



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MÁRCIA EDUARDA SANTOS RODRIGUES

**ANÁLISE DOS IMPACTOS DECORRENTES DA REDUÇÃO DE VELOCIDADE
REGULAMENTAR SOBRE A EMISSÃO DE POLUENTES VEICULARES**

FORTALEZA

2022

MÁRCIA EDUARDA SANTOS RODRIGUES

ANÁLISE DOS IMPACTOS DECORRENTES DA REDUÇÃO DE VELOCIDADE
REGULAMENTAR SOBRE A EMISSÃO DE POLUENTES VEICULARES

Monografia submetida ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Vieira Bertoncini
Co-Orientadora: Dra. Julie Anne Holanda Azevedo

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R614a Rodrigues, Márcia Eduarda Santos.

Análise dos impactos decorrentes da redução de velocidade regulamentar sobre a emissão de poluentes veiculares / Márcia Eduarda Santos Rodrigues. – 2022.
83 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Bruno Vieira Bertoncini.

1. Emissões de poluentes veiculares. 2. Equipamentos embarcados. 3. Ciclos de condução. 4. Redução da velocidade regulamentar. I. Título.

CDD 620

MÁRCIA EDUARDA SANTOS RODRIGUES

ANÁLISE DOS IMPACTOS DECORRENTES DA REDUÇÃO DE VELOCIDADE
REGULAMENTAR SOBRE A EMISSÃO DE POLUENTES VEICULARES

Monografia submetida ao Curso de Engenharia
Civil da Universidade Federal do Ceará, como
requisito para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Aprovada em: 12/12/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Bruno Vieira Bertoncini (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Julie Anne Holanda Azevedo (Co-Orientadora)
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (Unilab)

Prof. Dr. Francisco Moraes de Oliveira Neto
Universidade Estadual do Ceará (UFC)

Me. Demostenis Ramos Cassiano
Prefeitura Municipal de Fortaleza

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus que nunca me abandonou e, todos os dias, renovou minhas forças para que eu conseguisse chegar até aqui, me motivou e me incentivou. Eu não conseguiria sem isso. Toda glória e honra seja dada a Ele.

Aos meus pais Márcia e Danúsio que investiram muito em mim e nunca deixaram faltar nada. Sou eternamente grata por todos os sacrifícios que foram feitos ao longo da minha trajetória e por nunca saírem do meu lado. Vocês acreditaram em mim mesmo quando eu não fiz isso. E mãe, um agradecimento triplicado a você. Essa conquista é nossa!

Aos meus familiares que sempre estiveram ao meu lado, que se alegram e se orgulham das minhas conquistas, em especial, à Mazé, minha avó Socorro e meu tio Diego.

À Mec, pela parceria única, pelo carinho que me deu forças e pelos momentos de descontração. Você é uma parte muito especial de mim.

Ao Professor Dr. Bruno Vieira Bertoncini, que, apesar de não existem palavras suficientes para agradecer, preciso dizer que me sinto honrada de ter sido orientada por um profissional tão competente, acolhedor, presente e exemplar. Obrigada por essa oportunidade que eu tive de aprender e por transmitir seu conhecimento durante esse ano.

À co-orientadora Dra. Julie Anne Holanda Azevedo pelo tempo, atenção, contribuições, considerações e por ser uma referência de pesquisadora.

À professora Dra. Veronica Teixeira Franco Castelo Branco pelos dois semestres que me prepararam para concluir este trabalho, pelos conselhos e lições, tanto acadêmicas quanto de vida. Foram momentos marcantes nas tardes das quartas-feiras que levarei sempre comigo. Obrigada por ser tão dedicada à sua profissão!

À Universidade Federal do Ceará, por tornar possível o sonho de me formar em Engenharia Civil em uma das universidades mais renomadas do país e ao CNPQ pelos financiamentos de bolsas de pesquisas.

Ao meu colega que adquiri no Laboratório GTTEMA: Jairo Ivo que me ajudou de uma forma extraordinária nas coletas e análises.

Aos meus amigos de turma que adquiri ao longo da graduação. Vocês estiveram comigo nos melhores e piores momentos da graduação. Foi uma experiência incrível ter tido vocês nessa trajetória: César, Jeff, Bia, Ilana, Joyce, Marina e tantos outros. Vocês sabem que são especiais porque faço questão de sempre dizer isso!

Aos meus colegas de trabalho que conheci na GEOPAC: Sther, Hamed, Júnior, Alana, Camila, Robson, Alan e Ximenes pelo dia a dia maravilhoso que me proporcionaram ao

longo desse ano de desafios, por me ensinarem, me acolherem e contribuírem para minha formação profissional.

À minha psicóloga Layza, por me ensinar ferramentas para conciliar a vida pessoal, profissional e acadêmica. Sem isso, eu não teria conseguido concluir esse trabalho. Minha sincera gratidão!

