estabelecido para níveis sonoros veiculares, ficando a cargo do agente fiscalizador se o veículo está emitindo som a um nível sonoro passível de punição ou não.

Um carro comum, a uma distância de 15 metros, possui um ruído médio de 70 dB e uma buzina de carro, a uma distância de 1 metro, 120 dB (IIDA, 2005).

Para efeitos comparativos, a Avenida Henrique Schaumann, em São Paulo, para medições realizadas em dias úteis, no período das 7 às 20h, possui uma média diária de nível de intensidade sonora na faixa de 75 a 85 dB (VIANNA, 2014). Portanto, de acordo com a definição de poluição sonora da OMS, esta é uma área impactada pela poluição sonora. A Figura 2 ilustra um mapa de ruídos da região.

Figura 2 – Mapa de Ruídos na região da Avenida Henrique Schaumann



Fonte: Vianna, 2014, p. 56.

Apesar do nível de intensidade sonora depender de diversos fatores como topografia, condições climáticas, presença ou não de grandes construções etc., dado um mesmo cenário, o nível de intensidade aumenta conforme o fluxo de veículos aumenta. Isso pode ser demonstrado a partir da equação 2, e considerando duas fontes emissoras de sons com intensidades I idênticas, onde $I' = 2 \times I$, tem-se:

$$\begin{aligned}\beta &= 10dB \times \log \frac{I}{I_0} \rightarrow \beta' = 10dB \times \log \frac{I'}{I_0} = 10dB \times \log \frac{2 \times I}{I_0} \\ &= 10dB \times \left(\log 2 + \log \frac{I}{I_0} \right) = 10dB \times \log 2 + 10dB \times \log \frac{I}{I_0}\end{aligned}$$

$$\therefore \beta' \cong \beta + 3dB$$

Portanto, considerando um cenário ideal onde duas fontes idênticas, à mesma distância, com intensidade sonora I , sobrepondo-se e absorvidas por um mesmo ponto é correto afirmar que ocorre um acréscimo de aproximadamente 3 dB. Dessa forma, considerando veículos como fontes emissoras de ondas sonoras, infere-se que quanto mais veículos em uma dada região, maior o nível de intensidade sonora.

Conforme citado, o excesso de ruídos leva ao impacto ambiental conhecido como poluição sonora. Esta, por sua vez, é hoje, o problema ambiental que afeta o maior número de pessoas, depois da poluição da água e do ar (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2003).

A poluição sonora possui alguns efeitos na vida do ser humano, como: “perda auditiva por ruído; interferência na transmissão da fala; perturbação do repouso e do sono; efeitos psicofisiológicos, efeitos na saúde mental e efeitos no desempenho; efeitos no comportamento com a vizinhança e aborrecimento” (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2003).

4.1.2 EMISSÕES VEICULARES

Os veículos de combustão interna, que são interesse de estudo, se baseiam pelo princípio da reação de combustão de um determinado composto químico.

“A combustão é a reação de oxidação do combustível com o comburente, também chamado de oxidante.” (STROBEL, 2003)

De acordo com Strobel, uma reação genérica de combustão é dada pela equação 3.

Equação 3.



Esta reação global ocorre após diversas reações intermediárias, as quais formam produtos que servem como reagentes para etapas posteriores. Se alguma cadeia de processo for interrompida – o que sempre ocorre na prática, diz-se que a queima, ou combustão, foi incompleta. Os principais subprodutos destas reações são: C, C_nH_m, H₂, CO, SO_n e outros (STROBEL, 2003).

Não é nenhum segredo afirmar que a qualidade do ar é deteriorada, principalmente, pelas emissões oriundas da frota automotiva e indústrias. A qualidade e quantidade de emissões

variam por diversos fatores como por exemplo: categoria de automóvel, combustível e estado de conservação do automóvel.

O monóxido de carbono é uma molécula altamente tóxica para os seres humanos. De acordo com Inácio et al. (2016, p. 315), o monóxido de carbono é uma substância antimetabólica do oxigênio (O_2), por possuir uma afinidade com a hemoglobina de 200 a 250 maior que o oxigênio e, quando inalado, as hemoglobinas absorvem o CO ao invés do O_2 , formando a carboxihemoglobina (COHb). A depender do nível absorvido de monóxido de carbono, os efeitos adversos no ser humano podem variar desde problemas cardiovasculares, tontura, fadiga, até a morte do indivíduo (Calijuri et al., 2013, p. 351).

No ano de 2018, na RMSP, as emissões veiculares de CO foram estimadas em 116.000 toneladas (CETESB, 2019, p. 51).

Os óxidos de enxofre (SO_x), em especial o dióxido de enxofre (SO_2), são poluentes acidificantes e, em elevadas concentrações podem levar à problemas respiratórios, principalmente àqueles que já possuem alguma deficiência respiratória (Calijuri et al., 2013, p. 351). Além de problemas de saúde em seres humanos, o SO_2 reage com a água da atmosfera formando ácido sulfuroso (H_2SO_3) e este, por sua vez, reage com o oxigênio (O_2), resultando em ácido sulfúrico (H_2SO_4). Estes compostos são os principais responsáveis pelo efeito da chuva ácida (Calijuri et al., 2013, p. 351).

No ano de 2018, na RMSP, as emissões veiculares de SO_2 foram estimadas em 1.000 toneladas (CETESB, 2019, p. 51).

Os óxidos de nitrogênio (NO_x), especialmente o dióxido de nitrogênio (NO_2), são compostos produzidos relativamente em menor quantidade devido à característica inerte do nitrogênio (STROBEL, 2003, p. 6). Porém a sua consideração é de extrema importância, pois de acordo com Calijuri et al. (2013, p. 351), “elevadas concentrações podem provocar problemas respiratórios, especialmente em crianças. Doentes com asma podem também sofrer dificuldades respiratórias adicionais”.

No ano de 2018, na RMSP, as emissões veiculares de NO_x foram estimadas em 43.000 toneladas (CETESB, 2019, p. 51).

Além destes compostos, uma mistura incompleta resulta em material particulado (MP), que é uma referência generalizada para cinzas, poeiras, fumaças e todo material sólido e líquido

que, devido ao pequeno tamanho, mantém-se suspenso na atmosfera. (DRUMM et al., 2013, p. 68). De acordo com Calijuri et al. “O material particulado é o poluente atmosférico mais consistentemente associado a efeitos adversos à saúde humana. A toxicidade desse material depende de sua composição e do diâmetro aerodinâmico.” (Calijuri et al., 2013, p. 351).

No ano de 2018, na RMSP, as emissões veiculares de MP foram estimadas em 1.100 toneladas (CETESB, 2019, p. 51).

Como observado, as emissões provenientes de veículos a combustão interna têm grande potencial poluidor. Cada combustível possui os seus pontos positivos e negativos e, no contexto ambiental, também, conforme já introduzido neste texto. Além do combustível, a fonte emissora também é um fator relevante, pois cada tipo de motor possui suas determinadas características de funcionamento. O seu estado de conservação também é muito relevante.

No sentido de trazer um exemplo real, temos que, de acordo com a Fenabrade, em setembro de 2020, o carro mais vendido foi o Chevrolet Ônix (FENABRAVE, 2020). Este carro, por sua vez, possui as emissões de CO e NO_x de, respectivamente, 0,680 g/km e 0,017 g/km e, o consumo na cidade, está estimado em 12,8 km/l para gasolina e 8,8 km/l para etanol (INMETRO, 2020). Os valores de emissões de CO e NO_x, se convertidos para g/l de gasolina consumida são, respectivamente, 8,7 g/l e 0,22 g/l e para etanol consumido em 6 g/l e 0,15 g/l, respectivamente. Estes valores serviram de base para as projeções no item 5 deste trabalho.

As emissões dos automóveis, em 2019, foram estimadas de acordo com a Tabela 2:

Tabela 2 – Emissões de um automóvel de acordo com o combustível utilizado

Categoria	Combustível	Emissão (1000 t/ano)				
		CO	HC	NO _x	MP	SO _x
Automóveis	Gasolina C	40,94	8,42	5,39	0,02	0,06
	Etanol Hidratado	6,61	1,24	0,52	nd	nd
	Flex-Gasolina C	9,96	3,36	1,00	0,02	0,05
	Flex-Etanol Hidratado	16,88	4,89	1,28	nd	nd

Fonte: CETESB, 2019.

O Quadro 1 resume os aspectos ambientais da mobilidade, seus impactos ambientais relacionados e seus efeitos.

Quadro 1 – Aspectos e impactos ambientais da mobilidade urbana e seus efeitos

Aspectos	Impactos	Efeitos
Emissão de ruídos	Poluição sonora	Perda auditiva, perturbação de sossego e sono, perturbação da saúde mental e bem estar
Emissão de gases poluentes e MP	Poluição atmosférica	Dificuldades respiratórias, irritações do trato respiratório, aumento de internações e de mortalidade relacionada, acidificação de precipitações e do meio ambiente

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 PANORAMA DA MOBILIDADE URBANA NA RMSP

“Com mais de 21 milhões de habitantes, 8.047 quilômetros quadrados (km^2) de extensão territorial e 39 municípios, a Região Metropolitana de São Paulo é a mais complexa e diversificada da Macrometrópole Paulista (MMP), do Estado de São Paulo e do País” (EMPLASA, 2019). Estes valores resultam em uma densidade demográfica de mais de 2.500 hab./ km^2 .

Estas características demandam investimentos imensos na área de infraestrutura, principalmente no que se refere à mobilidade urbana. Não à toa, a região possui uma grande multiplicidade de modais de transporte, como os citados a seguir: trem de superfície, trem subterrâneo, ônibus, monotrilho, carros, motos, bicicletas, entre outros (PlanMob/SP, 2015).

Figura 3 – Trem de superfície em São Paulo



Fonte: CPTM. Disponível em: <https://www.cptm.sp.gov.br/noticias/Pages/CPTM-entrega-mais-2-trens-novos-.aspx>. Acesso em: 19 de out. 2020.

Figura 4– Trem subterrâneo (metrô) em São Paulo



Fonte: Metrô CPTM. Disponível em: <https://www.metrocptm.com.br/metro-estuda-nova-linha-para-a-zona-leste/>. Acesso em: 19 de out. 2020.

Figura 5 - Monotrilho em São Paulo



Fonte: Metro CPTM. Disponível em: <https://www.metrocptm.com.br/monotrilho-da-linha-15-esvazia-linhas-de-onibus-da-zona-leste/>. Acesso em: 19 de out. 2020.

Figura 6 – Ônibus em São Paulo



Fonte: EMTU. Disponível em: <http://www.emtu.sp.gov.br/emtu/home/home.htm>. Acesso em: 19 de out. 2020.

4.2.1 DADOS DE FROTAS E QUANTIDADE DE VIAGENS POR MODAIS

Quanto à distribuição de uso dos modais na RMSP, a Tabela 3, obtida da Pesquisa Origem e Destino realizada pelo Metrô, oferece uma noção da proporção de número de viagens

média por dia por modal para cada ano, considerando também a evolução nos anos de 2007 e 2017. É importante destacar que inclui apenas os meios motorizados, não considerando viagens por bicicleta e a pé, por exemplo.

Tabela 3 - Modais e quantidade de viagens diárias motorizadas nos anos de 2007 e 2017 na RMSP

MODAL	VIAGENS 2007		VIAGENS 2017	
	(x 1.000)	%	(x 1.000)	%
METRÔ	2.223	8,8	3.400	12,0
TREM	815	3,2	1.245	4,4
ÔNIBUS	9.034	35,9	8.304	29,4
FRETADO	514	2,0	252	0,9
ESCOLAR	1.327	5,3	2.094	7,4
AUTO	10.381	41,2	11.341	40,1
TÁXI	91	0,4	468	1,7
MOTO	721	2,9	1.064	3,8
OUTROS	61	0,2	112	0,4
TOTAL	25.167	100,0	28.280	100,0

Fonte: Metrô-Pesquisas OD 2007 e 2017.

É possível observar que a distribuição de modais motorizados nos modos “Auto” e “Ônibus” tiveram um decréscimo da quantidade de viagens diárias, de 2007 para 2017. Isto provavelmente se deve à migração destes modais para a categoria “Metrô”, a qual teve um acréscimo de 3,2 % entre 2007 e 2017.

Apesar da queda para “Auto” e “Ônibus”, estes ainda representam as maiores parcelas em relação às outras categorias. Nota-se que “Auto” representa pelo menos 40% das viagens realizadas em ambos os anos, ao passo que “Ônibus”, com uma estimativa de 8.304.000 de viagens/dia no ano de 2017, é a segunda categoria mais utilizada. Considerando os meios de transporte público motorizado, o ônibus é a opção mais utilizada.

Para o caso da RMSP, em 2018, concentrava 48% da frota do estado em apenas 3,2% do território (CETESB, 2019). De forma mais detalhada Tabela 4, retirada do relatório anual de qualidade do ar de 2019, elaborado pela CETESB, explicita de forma clara a distribuição e dimensão da frota, por categoria e combustível utilizado.

Tabela 4 – Estimativa da frota de veículos da RMSP em 2018

Categoria	Combustível	Frota Circulante na RMSP	% Frota RMSP/Estado	
Automóveis	Gasolina C	1.483.236	55%	
	Etanol Hidratado	83.666	41%	
	<i>Flex-fuel</i>	3.697.873	50%	
Comerciais leves	Gasolina C	293.448	58%	
	Etanol Hidratado	7.420	38%	
	<i>Flex-fuel</i>	420.899	44%	
	Diesel	186.705	44%	
Caminhões	Semileves	Diesel	12.765	39%
	Leves		42.001	39%
	Médios		23.929	39%
	Semipesados		44.193	39%
	Pesados		48.807	39%
Ônibus	Urbanos	Diesel	32.443	52%
	Micro-ônibus		7.910	52%
	Rodoviários		14.571	52%
Motocicletas	Gasolina C	702.215	39%	
	<i>Flex-fuel</i>	182.909	26%	
TOTAL		7.284.990	48%	

Fonte: CETESB, 2019.

Como observado, a frota circulante de ônibus urbano e de automóveis representam, respectivamente, cerca de 0,45% e 72,27% da frota na RMSP. A partir destes dados, é possível realizar um comparativo entre tamanho das frotas e quantidade de viagens realizadas para estes modais em questão. A Tabela 5 representa este comparativo.

Tabela 5 – Resumo da frota circulante na RMSP com destaque para ônibus urbanos e automóveis

Categoria	Frota (2018)	Frota/Total (%)	Viagens (2017)	Viagens/Total (%)
Ônibus urbanos	32.443	0,45	8.304.000	29,36
Automóveis	5.264.775	72,27	11.341.000	40,10

Fonte: Resumo realizado a partir dos dados das Tabelas 2 e 3.

A Tabela 5 mostra que 0,45% da frota total de ônibus urbanos é capaz de realizar 29,36% das viagens motorizadas, enquanto 72,27% dos automóveis é responsável por 40,10% das

viagens motorizadas. Isto está relacionado ao conceito de compartilhamento de viagens e/ou veículos, ou seja, maximizar a quantidade de pessoas por veículo – exatamente o que ocorre com os ônibus urbanos. Apesar deste conceito de compartilhamento reduzir quantidade de veículos soar algo óbvio, isto nos leva a ideia de que se for aplicado em grande escala, como os automóveis, os quais representam mais de 70% da frota motorizada, pode levar à redução do trânsito.

4.2.2 DADOS REFERENTES AOS COMBUSTÍVEIS UTILIZADOS

De acordo com a base de dados, do ano de 2019, disponível no website da ANP no ano de 2019 foram comercializados, nos postos de combustíveis na Região Metropolitana de São Paulo cerca de 1.343.691 m³ de diesel, 3.805.432 m³ de etanol e 4.037.330 m³ de gasolina. Estes dados estão sintetizados na Tabela 6:

Tabela 6 – Comercialização de combustíveis na RMSP em 2019

Combustível	Volume (m ³)	Volume/Total (%)
Gasolina	4.037.330	43,95
Etanol	3.805.432	41,42
Diesel	1.343.691	14,63
Total	9.186.453	100,00

Fonte: ANP, 2019.

Importante ressaltar que a Tabela 6 oferece apenas uma visão macro dos combustíveis, ou seja, não possui um nível de detalhamento capaz de exibir os percentuais de biodiesel e/ou diesel fóssil comercializados. Porém, de fato, parte dos 1.343.691 m³ de diesel abrange o comércio de biodiesel, também conhecido por B100, e diesel fóssil.

No Brasil, existe uma política de incentivo à substituição dos combustíveis fósseis por combustíveis renováveis. A Lei 11.097/2005 previa inclusão do biodiesel na matriz energética brasileira e, como parte dela, metas de substituição de percentuais de diesel fóssil por biodiesel (Lei 11.097/2005).

Em janeiro de 2008, a mistura de 2% de biodiesel ao diesel – conhecida como B2, entrou em vigor e, em janeiro de 2010, o Conselho Nacional de Política Energética – CNPE ampliou a proporção para B5, ou seja, 5% de biodiesel e 95% diesel, antecipando, em 3 anos, a meta

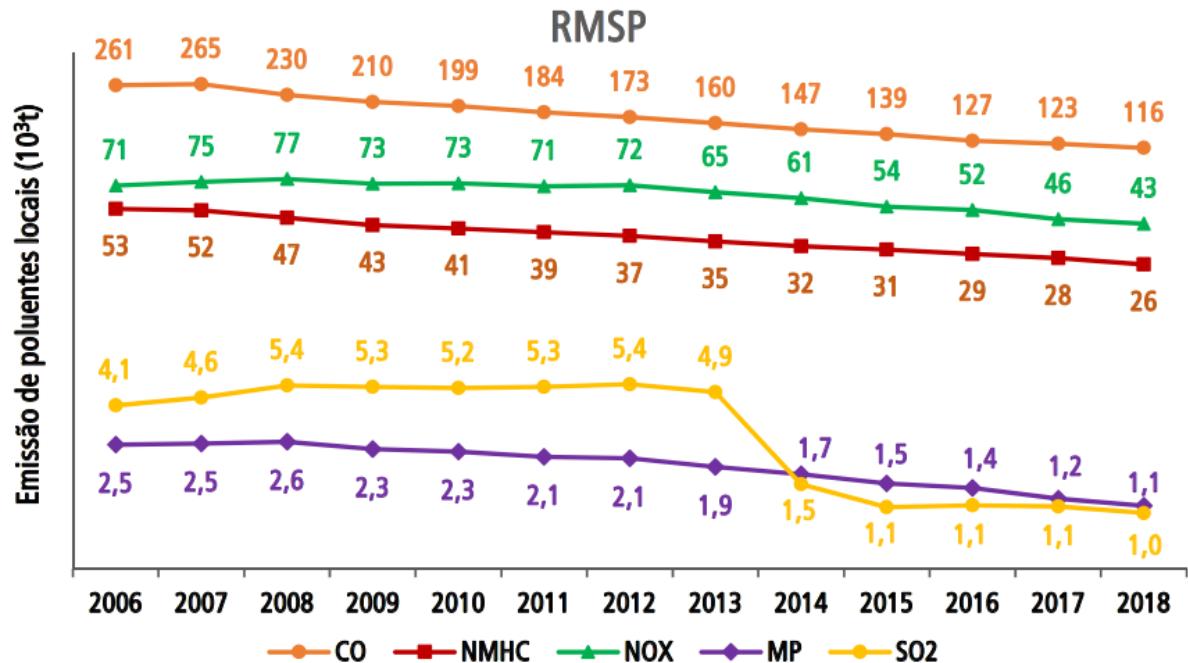
pré-estabelecida pela Lei 11.097/2005 (Ministério de Minas e Energia, 2020). Em março de 2020, este teor já estava em 12% (ANP, 2020).

Política semelhante é realizada com a gasolina. De acordo com o Art. 9º da Lei 8.723/1993 (PLANALTO, 2020), foi fixado um teor de 22% de álcool anidro nas gasolinas tipo C. Atualmente, o teor está em 27% para gasolina tipo C e 25% para gasolina tipo C premium (ANP, 2020).

Estas políticas de mistura de combustíveis fósseis com biocombustíveis têm resultados muito positivos em relação à emissão de poluentes. A exemplo disso, entre os anos de 2013 e 2014, quando a redução do teor de enxofre no diesel foi responsável por diminuir a emissão de SO₂ de 17.000 toneladas para 6.000 toneladas, respectivamente (CETESB, 2019, p. 50).

A Figura 7, extraída do Relatório da Qualidade do Ar do Estado de São Paulo – 2019, evidencia o comportamento de poluentes veiculares atmosféricos. Nela é possível notar que a tendência dos valores das emissões de SO_x em relação aos outros indicadores, possui uma descendente muito mais acentuada.

Figura 7 – Gráfico sobre emissões veiculares anuais na RMSP, retirada do Relatório Anual da Qualidade do Ar do Estado de São Paulo



Fonte: CETESB, 2019.

Notavelmente, estas políticas são medidas mitigadoras muito eficazes, porém, sozinhas, não passam de uma forma de atenuação de problemas. A intenção de evidenciá-las é reforçar a importância de políticas públicas, como elas têm potencial para atrair resultados significativos e como isso deu sustentação à projeção dos cenários tratados no item 5 deste trabalho.

4.2.3 DADOS REFERENTES AO VOLUME E À LENTIDÃO NAS VIAS

De acordo com a Pesquisa de Monitoração da Mobilidade de 2017 divulgada pela CET em 2018, os principais fatores que mantém um veículo parado no trânsito são o semáforo e congestionamento.

A Tabela 7 ilustra os percentuais total de viagem que o veículo permanece parado devido ao congestionamento e semáforos. Foram realizadas medições tanto no sentido centro – destacado na linha azul, quanto no sentido bairro – destacado em amarelo claro. Nota-se que, para os dois sentidos, foram realizadas medições nos períodos da manhã de da tarde. Os tempos de retardamento resultantes de semáforo e de congestionamentos foram somados para cada sentido e cada período – destacados nas colunas “Total”. Em amarelo, está destacado o tempo total por período considerando os dois sentidos e os dois motivos.

Tabela 7 – Percentual de tempo de retardamento de um veículo em São Paulo

Sentido	Período - Manhã			Período - Tarde		
	Semáf.	Congest.	Total	Semáf.	Congest.	Total
Bairro - Centro	19%	14%	33%	20%	11%	31%
Centro - Bairro	21%	7%	28%	19%	19%	38%
Total	20%	10%	30%	20%	15%	35%

Fonte: CET, 2017.