Aos integrantes que participaram da banca examinadora Dr. Francisco Moraes de Oliveira Neto e Me. Demostenis Ramos Cassiano pela atenção, tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

“E, com toda a certeza eu vos asseguro, que se qualquer pessoa ordenar a este monte: ‘Levanta-te e lança-te no mar, e não houver dúvida em seu coração, mas crer que se realizará o que pede, assim lhe será feito.’”
(Marcos, 11:23)

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar os efeitos decorrentes da mudança da velocidade regulamentar sobre as emissões de poluentes veiculares em vias urbanas. Isso pelo fato de o sistema de transporte ser o maior responsável, dentre o setor de energia, pela poluição atmosférica. À vista disso, mensurar os efeitos que essas intervenções no tráfego causa nas emissões de CO₂, com dados baseados em condições reais de tráfego, possibilita melhora da qualidade do ar local e da saúde humana. Para isso, foram feitas comparações dos níveis de CO₂ para o contexto de velocidade regulamentar igual a 60 km/h (grupo de dados 1) e 50 km/h (grupo de dados 2), de forma geral e em períodos distintos de intensidade do tráfego, na Avenida Jovita Feitosa localizada na cidade Fortaleza – CE. Sendo, o grupo de dados 1, caracterizado pelo cenário anterior à mudança de velocidade regulamentar, que procedeu de uma base de dados e o grupo de dados 2, coletados com equipamentos embarcados em um veículo *flex-fuel* com as variáveis observadas em uma frequência de 1 Hz. Os resultados foram obtidos por meio de análises descritivas, construção de ciclos de condução e elaborações de gráficos. Desta forma, para a redução de 16,67% da velocidade regulamentar, as acelerações médias foram reduzidas em 9,1%, podendo ser atribuído ao comportamento da condução menos agressivo. As emissões médias de CO₂ foram diminuídas em 3,5% com os impactos sendo mais destacados no período de menor intensidade do tráfego com a redução da média de emissões de CO₂ em 7,2%. Por fim, foram estabelecidas ferramentas de análises úteis para tomada de decisões e definições estratégicas de operação e planejamento de tráfego local baseadas na avaliação da qualidade do ar local.

Palavras-chave: emissões de poluentes veiculares; equipamentos embarcados; ciclos de condução; redução da velocidade regulamentar.

ABSTRACT

The objective of this work is to analyze the effects resulting from the change in the regulatory speed on the emissions of vehicular pollutants on urban roads. This is due to the fact that the transport system is the most responsible, among the energy sector, for atmospheric pollution. In view of this, measuring the effects that these interventions in traffic cause on CO₂ emissions, with data based on real traffic conditions, makes it possible to improve local air quality and human health. For this, comparisons of CO₂ levels were made for the context of regulatory speed equal to 60 km/h (data group 1) and 50 km/h (data group 2), in general and in different periods of intensity of the traffic, on Avenida Jovita Feitosa located in the city of Fortaleza – CE. Being, data group 1, characterized by the scenario prior to the regulatory speed change, which proceeded from a database and data group 2, collected with equipment on board a flex-fuel vehicle with the variables observed at a frequency of 1 Hz. The results were obtained through descriptive analyses, construction of conduction cycles and graphic elaborations. In this way, for the reduction of 16.67% of the regulatory speed, the average accelerations were reduced by 9.1%, which can be attributed to the less aggressive driving behavior. Average CO₂ emissions were reduced by 3.5% with the impacts being more prominent in the period of lower traffic intensity with the reduction in average CO₂ emissions by 7.2%. Finally, useful analysis tools were established for decision making and strategic definitions of operation and local traffic planning based on the assessment of local air quality.

Keywords: vehicle pollutant emissions; on-board equipment; driving cycles; regulatory speed reduction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Árvore de Problemas considerada	18
Figura 2 - Ciclo de Condução FTP – 75 americano adotado no Brasil para veículos leves e comerciais leves.....	27
Figura 3 - Ciclo de Condução NEDC	28
Figura 4 - Ciclo de condução WLTC (classe 3b).....	29
Figura 5 - Fases do método aplicado	34
Figura 6 - Trecho do estudo de caso – Avenida Jovita Feitosa.....	36
Figura 7 - Descrição dos materiais e equipamentos embarcados no veículo teste	38
Figura 8 - Sistematização geral de coleta	40
Figura 9 - Trecho do Laboratório GTTEMA até a Avenida Jovita Feitosa	41
Figura 10 - Trecho percorrido para realização de retorno do sentido OL – LO	44
Figura 11 - Trecho percorrido para realização de retorno do sentido LO - OL.....	44
Figura 12 - Escala do trânsito típico verificada no software Google Trânsito	47
Figura 13 - Classificação das viagens percorridas na condição atual da via estudada.....	47
Figura 14 - Síntese das etapas das análises estatísticas	48
Figura 15 - Esquematização da comparação das classes de viagens para os grupos de dados 1 e 2	50
Figura 16 - Síntese dos resultados apresentados por objetivos específicos.....	54
Figura 17 – (a, b) Distribuição dos valores médios de emissões de CO_2 (%) e velocidade (km/h) para as viagens HP e Manhã – sentido OL	62
Figura 18 - Distribuição dos valores médios de emissões de CO_2 (%) e velocidade (km/h) para a classe de viagens FP - grupo de dados 1 (a) e viagens unificadas – grupo de dados 2 (b)....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do ciclo WLTC para veículos leves.....	29
Tabela 2 - Especificação do veículo utilizado no estudo.....	37
Tabela 3 - Categorização dos parâmetros utilizados	39
Tabela 4 - Resumo das coletas de dados.....	41
Tabela 5 - Hipóteses utilizadas no teste paramétrico com distribuição t-student.....	46
Tabela 6 - Hipóteses utilizadas no teste paramétrico com distribuição t-student para verificação dos resultados das emissões de CO ₂ e frequência de acelerações.....	53
Tabela 7 - Resultados do Teste de Hipótese entre as classes Manhã e Tarde - sentido OL e Manhã e Tarde - sentido LO	54
Tabela 8 - Trânsito típico para os dias, turnos e sentidos da coleta de dados.....	55
Tabela 9 - Tempos médios (s) para as classes de viagens do grupo de dados 2 (coletados)	56
Tabela 10 - Valores médios agregados das acelerações em módulo dos grupos de dados 1 e grupo de dados 2.....	58
Tabela 11 - Valores das acelerações em módulo das classes de viagens HP (grupo de dados 1) e Manhã - Sentido OL (grupo de dados 2)	60
Tabela 12 - Valores das acelerações em módulo das classes de viagens FP (grupo de dados 1) e viagens unificadas (manhã - LO, tarde - OL e tarde – LO; grupo de dados 2)	60
Tabela 13 - Parâmetros médios das classes de viagens Manhã - Sentido OL (grupo de dados 2) e HP (grupo de dados 1)	64
Tabela 14 - Emissões médias de CO ₂ das classes de viagens Manhã - Sentido OL (grupo de dados 2) e HP (grupo de dados 1).....	65
Tabela 15 - Parâmetros médios das classes de viagem Manhã e Tarde (sentidos OL e LO) e viagens unificadas do grupo de dados 2 e viagens FP do grupo de dados 1	70
Tabela 16 - Emissões médias de CO ₂ das classes de viagens unificadas (grupo de dados 2) e FP (grupo de dados 1).....	71
Tabela 17 - Quadro comparativo geral do grupo de dados 1 e 2 para as emissões de CO ₂	72
Tabela 18 - Verificação da diferença de emissões de CO₂ entre os grupos 1 e 2	73
Tabela 19 - Quadro comparativo geral do grupo de dados 1 e 2 para as frequências de acelerações.....	73
Tabela 20 - Verificação da diferença dos módulos das acelerações entre aos grupos 1 e 2	74

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Frequências dos módulos de acelerações para o grupo de dados 1 sem distinção de classes de viagens	57
Gráfico 2 - Frequências dos módulos de acelerações para o grupo de dados 2 sem distinção de classes de viagens	57
Gráfico 3 - Frequência dos módulos de aceleração das classes Fora Pico e Hora Pico do grupo de dados 1	58
Gráfico 4 - Frequência dos módulos de aceleração das duas classes de comparação do grupo de dados 2.....	59
Gráfico 5 (a, b) - Perfil de condução para uma amostra de viagem da classe HP.....	63
Gráfico 6 (a, b) - Perfil de condução para uma amostra de viagem da classe Manhã - Sentido OL.....	63
Gráfico 7 - Dispersão do poluente CO_2 para as classes de viagens Manhã - Sentido OL (grupo de dados 2) e HP (grupo de dados 1).....	66
Gráfico 8 - (a, b) - Ciclo de condução para uma amostra de viagem FP.....	68
Gráfico 9 - (a, b) - Ciclo de condução para uma amostra de viagens unificadas	69
Gráfico 10 - Dispersão do poluente CO_2 para as classes de viagens unificadas (grupo de dados 2) e FP (grupo de dados 1).....	71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Problema de Pesquisa	17
1.2	Questões Motivadoras	18
1.3	Justificativa	18
2	OBJETIVOS	20
2.1	Objetivo Geral	20
2.2	Objetivos Específicos	20
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3.1	Emissão de Poluentes Veiculares	21
3.1.1	<i>Impactos das emissões veiculares à sociedade e meio ambiente</i>	21
3.1.2	<i>Técnicas de Coletas de Poluentes Veiculares</i>	23
3.1.3	<i>Fatores Influenciadores da Emissão Veicular</i>	24
3.1.4	<i>Ciclos de condução</i>	26
3.1.5	<i>Modelos de ciclos de condução transientes usuais</i>	27
3.1.6	<i>Métodos de construção de ciclos de condução</i>	29
3.1.7	<i>Ciclos de condução sob condições reais de tráfego</i>	30
4	MATERIAIS E MÉTODO	34
4.1	Fase 1 – Identificação	34
4.1.1	<i>Coletas de dados em percurso urbano</i>	35
4.1.2	<i>Local das coletas</i>	35
4.1.3	<i>Veículo utilizado</i>	36
4.1.4	<i>Parâmetros do sistema de coleta</i>	37
4.1.5	<i>Prospecção e seleção da base de dados</i>	39
4.2	Fase 2 – Caracterização	39
4.2.1	<i>Descrição da coleta de dados</i>	39
4.2.2	<i>Seleção das variáveis</i>	42
4.2.3	<i>Processamento dos dados</i>	42
4.2.4	<i>Grupo de dados 1</i>	42

4.2.5	<i>Grupo de dados 2</i>	43
4.3	Fase 3 – Diagnóstico	45
4.3.1	<i>Testes de hipóteses</i>	45
4.3.2	<i>Análises dos dados</i>	47
4.3.3	<i>Comparação entre o grupo de dados 1 e o 2</i>	49
4.3.4	<i>Elaboração de gráficos amostrais</i>	51
4.3.5	<i>Verificação das hipóteses</i>	52
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
5.1	Caracterização da coleta de dados	54
5.2	Frequência das acelerações	56
5.3	Comparação das emissões de poluentes veiculares	61
5.3.1	<i>Período do mais intenso do tráfego na via</i>	61
5.3.2	<i>Período menos intenso do tráfego na via</i>	66
5.4	Verificação da significância dos resultados	72
6	CONCLUSÕES	75
6.1	Questões de pesquisa e conclusões	75
6.2	Limitações de pesquisa	77
6.3	Sugestões de trabalhos futuros	77
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
	APÊNDICES	83

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o *Global Plan: Decade of Action for Road Safety*, lançado em 2021 pela Organização das Nações Unidas (ONU), em parceria com a Organização Mundial da Saúde (OMS), estatisticamente, mesmo as vias mais bem projetadas e executadas tecnicamente, é improvável que todos os usuários do sistema de transportes (pedestres, condutores de veículos motorizados e não motorizados) possuam o mesmo grau de segurança ao utilizarem os recursos disponíveis com a velocidade regulamentar vigente maior que 30 km/h (OMS, 2021). À vista disso, conforme a Declaração de Estocolmo, cujo objetivo é reduzir pela metade as lesões fatais ocorridas no trânsito até 2030, cerca de 140 países, incluindo o Brasil, estão no processo de aderir à atual prática recorrente de redução da velocidade regulamentar em estradas urbanas de, no mínimo, 60 km/h, para 50 km/h (OMS, 2020).