Conforme observado, um veículo passa em média de 10 a 15% do tempo do trajeto parado em um congestionamento. De fato, estes dados referem a apenas alguns trajetos abordados pela pesquisa, porém, por se tratar de vias muito relevantes na região (CET, 2018, p. 19), este dado possui relevância para o presente estudo.

Importante ressaltar que, num retardamento com o veículo ligado, o consumo de combustível é menor, mas existe, como por exemplo: um carro modelo Ford Focus 2.0 à gasolina possui um consumo que pode chegar a 1,1 litro por hora (ANL, 2012).

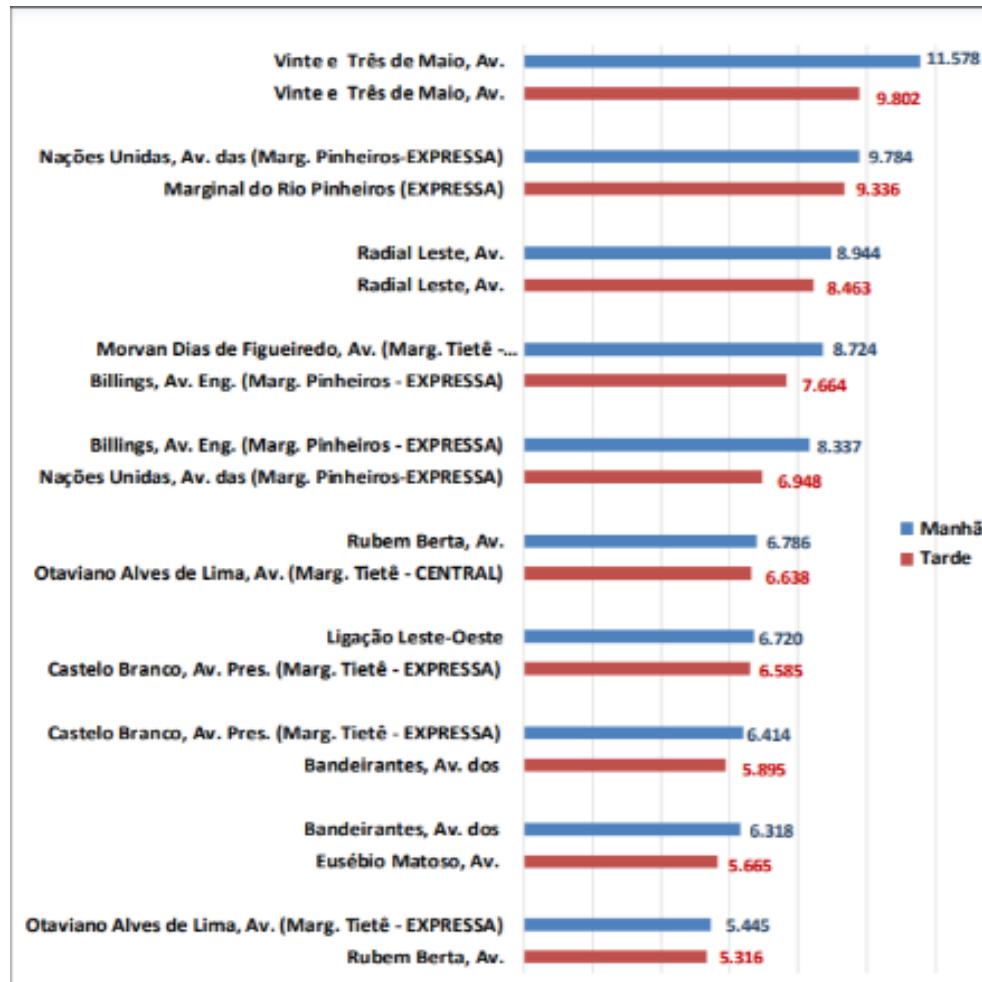
Considerando a grande representatividade de automóveis nas frotas de veículos, a confluência dos fatores de congestionamento e consumo de combustível em retardamentos, estes dados têm grande significância. Basta supor uma situação hipotética a qual este veículo realize um trajeto de 30 minutos, ele permanecerá cerca de 3 minutos parado por conta de congestionamento.

Isto significa que, para 1.000 carros nesta situação, tem-se 55 litros de gasolina consumidos. De acordo com o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, 1 litro de gasolina é responsável por emitir cerca de 2,269 kg de CO₂ (MMA, 2011). Portanto, neste cenário suposto, cerca de 124,8 kg de CO₂ seriam emitidos, apenas por estarem parados no trânsito.

Em São Paulo, uma pessoa que usa o carro como meio de transporte gasta em média 88,5 minutos, diariamente, no trânsito (IBOPE, 2020, p. 13).

De acordo com o estudo Mobilidade no Sistema Viário Principal – MSVP de São Paulo, as dez vias mais carregadas da cidade possuem, no mínimo, mais de 5.000 veículos transitando por período (CET, 2018). A Figura 8 ilustra um gráfico extraído do estudo:

Figura 8 – Dez vias com maior volume de tráfego por período



Fonte: Mobilidade no Sistema Viário Principal – MSVP de São Paulo – 2018, CET, p. 14.

De acordo com o mesmo relatório, entre os horários de 8:00 e 9:00, sendo a hora mais carregada da manhã, dos 11.578 veículos que transitam na Av. 23 de Maio, 9.436 são automóveis, o correspondente a 81,50 % da frota circulante. Para o período entre 18:15 e 19:15, o volume cai para 9.802 veículos no total, sendo que 7.936 são automóveis, o correspondente a 80,96 % da frota.

Complementando o exemplo citado anteriormente, dos 1.000 carros parados por conta do congestionamento, é perceptível que 1.000 carros é muito abaixo do total de carros que circulam a cada período em cada via.

Então, passa-se a reforçar a relevância do questionamento do porquê existe a preferência para automóveis individuais, mesmo com tantas problemáticas evidentes. Além disso, compreender estas motivações é essencial para discutir como estas tecnologias se encaixam no cenário e o que elas devem fazer para tornarem-se mais relevantes para mobilidade urbana.

4.3 PRINCIPAIS MOTIVADORES PARA ESCOLHA DOS MODAIS

De acordo com o Relatório Síntese da Pesquisa de Mobilidade – 2012, tanto para motorizados e não motorizados,

“os motivos de viagem, por ordem de importância, são: trabalho, 46%, educação, 32%, outros motivos referentes a assuntos pessoais – tais como ir ao banco, consulta a advogado, obtenção de documentos, procurar emprego, almoçar – 10%, lazer, 4%, saúde, 4% e compras, 4%”

ou seja, em 2012, 78% das viagens possuem como motivo trabalho e escola. Isto sugere que as empresas e escolas são importantes agentes neste contexto, dessa forma, tornam-se personagens estratégicos, principalmente para projeção de cenários.

Estas informações estão alinhadas com os resultados das respostas do questionário, que aborda outros pontos e motivadores de escolha, conforme observado no item a seguir.

4.3.1 QUESTIONÁRIO REALIZADO A RESPEITO DA ESCOLHA DE MODAIS

Foi realizado um questionário, com objetivo de obter informações a respeito dos principais motivadores para a escolha de um modal. Foram recebidas um total de 44 respostas. Os dados coletados podem ser segmentados em 2 grupos: perfil dos participantes e sobre mobilidade.

Para perfilamento dos participantes, perguntou-se: faixa etária, renda mensal familiar, município e UF.

Para informações a respeito da mobilidade, perguntou-se: se possui carro/moto próprio, os principais meios de transportes utilizados, fatores que influenciam na escolha dos modais incluindo um peso numa escala de 1 a 5, onde 1 é o menos relevante e 5 o mais relevante, para cada um.

Adicionalmente, uma pergunta se concorda ou discorda da seguinte afirmação: “No geral, as pessoas devem usar o transporte público ou compartilhado (caronas), mesmo que seja menos conveniente. Você?”. Esta última possui objetivo de levantar questionamentos a respeito se as pessoas que concordam, praticam no cotidiano, de acordo com suas respostas. É importante ressaltar que não possui caráter sentencioso, pois todos possuem o direito de escolher o modal que bem entender e, além disso, uma pessoa concordar com a frase, não implica que ela deva ou consiga realizar na prática.

4.3.1.1 PERFILAMENTO

4.3.1.1.1 FAIXA ETÁRIA

Foi realizada a seguinte pergunta: “**Qual a sua idade?**”, e o participante tinha 6 opções de respostas já pré-definidas: “**Menos de 18 anos**”, “**19 a 25 anos**”, “**26 a 35 anos**”, “**36 a 50 anos**”, “**51 a 60 anos**” e “**Mais de 60 anos**”.

A distribuição por faixa etária se deu de acordo com a Tabela 8:

Tabela 8 – Respostas do questionário (faixa etária)

Faixa etária (anos)	Quantidade	Quantidade relativa (%)
18 a 25	21	47,7
26 a 35	20	45,5
Mais de 60	2	4,5
35 a 50	1	2,3

Fonte: Questionário elaborado pelo autor via plataforma Google Forms.

Nota-se um predomínio da faixa etária que abrange os 18 até 35 anos, com poucas respostas diferentes. Portanto, um universo amostral relativamente jovem.

4.3.1.1.2 RENDA FAMILIAR

A distribuição por renda familiar se deu de acordo com a Tabela 9:

Tabela 9 – Respostas do questionário (renda familiar)

Renda familiar (R\$/mês)	Quantidade	Quantidade relativa (%)
Acima de 11.001	14	31,8
Entre 1.001 e 3.000	10	22,7
Entre 5.001 e 8.000	10	22,7
Entre 3.001 e 5.000	6	13,6
Entre 8.001 e 11.000	4	9,1

Fonte: Questionário elaborado pelo autor via plataforma Google Forms.

Há predominância de participantes inseridos em um grupo de renda familiar acima de R\$ 11.001,00/mês. De acordo com a revista Istoé, “O Brasil tem um rendimento médio mensal de R\$ 5.088,70 por família”, portanto as respostas desta amostragem indicam que há predominância de uma renda muito superior à média brasileira.

4.3.1.1.3 MUNICÍPIOS E UF

A distribuição por municípios e UF, foi resumida em duas categorias: “São Paulo - SP” e “Outros”. Como não há nenhuma cidade da RMSP, além da própria capital, toma-se “São Paulo – SP” como representante da RMSP. As respostas foram de acordo com a Tabela 10:

Tabela 10 – Respostas do questionário (renda familiar)

Municípios e UF	Quantidade	Quantidade relativa (%)
Outros	37	84,09
São Paulo - SP	7	15,91

Fonte: Questionário elaborado pelo autor via plataforma Google Forms.

Apesar de o trabalho ter foco na RMSP e 84,09 % das respostas serem de regiões distintas, isso permitiu fazer 2 análises nos itens 4.3.1.2.1, 4.3.1.2.2 e 4.3.1.2.3: uma considerando todas as respostas e outra considerando apenas as respostas de “São Paulo – SP”.

4.3.1.2 MOBILIDADE

4.3.1.2.1 POSSE CARRO/MOTO PRÓPRIO

A distribuição por posse de carro/moto se deu de acordo com a Tabela 11:

Tabela 11 - Respostas do questionário (posse de carro/moto)

Possui?	Quantidade	Quantidade relativa (%)
Sim	26	59,1
Não	18	40,9

Fonte: Questionário elaborado pelo autor via plataforma Google Forms.