Por conseguinte, a mudança da velocidade regulamentar se tornou instrumento para o gerenciamento do tráfego em vias urbanas. Inclusive, existem cenários nos quais constatam que a redução da velocidade média, em fluxo livre, para os locais onde há fiscalização efetiva, é acompanhada da redução de emissões de poluentes veiculares. Em contrapartida, os impactos dessa ferramenta de controle de tráfego ainda não estão totalmente consolidados (LU E SHLADOVER, 2014; SORIGUERA, 2017).

De acordo com Soriguera (2017), o conceito de homogeneização do tráfego se deu com pesquisas iniciais de Smulders (1990), Zackor (1991), van den Hoogen e Smulders (1994), nos quais incitaram o surgimento de teorias empíricas de que: limites mais baixos de velocidade regulamentar implicam em reduções das variáveis de tráfego, como por exemplo a menor frequência de diferenças de velocidades na condução. Ainda segundo Soriguera (2017), existem controvérsias sobre todos os efeitos dessa intervenção no tráfego com resultados de pesquisas realizadas em condições reais de tráfego. Contudo, mesmo com limitações de evidências na comunidade científica, tem-se o consenso de que há a redução da velocidade média de fluxo livre com impacto no aumento da densidade crítica de tráfego da via. Isso está conectado com a ideia dos pesquisadores considerarem que essa medida tenha potencial de reduzir congestionamentos de vias e, assim, minimizar os picos de emissões de poluentes veiculares, cujos níveis máximos ocorrem, principalmente, nesses momentos de congestionamento (SORIGUERA, 2017).

De forma paralela a essa discussão, o Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), em 2020, apresentou dados nos quais o setor de transportes, no Brasil,

corresponde a 38% das emissões de poluentes embutidos no setor de energia e este segundo o Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG) é encarregado de 19% do total de poluentes no ar em pesquisa no ano de 2019 (IEMA, 2020). Diante da responsabilidade que o Sistema de Transportes possui sobre as emissões de poluentes é importante destacar que em concordância com a Resolução CONAMA N° 491 de 2018, poluentes atmosféricos são definidos como composições particuladas ou gasosas, nas quais, quando emitidas em excesso, provocam alteração na qualidade do ar, gerando malefícios à saúde, aos patrimônios materiais e/ou naturais (CONAMA, 2018).

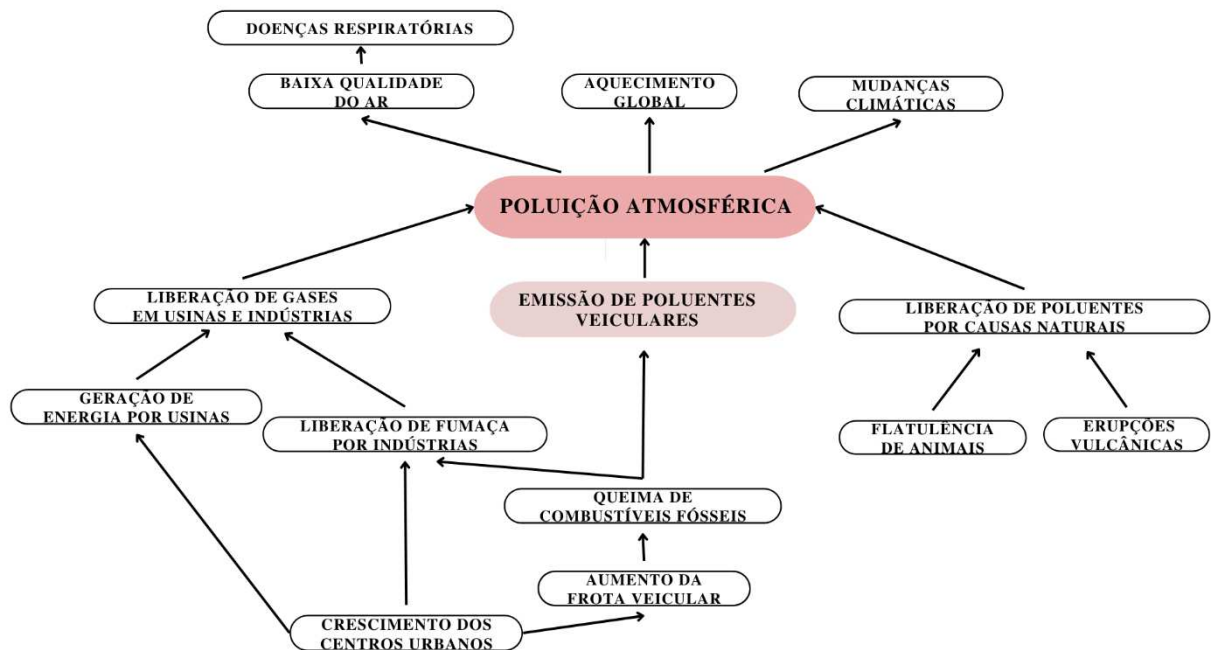
Desse modo, a mensuração das emissões veiculares de forma quantitativa e qualitativa se tornam ferramentas úteis para o embasamento das políticas públicas, assim como as ações voltadas para melhorar a qualidade do ar local. Para isso, relacionar os dados baseados em condições reais de tráfego aos inventários de emissões de poluentes, possibilitam rigor e precisão na avaliação qualitativa do ar (FRANCO *et al.*, 2013; BERTONCINI *et al.*, 2021).