Nota-se um maior número para pessoas que possuem veículos próprios. Isto alinha-se com a prevalência de uma renda familiar mensal elevada dos participantes.

Quando a análise é realizada considerando apenas as respostas de “São Paulo – SP” é perceptível a diminuição da preferência por veículo próprio, conforme observado na Tabela 12:

Tabela 12 – Respostas do questionário (posse de carro/moto) – apenas respostas de “São Paulo – SP”

Possui?	Quantidade	Quantidade relativa (%)
Sim	3	42,86
Não	4	57,14

Fonte: Questionário elaborado pelo autor via plataforma Google Forms.

4.3.1.2.2 PRINCIPAIS MEIOS DE TRANSPORTE UTILIZADOS

O participante pôde responder múltiplas opções já pré-definidas e, também, indicar outra não listada. Esta pergunta possui o objetivo de definir quais os modais utilizados.

A distribuição por uso de meios de transporte se deu de acordo com a Tabela 13:

Tabela 13 – Quantidade e porcentagem relativa dos principais modais utilizados

Modal	Quantidade	Quantidade relativa (%)
Automóvel particular	31	70,45
Transporte particular (Táxi, uber, etc)	21	47,73
A pé	19	43,18

Ônibus	16	36,36
Bicicleta	11	25,00
Metrô/Trem	6	13,64
Carona	4	9,09
Motocicleta	1	2,27

Fonte: Questionário elaborado pelo autor via plataforma Google Forms.

O somatório da quantidade relativa, neste caso, será maior que 100%, pois os participantes podiam escolher mais de uma opção de resposta. Nota-se que 70,45 % e 47,73 % das respostas, tinham, respectivamente, as opções “Automóvel particular” e “Transporte particular (Táxi, Uber etc.)” marcadas, o que indica a preferência pelo uso de carros, principalmente, de forma não-compartilhada, ou seja, diferentemente de “caronas”.

É interessante notar que 6 respostas incluíram “Metrô/Trem”, o que representa 85,71 % de todas as respostas de “São Paulo – SP”.

4.3.1.2.3 FATORES E PONDERAÇÕES QUE MOTIVAM A ESCOLHA DE UM MODAL

O participante deveria marcar múltiplas opções já pré-definidas, ponderando uma nota de 1 a 5 para cada uma. Esta pergunta aborda o tema-chave do questionário, pois possui o objetivo de definir quais os fatores mais e menos ponderadores na escolha de um modal.

Foi calculada a média das notas (de 1 a 5) atribuídas para os fatores que motivam a escolha de um modal e os dados estão de acordo com a Tabela 14:

Tabela 14 – Respostas do questionário (médias das notas dos motivadores)

Motivador	Média
Disponibilidade do modal	4,67
Condições da via	4,18
Tempo de Trajeto	4,18
Saúde	4,00
Custo	3,95
Conforto	3,70
Segurança	3,50
Sustentabilidade	2,73

Fonte: Questionário elaborado pelo autor via plataforma Google Forms.

O principal objeto de estudo do questionário trouxe informações muito relevantes, como por exemplo o fato de “Sustentabilidade” ser o menos motivador, em comparação aos outros. Em contrapartida, o fator “Disponibilidade do modal” foi considerado o mais motivador e provavelmente está relacionado ao fato de grande parte das respostas serem de outros locais, já que são locais com infraestrutura de mobilidade urbana menor do que a RMSP.

4.3.1.2.4 PESQUISA DE OPINIÃO SOBRE USO DE TRANSPORTE COLETIVO

Os dados estão de acordo com a Tabela 15:

Tabela 15 – Respostas do questionário (opinião sobre a afirmação)

Resposta	Quantidade
Concorda	34
Discorda	4
Não sabe	6

Fonte: Questionário elaborado pelo autor via plataforma Google Forms.

Estes dados podem indicar, ao menos, uma conscientização em relação à importância do transporte público ou compartilhado.

Identifica-se um contraste grande entre esta opinião e os meios utilizados, visto que 77,3% das respostas concordam que as pessoas devem usar transporte público ou compartilhado, mesmo que seja menos conveniente, porém apenas 4 de 44, ou seja, 9,09% dos participantes dizem usar “caronas” como um dos principais meios de transporte. Quanto ao uso de transporte público, apenas 20, ou seja, 45,45 % responderam que usam trem/metrô ou ônibus como um dos principais meios de transporte.

O questionamento levantado, não gira em torno se as pessoas são coerentes com o que dizem ou não, mas o porquê de muitos concordarem com a frase e não aplicarem na prática. Diversos fatores podem influenciar neste comportamento, como pode ser observado nas respostas a respeito do que motiva na escolha do modal. O fator mais relevante é “Disponibilidade do modal”, com uma média de 4,67, em uma escala de 5.

Outro ponto que pode justificar este contraste é o não conhecimento de plataformas que possibilitem o compartilhamento de viagem, como o Waze Carpool.

4.4 TECNOLOGIAS E FERRAMENTAS DE MOBILIDADE EMERGENTES

4.4.1 TECNOLOGIAS E FERRAMENTAS DE MOBILIDADE EMERGENTES

Hoje em dia, de acordo com a pesquisa anual da FGVCIA sobre tecnologia: “São 424 milhões de dispositivos digitais em uso no Brasil em junho de 2020, sendo 190 milhões de computadores e 234 milhões de smartphones. A densidade (per capita) de dispositivos digitais era de 50% em 2010, e atinge 200% em 2020, ou melhor, dois dispositivos digitais por habitante.” (Meirelles, 2020, p. 64). Ou seja, no Brasil, existem mais celulares do que pessoas.

Este panorama apenas reforça a importância de se considerar que *smartphones* têm uma relevância enorme em todos os aspectos, principalmente ao se considerar o poder das ferramentas nas mudanças de hábitos e novas possibilidades.

Como maior interesse deste TCC, ferramentas relacionadas à mobilidade urbana de grande destaque atualmente, é possível citar aplicativos de compartilhamento de viagem, otimização de rotas e compartilhamento de veículos não motorizados ou elétricos.

Atualmente, para a maioria das pessoas, um trajeto simples, como sair de casa e ir a um local inédito, acontece com o auxílio do Waze ou Google Maps. De acordo com a Waze (2020), são 115 milhões de pessoas no mundo que utilizam o aplicativo e, em nível nacional, são 14 milhões de usuários. Estes, além de oferecer uma rota guiada por áudio ou imagem, permitem escolher diferentes rotas, priorizando custo, tempo ou distância, levando à otimização de rota.

A respeito de aplicativos que permitem compartilhamento de viagem, interpretando-se o conceito de viagem como trajetos intraurbanos, não intermunicipais ou interestaduais, o próprio Waze permite que o usuário determine uma rota, geralmente usada rotineiramente por meio de outro aplicativo: Waze Carpool. Assim, é estimulada a conexão com pessoas que possuem necessidade de um trajeto similar usufruir da mesma viagem e, por consequência, o mesmo veículo. Para o trajeto pode ser definido um preço pré-estabelecido por quem oferece a carona, sendo uma opção atrativa financeiramente. De acordo com a Waze, o serviço Waze Carpool conta com 4,5 milhões de usuários em São Paulo.

Já a Uber, conhecida por disponibilizar serviços de transporte privado urbano, tem, em seu principal produto, potencial para agravar o cenário de uso de automóveis particulares e, por consequência, afetando a mobilidade urbana. Em contrapartida, possui a função Uberpool, que permite que a viagem pode ser compartilhada entre os próprios usuários, despondo como uma solução positiva para a melhora dos fluxos urbanos.

Por veículos não motorizados ou elétricos, entendem-se as bicicletas, patinetes, motos e carros – estes dois últimos, com motores elétricos – compartilhados. Dentre as ferramentas que estimulam o uso desses meios de transporte, a mais notória é o aplicativo Bike Itaú - para bicicletas. Este último, atua por meio de estações fixas, instaladas em ruas ou calçadas, geralmente próximo às estações de metrô ou terminais de ônibus. Estas estações possuem docas onde as bicicletas ficam travadas e são liberadas após a solicitação pelo aplicativo ou pelo console da própria estação. O custo do serviço varia conforme a solicitação, desde R\$ 4,30 uma

viagem avulsa até R\$ 239,90 em um plano anual, com uso limitado até 60 minutos (ITAU, 2020).

Já para patinetes elétricos, a própria Uber oferece os serviços de compartilhamento dos veículos. Nestes, o usuário consegue realizar o desbloqueio do veículo – que possui um QRCode de identificação – via aplicativo que por estar vinculado ao cartão de crédito autoriza ou não. Os valores variam conforme o tempo de uso, que é ilimitado, sendo cobrado uma taxa fixa, para desbloqueio, de R\$ 1,50 com acréscimo de R\$ 0,75 por minuto de uso (UBER, 2020).

A plataforma chamada RibaShare oferece o serviço de scooters elétricas compartilhadas, com operação semelhante à de um patinete da Uber. São veículos que não possuem estações fixas, portanto podem ser deixados em qualquer local, desde que seja permitido estacionar. Além disso, para utilizá-las, o processo é igual ao do patinete, basta a liberação via QRCode pelo aplicativo. O custo do serviço está cotado em R\$ 0,75 por minuto de uso (Ribashare, 2020).

A RibaShare possui uma área de abrangência na região sudoeste de São Paulo, envolvendo avenidas e ruas que possuem um grande volume de tráfego como: Avenida Henrique Schaumann, Avenida Rebouças etc. (Ribashare.com). Estas avenidas possuem um volume pela manhã de 3.872 e 2.854 veículos todos os dias, respectivamente (CET, 2018, p. 29-34).

A BeepBeep oferece carros elétricos compartilhados, com a operação similar à do Bike Itaú, onde o carro deve ser deixado em uma estação de recarga da empresa. O veículo é desbloqueado por meio do aplicativo e para seu uso é cobrado uma taxa fixa de R\$ 7,90 com acréscimo de R\$ 0,60 por minuto (BeepBeep, 2020).

4.4.2 COMO AS TECNOLOGIAS E OS ASPECTOS DA MOBILIDADE ESTÃO RELACIONADOS

Conforme observado, existem diversas tecnologias relacionadas à mobilidade urbana, cada qual com determinadas funções. O Quadro 2 resume todas as ferramentas citadas e suas categorias de acordo com suas funções:

Quadro 2 – Resumo das ferramentas e o que cada uma oferece

Nome	Categoria
Waze	Otimização de rotas

Google Maps	Otimização de rotas
Waze Carpool	Compartilhamento de viagem
Uberpool	Compartilhamento de viagem
Bike Itaú	Veículos não motorizados ou elétricos
Uber (Patinete)	Veículos não motorizados ou elétricos
Riba	Veículos não motorizados ou elétricos
BeepBeep	Veículos não motorizados ou elétricos

Fonte: Elaborado pelo autor.

A otimização de rota pode ser aplicada considerando diferentes parâmetros: tempo, distância, custo de pedágio, presença de vias expressas e de terra. É importante ressaltar que o Waze faz o monitoramento por geolocalização de seus usuários, considerando a situação do trânsito em tempo real para traçar a rota.

Visto que a otimização de rotas pode considerar diversos parâmetros, os que são de interesse deste estudo serão aqueles que podem indicar potenciais melhorias na mobilidade são: tempo e distância. É importante elucidar que uma menor distância não implica em menos tempo de percurso, dependendo da velocidade média percorrida.