Portanto, estudar e desenvolver experiências em campo acerca da relação da redução de velocidade regulamentar em vias urbanas, com os índices de poluentes veiculares liberados na atmosfera por veículos, torna-se objeto de suma importância para embasamento e formulações de estratégia de operação de tráfego, com consideração não somente de parâmetros de segurança viária, como também ambientais de saúde humana.

1.1 Problema de Pesquisa

Nessa perspectiva apresentada, é possível compreender o problema em questão de acordo com a figura 1. A emissão de poluentes veiculares produzida, principalmente, pelo sistema de transportes, especialmente rodoviário, gera o conseqüente, e inevitável, agravamento da poluição atmosférica local e no planeta, com ênfase para as conseqüências do desequilíbrio do aquecimento global, assim como outros tipos de impactos a níveis local, regional e global, tais como: danos à saúde humana. Visto isso, a análise dos efeitos das mudanças de velocidade regulamentares nas vias sobre as emissões de poluentes influencia esse contexto.

Figura 1 - Árvore de Problemas considerada



Fonte: autor (2022)

Com a Figura 1, é possível observar, acima do problema central Poluição Atmosférica, as consequências e efeitos na sociedade e meio ambiente. Apesar dele não ser solucionado por este trabalho, possui uma de suas principais causas o objeto de pesquisa explorado: emissões de poluentes veiculares.

1.2 Questões Motivadoras

- Qual o impacto, baseado em dados reais de tráfego, da redução da velocidade regulamentar sobre o gradiente de aceleração em uma via urbana?
- Qual a relação entre os níveis de emissões de CO₂ antes e após a redução da velocidade regulamentar no período de maior e menor intensidade do tráfego na via urbana?
- Qual relevância estatística dos resultados gerados pela redução da velocidade regulamentar sobre as emissões de CO₂ e tráfego em via urbana?

1.3 Justificativa

Desta forma, o trabalho atua na investigação dos efeitos gerados pela redução da velocidade em uma via urbana, em busca dos seus impactos sob condições reais de tráfego. Por mais que essa mudança ocorra por questões de segurança viária, com o intuito de melhorá-la, é necessário levar em consideração, ao modificar esse parâmetro, às mudanças nas quais o tráfego está sujeito, e demais aspectos, assim como o comportamento dos níveis de poluentes veiculares emitidos.

Ressalta-se que há uma baixa qualidade de modelos computacionais para estudos e análises representados com velocidades regulamentares menores que 60 km/h. Logo, a base de dados, principalmente, na abordagem de aspectos locais, é insuficiente (SORIGUERA, 2017). Inclusive, de acordo com Bigazzi e Rouleau (2017), que pesquisaram sobre os efeitos dessa medida de intervenção do tráfego, existem lacunas na literatura no quesito de avaliações dos cenários *ex-ante* e *ex-post*, isto é, antes e após o evento ocorrer.

Por fim, ao analisar o antes e o depois da redução da velocidade regulamentar em vias urbanas, espera-se que se obtenha contribuição no viés dessas questões levantadas, com efeitos sobre a qualidade do ar e minimização dos impactos ambientais que o sistema de transportes gera.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Face aos problemas apresentados, o objetivo geral deste estudo é analisar os efeitos da redução da velocidade regulamentar sobre os níveis de emissões de poluentes veiculares em vias urbanas. Para isso, tem-se estes objetivos específicos:

2.2 Objetivos Específicos

- a. Avaliar os efeitos da redução da velocidade regulamentar, baseado em dados reais de tráfego, sobre o gradiente de aceleração em uma via urbana;
- b. Comparar o comportamento das emissões do poluente CO₂ antes e após a redução da velocidade regulamentar em via urbana;
- c. Verificar a relevância estatísticas dos resultados acerca dos impactos da redução da velocidade regulamentar sobre os níveis de emissões CO₂ em via urbana.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Emissão de Poluentes Veiculares

De acordo com a OMS (2018), o setor de transporte rodoviário é o maior responsável pelas emissões de poluentes atmosféricos. Além disso, os poluentes veiculares cooperam com a exposição das pessoas à má qualidade do ar nos centros urbanos, no qual o número de mortes é cerca de 4,2 milhões de pessoas por ano (OMS, 2021). Essa atribuição ao tráfego rodoviário iniciou-se com a associação dos poluentes veiculares e a poluição atmosférica em Londres, cidade considerada precursora do levantamento desse problema na década de 60, no qual, a elevada densidade de veículos nas vias lá foi considerada a causa da rápida ascensão da poluição denominada de *smog* fotoquímico (MARTINS, 2005).