Esta velocidade média, depende principalmente da velocidade limite imposta para tal via, mas grande parte das vezes é afetada justamente por conta do trânsito intenso e congestionamentos. Isso é observado na Tabela 7, que mostra que um tempo de retardamento de veículos em congestionamentos de cerca de 10%.

Caso haja um percurso alternativo, estes aplicativos calculam se, mesmo com uma maior distância, este percurso é mais rápido. Considerando que dos problemas de mobilidade, o congestionamento que, por definição é “Acúmulo de pessoas, veículos ou objetos que dificultam a livre circulação” (Michaelis, 2020), pode ser resolvido com o deslocamento de parte dos automóveis para outras vias.

A atenuação ou ausência de congestionamentos implicaria em menos tempo de retardamento dos veículos que, por sua vez, levaria a um menor consumo de combustíveis decorrentes do retardamento por congestionamento.

As ferramentas de compartilhamento de viagem se baseiam no mesmo conceito do transporte público coletivo, porém aplicadas ao cenário privado. De acordo com a Tabela 5 e a ideia discutida em torno dela, de que o compartilhamento de viagens tem grande poder de redução do número de automóveis nas vias, pode a ser uma solução para a redução de congestionamentos e de emissão de ruídos.

O fato de diminuir a quantidade de veículos circulantes pode levar às mesmas consequências que a otimização de rota acarreta, como a diminuição de congestionamentos. Porém, existe um grande diferencial, entre as categorias de compartilhamento de viagem e a otimização de rotas, que é a diminuição da frota circulante.

Ao diminuir a frota circulante, o consumo de combustível é menor por consequência direta de menos veículos à combustão em circulação e, também, por consequência indireta ao diminuir congestionamentos e seu consumo em tempo de retardamento.

Outro fator positivo de menos veículos em circulação é a diminuição de ruídos, visto que, como já exemplificado anteriormente, a quantidade de fontes sonoras é fundamental para o nível de intensidade sonora. Portanto, assim como mais fontes sonoras implicam em um nível de intensidade maior, menos fontes implicam em menor nível de intensidade.

Já o compartilhamento de veículos elétricos ou não motorizados está fortemente inserido num contexto que está mais evidente atualmente: micromobilidade urbana. Este conceito foi utilizado pela primeira vez pelo empresário Horace Dediu, no evento Tech Festival em Copenhague – Dinamarca, em 2017, e define micromobilidade com as premissas: veículos com peso menor que 500 kg; se possuir motor, deve ser elétrico; ser utilizado principalmente como transporte (MICROMOBILITY, 2020).

“As viagens realizadas a bordo de um carro (excluindo-se táxis) têm média de distância (em linha reta) de 6,06 km na RMSP e 5,49 km na cidade de São Paulo. A média de tempo gasto nelas é de 31 minutos, aproximadamente, para os dois recortes” (METRO, 2012). Nota-se que a velocidade média aplicada a este cenário seria da ordem de 12 km/h, muito abaixo do permitido nas vias, indicando uma situação não ideal de mobilidade. São distâncias aplicáveis para bicicletas e patinetes elétricos, podendo vir a ser uma forma de substituição de modal vantajosa em diversos contextos: tempo de trajeto, financeiro e saúde.

A micromobilidade já é utilizada como solução para intermodalidade de transportes, sendo instaladas em locais estratégicos, ou seja, próximo às estações de metrô e terminais de

ônibus. A Bike Itaú, por exemplo, em parceria com a prefeitura de São Paulo, permite ao usuário o pagamento por Bilhete Único, incentivando o uso de transporte público e meios não motorizados.

O uso das ferramentas de compartilhamento de veículos não motorizados ou elétricos pode ser segmentado em 2 classes: os que não utilizam as autovias e os que usam. No caso dos que não usam, como Bike Itaú e Uber Patinete, se utilizados como forma alternativa aos veículos à combustão nas autovias, implica em menos veículos à combustão em circulação. Portanto, as consequências são as mesmas da categoria de compartilhamento de viagem: menor emissão de poluentes atmosféricos, menos congestionamentos e menos ruídos. Já para o caso dos veículos que utilizam as autovias, por não diminuir a frota circulante, não existe nenhuma vantagem quanto à diminuição de congestionamentos, porém ocorre a substituição de um veículo à combustão por um que não emite poluentes durante seu uso.

A Renault, fabricante do veículo Renault Zoe, o carro elétrico que é utilizado para os serviços da BeepBeep, afirma que “O som medido na cabine do ZOE entre 40 e 75 km/h é de 60 a 65 dB, o que é 2 a 3 vezes menor em comparação com um veículo térmico de potência equivalente.” (RENAULT, 2020).

É importante ressaltar que “2 a 3 vezes menor”, conforme já explicado na equação 2, equivale à aproximadamente 3 a 4,8 dB a menos, respectivamente. Por esse motivo, é seguro afirmar que o uso da ferramenta BeepBeep resulta em menos ruídos, em comparação ao uso de um veículo à combustão.

O Quadro 3 resume as categorias das ferramentas, aspectos da mobilidade urbana e ambientais relacionados.

Quadro 3 – Resumo das categorias de ferramentas, aspectos da mobilidade e ambientais envolvidos

Categoria	Aspectos da mobilidade envolvidos	Aspectos ambientais envolvidos
Otimização de rotas	Diminuição de congestionamento	Menos emissões atmosféricas
Compartilhamento de viagem	Diminuição da frota circulante, diminuição de congestionamento, diminuição de ruídos	Menos emissões atmosféricas e menos ruídos dos motores

Compartilhamento de veículos não motorizados ou elétricos	Diminuição da frota de veículos que emitem poluentes atmosféricos, substituição por veículos que emitem menos ruídos	Menos emissões atmosféricas e menos ruídos dos motores
---	--	--

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme observado, estas ferramentas possuem um potencial para mitigação de impactos ambientais negativos. A partir dos dados do Quadro 2, cruzados com o Quadro 3, assume-se que os efeitos negativos relacionados sejam atenuados.

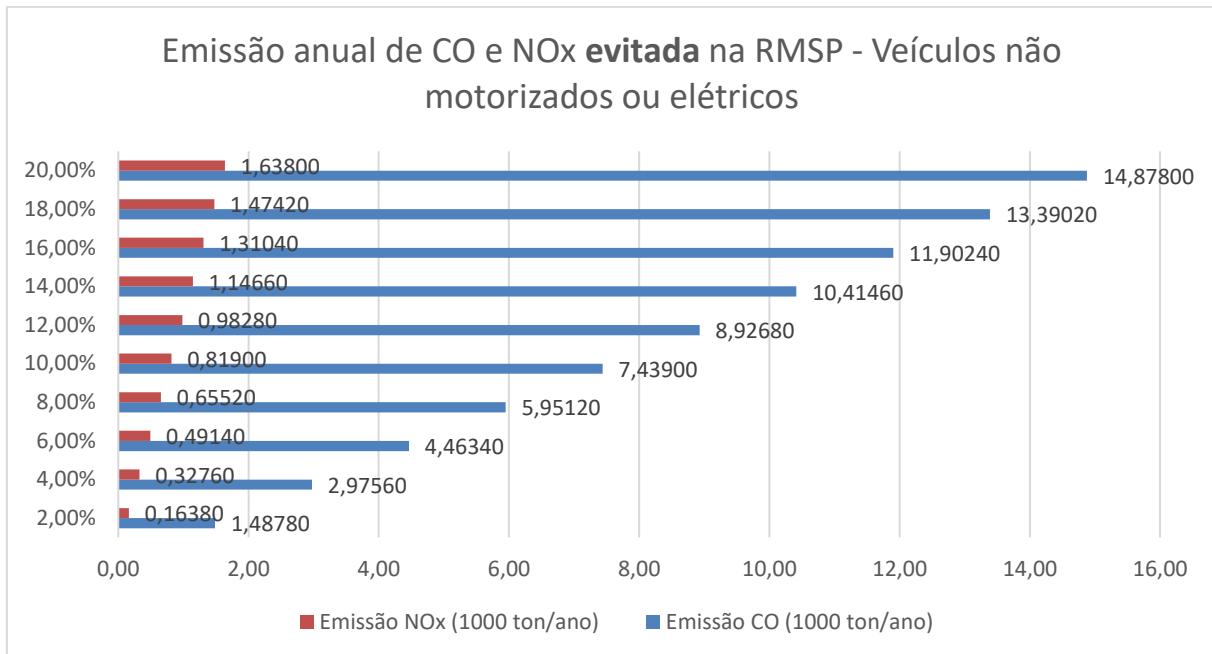
5 CENÁRIOS

Como forma de tornar a discussão menos abstrata, alguns cenários foram traçados, considerando diferentes variáveis. É certo que são projeções muito superficiais e sem considerar a viabilidade de implementação, mas a ordem de grandeza dos resultados é muito relevante, pois possui comportamento de indicador.

Para o cálculo das projeções, foram considerados os dados de emissões veiculares provenientes de veículos da categoria “Automóveis” da Tabela 2, aplicando uma relação direta de acordo com a taxa de conversão.

A primeira projeção se baseou em uma taxa de conversão de modal, ou seja, a migração de uma parcela da categoria de automóveis à gasolina para a categoria “Veículos não motorizados ou elétricos”. Levando em consideração os aspectos ambientais e de mobilidade envolvidos, considera-se ainda, a emissão de 2 gases distintos, característicos de veículos à combustão, NO_x e CO, conforme já citado no item 4.1.2.

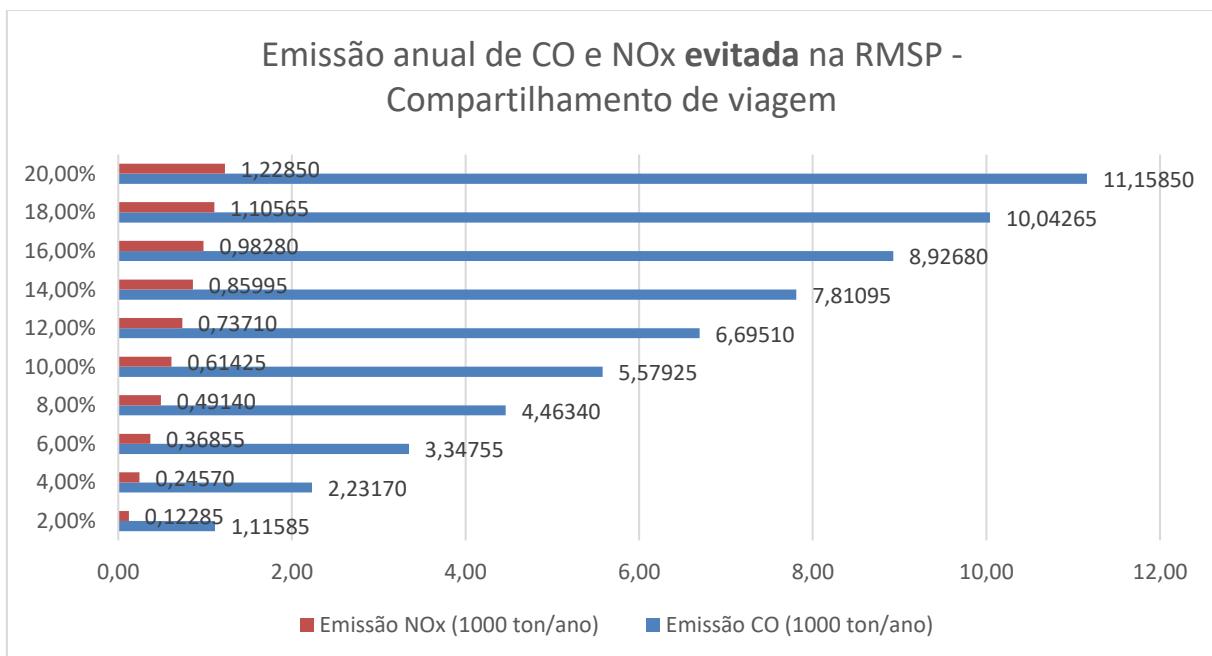
Figura 9 - Gráfico da primeira projeção – Conversão para veículos elétricos ou não motorizados



Fonte: Elaborado pelo autor, a partir da Tabela 16, com auxílio do software Microsoft Excel.

A segunda projeção considerou-se as mesmas emissões, porém aplicada ao “compartilhamento de viagem”, portanto diferenciando-se na questão do fator de conversão, pois não existe alteração de modal, apenas redução de veículos. Considerou-se algumas quantidades de usuários e que a cada 4 usuários, implicam em 3 carros a menos.

Figura 10 - Gráfico da segunda projeção – Compartilhamento de viagem

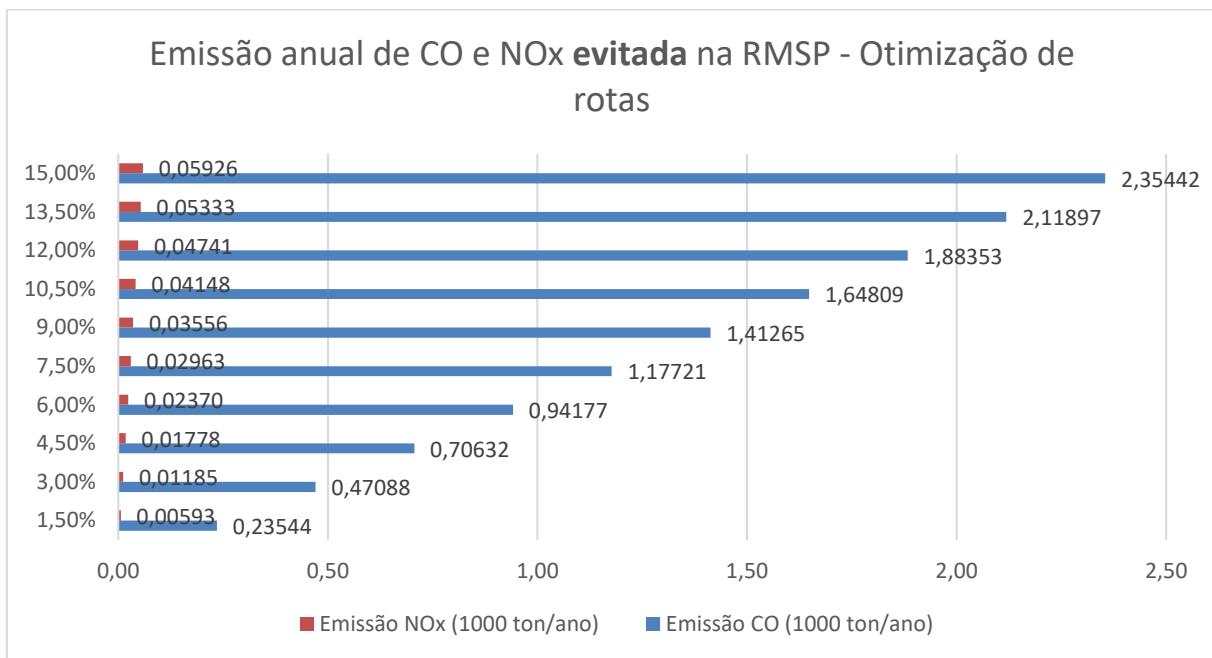


Fonte: Elaborado pelo autor, a partir da Tabela 17, com auxílio do software Microsoft Excel.

A terceira projeção, considera-se o fator de regressão do tempo de retardamento no trânsito, promovida por ferramentas da categoria “Otimização de rotas”, o consumo médio de um carro movido à gasolina parado e ligado.

Assim, projetam-se cenários com reduções de 1,5% de tempo de retardamento devido ao congestionamento para cada um até o patamar de 15%, o qual representa um nível padrão para vias movimentadas, de acordo com a Tabela 7.

Figura 11 - Gráfico da terceira projeção – Otimização de rotas



Fonte: Elaborado pelo autor, a partir da Tabela 18, com auxílio do software Microsoft Excel.

A partir destas projeções, considera-se 3 cenários: *status quo*, médio uso das tecnologias e grande uso das tecnologias na mobilidade. Todos representam a soma da redução de CO e NO_x, para diferentes projeções. As reduções totais para cada cenário estão no gráfico da Figura 12.

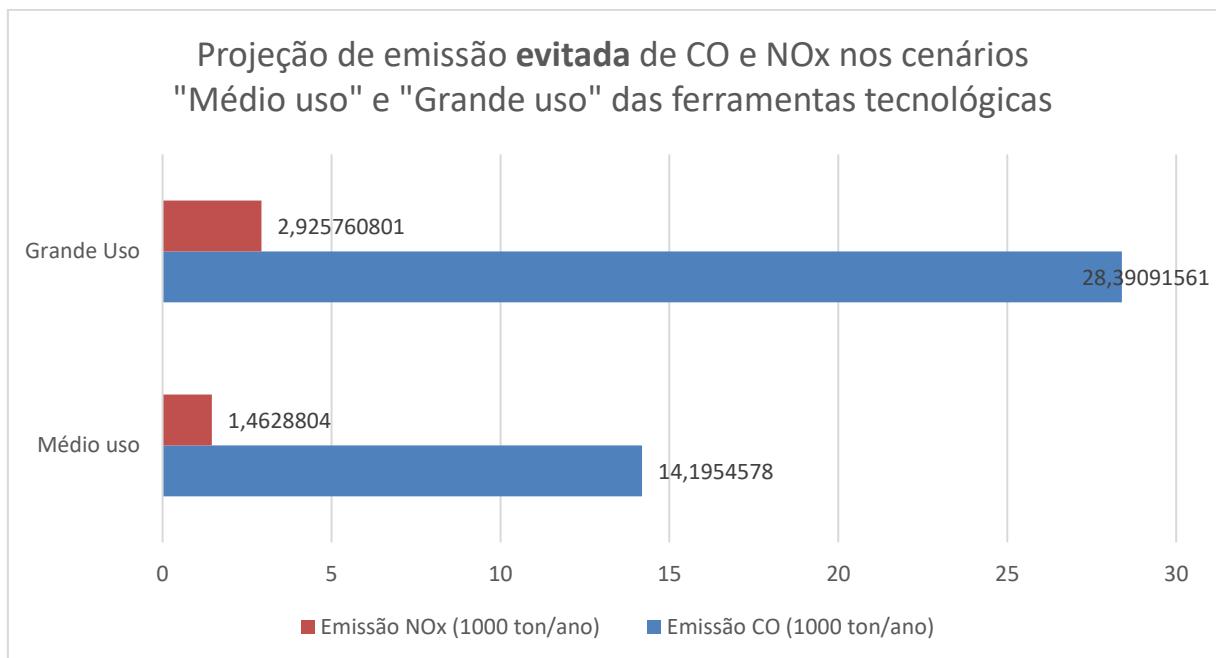
No caso do cenário “*Status quo*”, o qual não há emissão evitada, representa a emissão de CO e NO_x veiculares anualmente na RMSP, considerando os valores obtidos na Figura 7, no ano de 2018. Portanto, os valores de 116.000 e 43.000 ton/ano de CO e NO_x, respectivamente. Considerando o decaimento de 2017 para 2018, para CO e NO_x, as taxas foram, em módulo, de 7.000 ton/ano e 3.000 ton/ano, respectivamente.

No caso do cenário “Médio uso”, representa a soma da emissão evitada de CO e NO_x considerando: 10% de conversão de automóveis para veículos elétricos ou não motorizados;

10% de usuários ativos para compartilhamento de viagem em relação aos automóveis totais da via; e 7,5% de redução absoluta do tempo de retardamento devido ao congestionamento, em razão da otimização de rotas.

No caso do cenário “Grande uso”, representa a soma da emissão evitada de CO e NO_x considerando: 20% de conversão de automóveis para veículos elétricos ou não motorizados; 20% de usuários ativos para compartilhamento de viagem em relação aos automóveis totais da via; e 15% de redução absoluta do tempo de retardamento devido ao congestionamento, em razão da otimização de rotas, o que representa um cenário sem congestionamento.

Figura 12 - Gráfico da projeção dos 2 cenários – “Médio uso” e “Grande uso”



Fonte: Elaborado pelo autor, a partir da Tabela 19, com auxílio do software Microsoft Excel.

Nota-se que no cenário mais otimista, há uma redução de CO emitido anualmente em cerca de 28.391 toneladas e para NO_x cerca de 2.926 toneladas.

Como forma de comparação, de acordo com os dados da Figura 7, a respeito das emissões veiculares anuais para a RMSP, os quais, em 2018 foram estimados em 116.000 toneladas de CO e 43.000 toneladas de NO_x. Tem-se que no cenário mais otimista, essas tecnologias são capazes de reduzir a emissão veicular anual em 24,5% de CO e 6,8% de NO_x de toda a RMSP.

Estes valores podem ser convertidos para a unidade “CO₂ equivalente (CO₂eq.)”, a qual representa uma medida para comparar as emissões de vários gases de efeito estufa, baseada no potencial de aquecimento global de cada um (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2020).

De acordo com o Painel Nacional de Indicadores Ambientais, 1 tonelada de N₂O equivale a 310 toneladas de CO₂ em termos de potencial de aquecimento global (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2020). Portanto, se assumirmos que, no melhor de cenário (2.926 toneladas evitadas), o NO_x evitado, fosse convertido integralmente em NO₂, o CO₂eq seria estimado pela equação 4.

Equação 4.

$$\text{CO}_2\text{eq} = 2.926 \frac{\text{tonNO}_2}{\text{ano}} \times 310 \frac{\text{tonCO}_2\text{eq}}{\text{tonNO}_2} = 907.060 \frac{\text{tonCO}_2\text{eq}}{\text{ano}}$$

Além disso, se considerar a conversão integral de CO em CO₂ somam-se cerca de 28.931 toneladas de CO₂, totalizando 935.991 toneladas de CO₂.

De acordo com o Laboratório de Silvicultura Tropical da ESALQ – USP, em média uma árvore da Floresta Amazônica sequestra por ano 7,4 kg de CO₂ eq. Portanto, de acordo com a equação 5, temos que o número de árvores necessárias, anualmente, equivalente a esta emissão evitada dos poluentes CO e NO_x, seria em torno de 126.485.270 árvores na Floresta Amazônica.

Equação 5.

$$\text{Árvores} = \frac{935.991 \frac{\text{tonCO}_2\text{eq}}{\text{ano}}}{7,4 \times 10^{-3} \frac{\text{tonCO}_2\text{eq}}{\text{ano}}} = 126.485.270 \text{ árvores}$$

6 CONCLUSÕES

Apesar da superficialidade de todas as projeções, elas indicam que as ferramentas tecnológicas em pauta possuem potencial de mitigação de impactos ambientais, principalmente relacionados às emissões de poluentes atmosféricos.