As emissões veiculares são decorrentes da combustão dos gases de escape produzidos pela combustão no motor interno dos veículos. Esse processo químico pode ser completo ou incompleto, resultando em produtos diferentes. No caso daquele, o cenário é ideal, sem reações secundárias e presença de outras substâncias, trata-se de: água (H_2O) e dióxido de carbono (CO_2) como produtos. Em contrapartida, a combustão incompleta dos motores à gasolina, possui componentes chamados: Oxigênio (O_2), os óxidos de nitrogênio (NO_x), Monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e Hidrogênio (H_2); as partículas sólidas denominadas de material particulados (MP); e os inertes: CO_2 , H_2O e nitrogênio (N_2) (BOSCH, 2005; MARTINS, 2005).

3.1.1 Impactos das emissões veiculares à sociedade e meio ambiente

Nesse contexto, a poluição atmosférica é impactada, direta e significativamente, pelas emissões da combustão incompleta dos veículos, visto que o motor interno é o precursor de, aproximadamente, metade dos lançamentos de NO_x , HC e CO no ar (FERGUSON, 2001; BOSCH, 2005; MARTINS, 2005).

Os materiais particulados (MP) são produzidos por motores a diesel em maior quantidade, comparado com motores ciclo Otto. Em geral, as partículas tem diferentes variações diamétricas, que causam impactos significativos na saúde humana, como, por exemplo: mortes prematuras, agravantes na condição da asma e outras doenças

respiratórias, além de serem potenciais cancerígenos. A classificação dessa substância pode ser dividida em relação ao diâmetro das suas partículas: grossas e finas, também designada respiráveis. Estas, são as $MP_{2,5}$, cujas partículas são inferiores à 2,5 μm , enquanto aquelas possuem diâmetros na faixa de 2,5 a 10 μm , denominadas $MP_{2,5-10}$. Outro aspecto a ser considerado, ainda, é o fato deles influenciarem na variação da radiação solar, no quesito de dispersão e absorção dela, portanto, contribuintes para a poluição global e problemas na saúde humana (BOSCH, 2005; FREITAS E SOLCI, 2009).

O monóxido de carbono (CO) possui as propriedades químicas de gás incolor, inodoro e insípido. Ele é resultado dos hidrocarbonetos parcialmente queimados presentes no combustível e é capaz de provocar interrupção do fluxo de oxigênio no sangue e morte por envenenamento, quando inalado em proporções superiores a 0,3%. Além disso, seus efeitos para o meio ambiente estão conectados à sua participação na formação do *smog*, ou seja, concentração de poluição em forma de fumaça e neblina sobre os centros urbanos (FERGUSON, 2001; BOSCH, 2005).

Os óxidos de nitrogênio (NO_x), a destacar os monóxidos de nitrogênio (NO) e o dióxidos de nitrogênio (NO_2), sendo, estes, venenosos e com capacidade de irritar as membranas mucosas dos seres humanos. Possuem, além disso, tonalidade marrom avermelhada e odor característico. Enquanto o NO possui propriedades químicas semelhantes ao CO, pois são incolores, inodoros e insípidos. Em geral, os NO_x são maléficos para o meio ambiente, pois participam da produção da chuva-ácida, assim como o *smog*, quando reagem com hidrocarbonetos (HC), além da associação com raios ultravioletas (UV) que leva à formação do ozônio (O_3) (CARVALHO, 2003; BOSCH, 2005; MARTINS, 2005).

Os hidrocarbonetos (HC) emitidos do veículo correspondem cerca de 1/5 do combustível não queimado e, em parte, sofrem oxidação lenta ao sair do escape pois a temperatura é inferior à de combustão. Eles possuem inúmeras formas, tais como: alifáticos e os aromáticos cíclicos. Alguns deles são considerados, em certas concentrações e constância, cancerígenos, além de possuírem odor repulsivo (BOSCH, 2005; MARTINS, 2005).

Em relação ao CO_2 , apesar de ser considerado um componente natural da atmosfera e produto primário do processo de queima do combustível, é considerado poluente se os níveis estiverem acima dos limites permitidos. A emissão dele é proporcionalmente ligada ao consumo de combustível e está cada vez mais constante o

surgimento de medidas para reduzi-lo. A contribuição desse gás ao meio ambiente é negativa, visto que ele absorve a radiação infravermelha e a deixa retida na atmosfera, o que causa o efeito estufa (CARVALHO, 2003; BOSCH, 2005).

3.1.2 Técnicas de Coletas de Poluentes Veiculares

É de suma importância contrastar as técnicas utilizadas para coletar dados referentes às emissões de poluentes em veículos rodoviários, sejam elas sob condições controladas: medições de Chassi, dinamômetro do motor, sensoriamento remoto, estudo de túneis rodoviários ou condições de operações na realidade do tráfego, como Sistemas Portáteis de Medição de Emissões (PEMS). A utilização desta técnica está, intimamente, ligada à coleta de emissões de poluentes de escape com enfoque em representar as condições de operações de tráfego do mundo real visto que isso é fundamental para a melhoria dos modelos, perfis, validação e derivação dos fatores de emissões (FEs) (VOJTISEK-LOM E COBB, 1997; FRANCO *et al.*, 2013).

Sabe-se que, dentre uma das primeiras utilizações dessa técnica, cita-se o estudo de caso na região de Edmonton, Canadá, no qual foi embarcado o equipamento a bordo de um veículo movido a gasolina ou gás natural. Esse experimento resultou na observação de alguns parâmetros com posterior comparações de desempenho com as técnicas desenvolvidas por meio de equipamento estáticos em laboratórios, tais como: comportamento de condução, operação do veículo, condições ambientais, consumo de combustível etc. (DAHAM *et al.*, 2005; DEARTH *et al.*, 2005; GIERCZAK *et al.*, 2006; PELKMANS E DEBAL, 2006; DURBIN *et al.*, 2007; LIU *et al.*, 2010; RUBINO *et al.*, 2010).

Nesse contexto, cabe citar que os testes em chassi dinamométrico são simulações de condições reais dentro do laboratório sob condições controladas e estacionárias de condução. Esta técnica possui capacidade de ser repetida e reproduzida o quanto for necessário, já que as condições de condução são previamente selecionadas e, portanto, podem ser constantes. Por outro lado, não conseguem reproduzir as situações reais do tráfego (MARTINS, 2005).

Os Sistemas Portáteis de Medição de Emissões (PEMS), com os equipamentos embarcados, está em ascensão ao redor do mundo como forma de tornar mais real as representações dos níveis de emissões nas vias durante as conduções, sendo possível caracterizá-los com variáveis com influências locais e dos perfis de condução, forma de

conduzir, tipo de via, dentre outros. Desta forma, é possível citar Lau, Hung e Cheung (2011) que contribuíram para a comunidade científica com a obtenção de níveis de emissões instantâneas dos poluentes: CO, HC e NO_x, fatores de emissões, relação do ar e combustível. A coleta de dados ocorreu por meio da técnica PEMS e foi constatado que os níveis de emissões reais dos quatro veículos do experimento ultrapassaram os limites da legislação ambiental, cuja base está ligada a outras técnicas de coleta de dados.

Sabe-se, ainda, que os equipamentos embarcados, em geral, são compostos por: analisadores de gases portáteis, GPS, medidores e controladores de fluxo e o *On-Board Diagnostic* (OBD), tudo isso garante a coleta dos dados necessários para a determinação dos níveis de emissão dos veículos testados (RUBINO *et al.*, 2007).

No caso do sensoriamento remoto, a medição das taxas de poluentes veiculares ocorre paralela à condução do veículo na via, com a ressalva de que não necessita estar conectado diretamente nele. A vantagem dessa técnica está no fato de que é possível monitorar a frota veicular e, com isso, complementar de forma eficiente a ação dos programas de controle de emissões de fontes móveis. A desvantagem de se utilizá-la está no fato dos resultados obtidos se tratar de uma estimativa instantânea das emissões de um determinado local (ZHOU *et al.*, 2014).

Outra técnica a ser citada é a utilizada para os testes dinamométricos, nos quais as rodas do veículo ficam sobre uma estrutura que é capaz de simular variações de velocidade em alusão ao que acontece na condução real. Desta forma, o gás de escape é extraído à medida que o veículo simula a condução (BOSCH, 2005). Além disso, esse teste possui uma elevada taxa de capacidade de reprodução, devido à sua característica de adequação e escolha dos perfis de condução ao longo dos procedimentos. A desvantagem está presente no elevado custo (MARTINS, 2005).

3.1.3 Fatores Influenciadores na Emissão Veicular

Os fatores que influenciam os níveis de emissões veiculares podem ser agrupados em diversas categorias, como, por exemplo os relacionados ao veículo. Sabe-se que o tipo, modelo, combustível utilizado e tamanho dele, assim como fatores relacionados à dinâmica veicular, tais como: velocidade, troca de marchas e aceleração são fundamentais para mensurar as emissões de poluentes (BARLOW *et al.*, 2009).

Vale salientar que, alguns dos múltiplos aspectos atuantes nas variações dos índices de emissões veiculares, são: gerações de viagens e padrão do uso e ocupação do

solo. Com destaque para aquele, cuja influência se expande ao fluxo, velocidade e densidade do tráfego. Assim, se estabelece uma relação proporcional entre os dois parâmetros, principalmente, para as áreas em que se prevalece o uso e ocupação do solo misto (uso comercial e residencial), com o perfil de emissão veicular emitido na atmosfera (LINDHOLM, 2010; HONG Goodchild, 2014; ZHANG *et al.*, 2018).

Outro aspecto importante a ser mencionado, ainda, é que os fatores locais também são preponderantes para traçar, de forma mais precisa, os perfis de emissões veiculares e destacar outro panorama de influência muitas vezes não levado em consideração nas análises, como a forma de condução, tipo do veículo, consumo de combustível, tipo de via, perfis dos condutores e os parâmetros representativos e necessários para representá-los (AZEVEDO, 2019).

Na literatura, as variáveis supracitadas, com acréscimo de: dia da semana, hora do dia, dentre outras, possuem forte correlação com a emissão de poluentes veiculares, nas quais tem o nível de significância sensível às características das localidades de análise. Vale destacar que, diante de inúmeros estudos, em áreas onde o uso do solo é, predominantemente, residencial e possui alta densidade populacional, com viagens mais oscilantes em comparação com as áreas comerciais que atraem maior concentração de viagens ao longo do dia, os níveis de emissão de poluentes são significativamente mais baixos (FRANCO *et al.*, 2013; HONG Shen, 2013; HONG Goodchild, 2014).

Os picos de emissão do CO e CO₂, por exemplo, ocorrem na operação de aceleração durante a condução, ocorridas constantemente em interseções urbanas assim como em eventos posteriores ou antecessores às paradas. Além disso, para o CO₂, os maiores níveis de emissões estão relacionados com o consumo de combustível do veículo (EEA, 2016; ROSO, 2016; AZEVEDO *et al.*, 2017). Capiello (2002) associa, inclusive, a presença constante de *stop and go*, isto é, eventos de sucessivas paradas e partidas do veículo durante a condução, com a majoração das emissões veiculares.