É necessário evidenciar que foram projeções em cenários isolados e sem sobreposição de categoria do uso das ferramentas. Por exemplo, a projeção realizada para compartilhamento de viagem, considerou apenas a redução de emissão devido à redução de veículos, como resultado primário. É fato que a redução de veículos proporcionaria uma redução de

congestionamentos nas vias públicas e ocorreria uma redução de emissão de poluentes atmosféricos, conforme observado na projeção a respeito de consumo de combustível dos carros em retardamento, sendo considerado um resultado secundário. Dessa forma, estas tecnologias, apesar de atuarem dentro da mobilidade em categorias e mercados diferentes, possuem sinergia entre si.

Além da possibilidade de atuarem integradas, é necessário entender outras formas que potencializam os resultados. De fato, o cenário ideal seria se todo o ecossistema da mobilidade utilizasse as ferramentas de forma harmônica. E por todo ecossistema, entende-se todos transeuntes, veículos, dispositivos de trânsito, vias públicas, organizações privadas e públicas etc.

Um ótimo exemplo de boa relação entre as partes, é a possibilidade do uso do bilhete único de transporte público para uso das bicicletas compartilhadas do aplicativo Bike Itaú, em São Paulo, promovendo a intermodalidade.

As relações entre as partes do ecossistema da mobilidade devem ser incentivadas e os fatores motivadores possuem extrema importância para promover esta harmonia entre elas. Como exemplo disso, conforme observado nos dados, o fator “Sustentabilidade” possui menos relevância em comparação aos outros, dessa forma, talvez seja menos prioritário que se invista no incentivo de seu uso baseado no apelo da sustentabilidade.

As motivações estão intensamente conectadas ao conceito de “Pontos de Alavancagem”, estes, abordados pela renomada cientista ambiental Donella Meadows em um de seus livros “Leverage Points: Places to Intervene in a System”. Em resumo, de acordo com Donella Meadows (1997, p. 1) os Pontos de Alavancagem de um Sistema

São locais específicos em um sistema complexo, como uma grande empresa, uma economia, uma cidade ou ecossistema, onde uma pequena alteração em um elemento é capaz de fazer uma grande alteração em todas as partes.

De acordo com Meadows, são 12 pontos de alavancagem e o segundo mais relevante de todos é “A mentalidade ou paradigma a partir do qual o sistema surge” (1997, p. 3). Isso inclui a cultura a qual ela está inserida e, de fato, ao se tratar mudança de culturas, são grandes esforços realizados e não é uma tarefa isolada, com poucos fatores envolvidos.

Vale ressaltar que, a relação custo/implementação provavelmente é muito menor – visto que estas tecnologias já existem e o setor privado que as administram – do que obras infraestruturais, como alargamento de vias.

A disponibilidade do modal e o custo são, de acordo com o questionário, fatores relevantes para a preferência do uso, portanto devem ser encarados como pontos de alavancagem dentro do sistema da mobilidade. A interface com organizações privadas e públicas é de expressiva importância, visto que são os principais *stakeholders* na situação.

Esta interface entre organizações privadas, públicas e sociedade, podem se dar de diversas formas, como parcerias e subsídios. Partindo do princípio de que bicicletas compartilhadas são ótimas soluções para curta distância, passa a ser muito interessante um programa entre prefeitura e as empresas, que viabilize a instalação das estações de bicicleta dentro de bairros que não possuem estações de metrô, trem ou terminais de ônibus em seu interior, mas próximo aos arredores do bairro, e nas próprias estações de transporte público.

Além disso, a possibilidade de um passe único de integração, assim como já é realizado entre metrô e ônibus atualmente, teria poder de incentivo de uso. Isso não significa que a parceria ou subsídio deveria ser vitalícia, mas algo com objetivo em curto e médio prazo, que estimule o uso e acelere a mudança de cultura.

Para as ferramentas se tornarem de conhecimento quase que integral da sociedade, diversas partes podem ter papéis fundamentais para auxiliar na divulgação e incentivo. Desde as próprias empresas, governos municipal, estadual e federal, empresas privadas etc. Como exemplo, algumas empresas incentivam a carona entre seus funcionários, mas nem todas incentivam aplicativos para isso.

Quanto aos ruídos e poluição sonora, apesar de não ter sido projetado em algum cenário, partindo do conceito apresentado de diminuição de ruídos devido a diminuição de fontes emissoras, é fato que a redução de veículos nas ruas teria efeito muito positivo quanto à poluição sonora.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS – ANTP. **Premissas para um plano de mobilidade urbana**, 2013. Disponível em: http://files-server.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2013/03/06/ABB0D95F-D337-4FF5-9627-F8D3878A9404.pdf Acesso em: 21 ago. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Biodiesel**, 2016. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biodiesel>. Acesso em: 11 set. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Dados Estatísticos**, 2019. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/dados-estatisticos>. Acesso em: 11 set. 2020.

ALVES, E.; SOUZA, G.; MARRA, RENNER. **Êxodo e sua contribuição à urbanização de 1950 a 2010**, 2011. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/910778/1/Exodoesuacorribuicao.pdf> Acesso em: 21 ago. 2020.

ARGONNE NATIONAL LABORATORY – ANL. **Idling Reduction Savings Calculator**, 2012. Disponível em: https://www.anl.gov/sites/www/files/2018-02/idling_worksheet.pdf Acesso em: 07 dez. 2020.

BONINI, V. **Avenidas Rebouças e Francisco Morato lideram ranking da CET de vias mais congestionadas em SP**. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2018/10/23/avenidas-reboucas-e-francisco-morato-lideram-ranking-da-cet-de-vias-mais-congestionadas-em-sp.ghtml>. Acesso em: 11 set. 2020.

CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. F. G. **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**, 2013.

CARMO, E. **Carro parado, (ligado sem aceleração), existe consumo de combustível?** Disponível em: <https://www.noticiasautomotivas.com.br/gostaria-de-saber-se-um-carro-manter-se-parado-e-ligado-sem-aceleracao-mesmo-assim-existe-consumo-de-combustivel/>. Acesso em: 11 set. 2020.

CARVALHO, J. F. **Combustíveis fósseis e insustentabilidade**, 2008. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v60n3/a11v60n3.pdf> Acesso em: 23 ago. 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Emissões veiculares no Estado São Paulo – 2017**, 2018. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2019/02/Relat%C3%B3rio-Emiss%C3%B5es-Veiculares-2017.pdf>. Acesso em: 26 out. 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Relatório de Qualidade do Ar do Estado São Paulo – 2019**, 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2020/07/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-do-Ar-2019.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2020.

COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO - CET. Mobilidade no Sistema Viário Principal Volumes - 2018, 2019. Disponível em: <http://www.cetsp.com.br/media/969813/relatorio-msvp-2018.pdf>. Acesso em: 11 set. 2020.

COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO - CET. Pesquisa de Monitoração da Mobilidade: Mobilidade no Sistema Viário Principal Volume e Velocidade - 2017, 2018. Disponível em: <http://www.cetsp.com.br/media/714822/msvp-2017-volume-e-velocidade.pdf>. Acesso em: 11 set. 2020.

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO - METRÔ. Pesquisa Origem Destino 2017 - 50 anos, 2017. Disponível em: http://www.metro.sp.gov.br/pesquisa-od/arquivos/Ebook%20Pesquisa%20OD%202017_final_240719_versao_4.pdf. Acesso em: 23 ago. 2020.

DRUMM, C. F.; GERHARDT, E. A.; FERNANDES, D. G.; CHAGAS, P.; SUCOLOTTI, S. M.; KEMERICH, C. D. P. Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores, 2013. p. 68. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/10537/pdf>. Acesso em: 23 ago. 2020.

EMPLASA. Plano de desenvolvimento urbano integrado – RMSP, 2019. Disponível em: http://multimidia.pdui.sp.gov.br/rmsp/docs_pdui/rmsp_docs_pdui_0018_diagnostico_final.pdf. Acesso em: 26 out. 2020.

FEDERAÇÃO NACIONAL DA DISTRIBUIÇÃO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES - FENABRAVE. Relatório de veículos mais vendidos, 2020. Disponível em: http://www.fenabrade.org.br/relatorios/rel_MaisVendidos.asp#Relatorio. Acesso em 20 out. 2020.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. Fundamentos de Física Vol. 2 Edição 9. 2012.

IBOPE Inteligência. Pesquisa de opinião pública - viver em São Paulo: mobilidade urbana, 2020. Disponível em: <https://www.nossasaopaulo.org.br/wp-content/uploads/2020/11/ViverEmSP-MobilidadeUrbana-2020-completa.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo demográfico IBGE 2010, 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>. Acesso em: 21 ago. 2020.

IIDA, I. Ergonomia: projeto e produção. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2005. p. 614.

INÁCIO, D. A. S.; BRANDÃO, B. A. Toxicologia Forense: Intoxicação por Monóxido de Carbono em Carbonizados, 2016. Disponível em: <http://www.ipebj.com.br/forensicjournal/download.php?arquivo=219>. Acesso em: 11 set. 2020.

INSTITUTO AKATU. Dois dias andando de carro emitem tanto CO2 quanto um mês de metrô, 2010. Disponível em: <https://www.akatu.org.br/noticia/dois-dias-andando-de-carro-emitem-tanto-co2-quanto-um-mes-de-metro/#:~:text=Para%20percorrer%20um%20quil%C3%B4metro%2C%20este,gramas%20de%20CO2%20por%20pessoa>. Acesso em 11 out. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Programa Nacional de Etiquetagem - Veicular**, 2020. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos_leves_2020.pdf. Acesso em 20 out. 2020.

ITAU. Disponível em: <https://bikeitau.com.br/bikesampa/>. Acesso em: 17 set. 2020.

LABORATÓRIO DE SILVICULTURA TROPICAL, 2020. **Como calcular as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) produzidas no transporte de veículos? Como compensar suas emissões utilizando-se de árvores ou florestas?**

Disponível em: http://esalqlastrop.com.br/capa.asp?pi=calculadora_emissoes. Acesso em: 09 de nov. 2020.

LEI 8.723/1993. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L8723.htm. Acesso em: 11 set. 2020.

LIMA, Elicio. **As primeiras civilizações: na mesopotâmia**, 2016. Disponível em: https://www.academia.edu/21655175/AS_PRIMEIRAS_CIVILIZA%C3%87%C3%95ES_Na_Mesopot%C3%A2mia Acesso em: 21 ago. 2020.

MEADOWS, D. **Leverage Points: Places to Intervene in a System**, 2019.

MEIRELLES, F. S. **Pesquisa Anual do FGVCia, 31ª Edição**, 2020. Disponível em: <https://eaesp.fgv.br/sites/eaesp.fgv.br/files/u68/fgvcia2020pesti-resultados.pdf> Acesso em: 06 ago. 2020.

MICROMOBILITY. **The car will be unbundled.** Disponível em: <https://micromobility.io/our-vision>. Acesso em: 17 set. 2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Sobre o programa nacional de produção e uso do biodiesel - PNPB**, 2020. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/acoes-e-programas/programas/biodiesel/sobre-o-pnpb>. Acesso em: 11 set. 2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Poluentes atmosféricos**, 2020. Disponível em: https://www.mma.gov.br/pnia/Arquivos/Temas/Atmosfera_e_Mudancas_Climaticas_AMC/1_Mudancas_Climaticas_AMC_1_1/Metadado_AMC_1_1.pdf. Acesso em: 09 nov. 2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **PNIA – Painel Nacional de Indicadores Ambientais**, 2020. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos.html> Acesso em: 26 ago. 2020.

PREFEITURA DE SÃO PAULO, **PlanMob/SP 2015**. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/chamadas/planmobsp_v072_145_5546429.pdf Acesso em: 28 jul. 2020

RENAULT. **Novo Renault Zoe: aderir à mobilidade 100% elétrica nunca foi tão fácil**, 2016. Disponível em: <http://imprensa.renault.com.br/release/item/novo-renault-zoe-aderir-a-mobilidade-100-eletrica-nunca-foi-tao-facil.pt#:~:text=Paralelamente%20a%20natureza%20el%C3%A9trica%20do,ve%C3%A0dculo%C20t%C3%A9rmico%20de%20pot%C3%A1ncia%20equivalente>. Acesso em: 17 set. 2020.

RESOLUÇÃO 624, DE 19 DE OUTUBRO DE 2016. Disponível em: https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/resolucao_624-2016.pdf Acesso em: 03/09/2020.

STROBEL, C. Máquinas Térmicas I – Combustíveis e combustão, 2003. p. 2.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. Relatório de Contas do Governo de 2010. Áreas Temáticas “Mobilidade Urbana”. Disponível em: https://portal.tcu.gov.br/tcu/paginas/contas_governo/contas_2010/fichas/Ficha%205.2_cor.pdf. Acesso em: 07 jul. 2020.

UBER. Uber lança patinetes elétricos em São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.uber.com/pt-BR/newsroom/uber-lanca-patinetes-eletricos-em-sao-paulo/>. Acesso em: 17 set. 2020.

VIANNA, M. K. Poluição sonora no município de São Paulo: avaliação do ruído e o impacto da exposição na saúde da população, 2014. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6132/tde-01122014-100623/publico/KarinaMaryDePaivaVianna.pdf>. Acesso em 17 set. 2020.

WAZE. Sobre a Waze. Disponível em: <https://www.waze.com/pt-BR/about>. Acesso em: 16 set. 2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Résumé D'orientation Des Directives De l'oms Relatives Au Bruit Dans l'environnement, 2003. Disponível em: <https://www.who.int/docstore/peh/noise/bruit.htm>. Acesso em: 30 set. 2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION, Global Health Observatory Data, 2016. Disponível em: https://www.who.int/gho/phe/outdoor_air_pollution/burden_text/en/#:~:text=Worldwide%2C%20ambient%20air%20pollution%20is,26%25%20of%20respiratory%20infection%20deaths Acesso em: 07 jul. 2020

8 APÊNDICES

APÊNDICE A – TABELAS DE PROJEÇÕES DE CENÁRIOS

O memorial de cálculo das tabelas se encontra na metodologia.

Tabela 16 – Projeção da redução de emissão de CO e NO_x pela conversão de modal – Veículos não motorizados ou elétricos

Conversão (%)	Emissão de CO total (1000 ton/ano)	Emissão de NO _x total (1000 ton/ano)
2,00%	1,48780	0,16380
4,00%	2,97560	0,32760
6,00%	4,46340	0,49140
8,00%	5,95120	0,65520
10,00%	7,43900	0,81900
12,00%	8,92680	0,98280
14,00%	10,41460	1,14660
16,00%	11,90240	1,31040
18,00%	13,39020	1,47420
20,00%	14,87800	1,63800

Fonte: Cenário elaborado pelo autor com auxílio do software Excel.

Tabela 17 – Projeção da redução de emissão de CO e NO_x pela redução de automóveis – Compartilhamento de viagens

% dos usuários ativos	Emissão de CO total (1000 ton/ano)	Emissão de NO _x total (1000 ton/ano)
2,00%	1,11585	0,12285
4,00%	2,23170	0,24570
6,00%	3,34755	0,36855
8,00%	4,46340	0,49140

10,00%	5,57925	0,61425
12,00%	6,69510	0,73710
14,00%	7,81095	0,85995
16,00%	8,92680	0,98280
18,00%	10,04265	1,10565
20,00%	11,15850	1,22850

Fonte: Cenário elaborado pelo autor com auxílio do software Excel.

Tabela 18 – Projeção da redução de emissão de CO e NO_x pela redução do tempo de retardamento em congestionamentos – Otimização de rotas

% do tempo de retardamento reduzido	Emissão de CO total (1000 ton/ano)	Emissão de NO _x total (1000 ton/ano)
1,50%	0,23544	0,00593
3,00%	0,47088	0,01185
4,50%	0,70632	0,01778
6,00%	0,94177	0,02370
7,50%	1,17721	0,02963
9,00%	1,41265	0,03556
10,50%	1,64809	0,04148
12,00%	1,88353	0,04741
13,50%	2,11897	0,05333
15,00%	2,35442	0,05926

Fonte: Cenário elaborado pelo autor com auxílio do software Excel.

Tabela 19 – Projeção da emissão de CO e NO_x evitada na RMSP considerando 2 cenários: “Médio uso” e “Grande uso”

Cenário	CO (1000 ton/ano)	NO _x (1000 ton/ano)
---------	-------------------	--------------------------------

Médio uso	14,1954578	1,4628804
-----------	------------	-----------

Grande uso	28,39091561	2,925760801
------------	-------------	-------------

Fonte: Cenário elaborado pelo autor com auxílio do software Excel.

APÊNDICE B – MEMORIAL DE CÁLCULO DA PROJEÇÃO: VEÍCULOS NÃO MOTORIZADOS OU ELÉTRICOS

- *Emissão total de CO por automóveis = 74.390 ton/ano ; (obtido através da Tabela 2)*
- *Emissão total de NOx por automóveis = 8.190 ton/ano ; (obtido através da Tabela 2)*
- ***Conversão: taxa em %; (valores que serão utilizados na simulação, variando de 2% até 20%, com intervalo de 2% entre cada um)***
- *Emissão de CO total reduzida = Emissão total de CO por automóveis × Taxa de conversão = 74390 $\frac{\text{ton}}{\text{ano}}$ × Taxa de conversão;*
- *Emissão de NOx total reduzida = Emissão total de NOx por automóveis × Taxa de conversão = 74390 $\frac{\text{ton}}{\text{ano}}$ × Taxa de conversão;*

APÊNDICE C – MEMORIAL DE CÁLCULO DA PROJEÇÃO: COMPARTILHAMENTO DE VIAGENS

- *Emissão total de CO por automóveis = 74.390 ton/ano ; (obtido através da Tabela 2)*
- *Emissão total de NOx por automóveis = 8.190 ton/ano ; (obtido através da Tabela 2)*
- *Conversão: taxa em %; (valores que serão utilizados na simulação, variando de 2% até 20%, com intervalo de 2% entre cada um)*
- *Fator de compartilhamento = 0,75; (considera-se que os carros são preenchidos com 4 pessoas, portanto a cada 4 pessoas tem-se 1 carro à combustão)*
- *Emissão de CO total reduzida = Emissão total de CO por automóveis × Taxa de conversão × Fator de compartilhamento = 74390 $\frac{\text{ton}}{\text{ano}}$ × Taxa de conversão × 0,75;*
- *Emissão de NOx total reduzida = Emissão total de NOx por automóveis × Taxa de conversão × Fator de compartilhamento = 74390 $\frac{\text{ton}}{\text{ano}}$ × Taxa de conversão × 0,75;*

APÊNDICE D – MEMORIAL DE CÁLCULO DA PROJEÇÃO: OTIMIZAÇÃO DE ROTAS

- *Tempo médio de trânsito diário = 88,5 min/dia; (IBOPE, 2020, p. 13)*
- *Consumo de combustível com carro parado = 0,018 $\frac{l}{min}$;*
- *Emissão de CO = 0,68 $\frac{g}{km}$; (explicado no item 4.2.1)*
- *Emissão de NOx = 0,017 $\frac{g}{km}$; (explicado no item 4.2.1)*
- *Consumo médio gasolina = 12,8 $\frac{km}{l}$;*
- *Consumo médio etanol = 8,8 $\frac{km}{l}$;*
- *Consumo médio = $\frac{8,8 \frac{km}{l} + 12,8 \frac{km}{l}}{2}$;*
- *Dias úteis no ano = 250 dias; (Baseado no calendário oficial da prefeitura de São Paulo (PREFEITURA DE SP, 2020))*
- *Taxa de retardamento absoluta: taxa em %; (valores que serão utilizados na simulação, variando de 1,5% até 15%, com intervalo de 1,5% entre cada um);*
- *Tempo de retardamento total devido a congestionamentos =
Taxa de retardamento absoluta × Tempo médio de percurso =
Taxa de retardamento absoluta × 88,5 min/dia*
- *Emissão de CO total reduzida = Emissão de CO × Dias úteis no ano ×
Consumo médio ×
Tempo de retardamento total devido a congestionamentos ×
Consumo parado = 0,68 $\frac{g}{km}$ ×
250 dias × Tempo de retardamento total devido a congestionamentos ×
0,018;*
- *Emissão de NOx total reduzida = Emissão de NOx × Dias úteis no ano ×
Consumo médio ×
Tempo de retardamento total devido a congestionamentos ×
Consumo parado = 0,017 $\frac{g}{km}$ ×
250 dias × Tempo de retardamento total devido a congestionamentos ×
0,018;*

APÊNDICE E – PERGUNTAS REALIZADAS E OPÇÕES DE RESPOSTAS NO QUESTIONÁRIO

- **PERFIL**

- **Qual a sua idade?**
 - Menos de 18 anos
 - 18 a 25 anos
 - 26 a 35 anos
 - 35 a 50 anos
 - 50 a 60 anos
 - Mais de 60 anos
- **Qual a renda familiar mensal você está inserido?**
 - Menos de R\$ 1.000/mês
 - Entre R\$ 1.001/mês e R\$ 3.000/mês
 - Entre R\$ 3.001/mês e R\$ 5.000/mês
 - Entre R\$ 5.001/mês e R\$ 8.000/mês
 - Entre R\$ 8.001/mês e R\$ 11.000/mês
 - Acima de R\$ 11.001/mês
 - Prefiro não responder
- **Qual o seu município e UF que reside?** (resposta livre)

- **ESPECÍFICAS SOBRE MOBILIDADE**

- **Você possui carro/moto próprio?**
 - Sim
 - Não
- **Você faz um trajeto regularmente? Selecione todos os pertinentes.**
 - Para Escola/Faculdade
 - Para Trabalho
 - Para Família/Amigos
 - Não faço trajeto regularmente
 - Outros...
- **Qual(is) o(s) seu(s) principal(is) meio(s) de transporte? Selecione todos os pertinentes.**

- Automóvel particular
 - Transporte particular
 - Motocicleta
 - Ônibus
 - Metrô/Trem
 - Bicicleta
 - Patinete elétrico
 - A pé
 - Opção de acrescentar outro
- **Considerando 1 menos relevante e 5 mais relevante, pondere cada motivador para a escolha de um meio de transporte.**
 - Conforto
 - Custo
 - Tempo de trajeto
 - Segurança
 - Sustentabilidade
 - Opção de acrescentar outra
- PERGUNTA ADICIONAL
 - **"No geral, as pessoas devem usar o transporte público ou compartilhado (caronas), mesmo que seja menos conveniente". Você:**
 - Concorda
 - Discorda
 - Não sabe