Zhang, Matsushima e Kobayashi (2018) analisaram o padrão espacial das emissões de CO₂ em relação ao tipo de uso do solo através de dados de viagens obtidas em uma pesquisa aplicada na cidade de Changzhou, na China, com obtenção de uma matriz Origem-Destino (O/D) para 65 zonas de análise de tráfego. Com esses dados, e por meio de simulação em modelagem computacional, foi identificado o volume do tráfego em períodos de pico para cada link na via e incorporado um modelo de emissão de poluentes veiculares a estes links. Por fim, os dados de emissão de CO₂ foram obtidos para cada zona, com diversos indicadores relacionados ao uso do solo (taxa de área residencial, comercial,

industrial e área verde), bem como métricas representativas do entorno, como fragmentação, forma, agregação, diversidade etc. Desta forma, os resultados mostraram que as emissões ocorreram, em maior escala, em links nas proximidades do centro da cidade, zona com maiores taxas de uso comercial e residencial, e, em menor escala, em zonas suburbanas e rurais, o que indica, também, correlação entre a área construída e aumentos nos níveis de CO₂ oriundos dos veículos.

A discussão acerca da influência das variações de velocidades foi implementada, de forma pioneira, por Smulders (1990), Zackor (1991), van den Hoogen e Smulders (1994) com o conceito de homogeneização do tráfego em que sugerem, de forma empírica, que limites de velocidade mais baixos promovem a redução das flutuações nas variáveis de tráfego. De acordo com Soriguera (2017) cenários com a presença de congestionamento são os principais responsáveis pelos picos de emissões veiculares e, é possível, apesar de não ter sido estabelecido consenso científico, que, na prática, a homogeneização do tráfego reduza os congestionamentos e, com isso, impacte de forma positiva nas reduções de emissões de poluentes veiculares.

Para Barlow *et al.* (2009), por mais que sejam inúmeros, os modelos de emissões têm de levar em consideração todos os fatores que os influenciam. Para eles, ainda, uma das abordagens mais convenientes é a que relaciona o fator médio das emissões veiculares com a velocidade média de condução de determinado veículo.

3.1.4 Ciclos de condução

Os ciclos de condução podem ser definidos como produtos obtidos das análises de diversos parâmetros correlacionados: aceleração, distância percorrida, velocidade, duração do trajeto, assim como a periodicidade de partidas e paradas. A finalidade de gerá-los, de forma real, é determinar as emissões de poluentes veiculares, considerando, ao máximo, os padrões de condições locais reais de tráfego e os comportamentos dos perfis de condução característicos. Também é útil complementar que eles podem ser aplicados em teste de durabilidade de motores, não só em laboratórios, como, inclusive, em pistas de testes, além de outros propósitos (BARLOW *et al.*, 2009).

A importância das suas aplicações está no fato de conseguirem representar tipos específicos de condução e o comportamento dos poluentes mediante à influência de variáveis explicativas, sendo a mais comum a velocidade, além de aplicar os resultados em inventários locais para utilizações em previsões de poluentes veiculares e modelos. Além

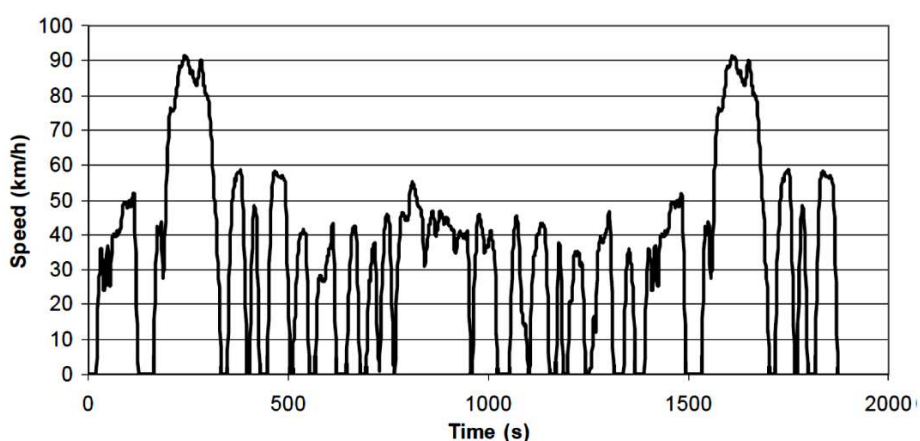
disso, inúmeros fatores contribuírem para as emissões veiculares, de forma coerente, diferentes ciclos de condução foram desenvolvidos, nos quais englobam uma série diversificada de tipos de veículos, condições de condução, vias e localidades. Outro aspecto a ser mencionado, ainda, é acerca das suas classificações que podem ser: transientes ou estado estacionário. Os ciclos neste estado são usados, principalmente, em motores diesel e são caracterizados por apresentarem velocidades constantes. Em contrapartida, os ciclos transientes apresentam velocidades em constantes mudanças (BARLOW *et al.*, 2009).

3.1.5 Modelos de ciclos de condução padrão

No Brasil é utilizado o ciclo *Federal Test Procedure 75* (FTP-75), adotado dos Estados Unidos, para padronizar o teste de emissões de poluentes de veículos leves e comerciais. A

Figura 2 mostra o ciclo de condução padrão americano para veículos leves de passageiros. Esse ciclo é caracterizado por uma extensão de 17,77 km com uma duração de 1877 segundos, assim como velocidade média e máxima de 34,12 km/h e 91,25 km/h, respectivamente (BARLOW *et al.*, 2009).

Figura 2 - Ciclo de Condução FTP – 75 americano adotado no Brasil para veículos leves e comerciais leves



Fonte: Barlow *et al.* (2009)

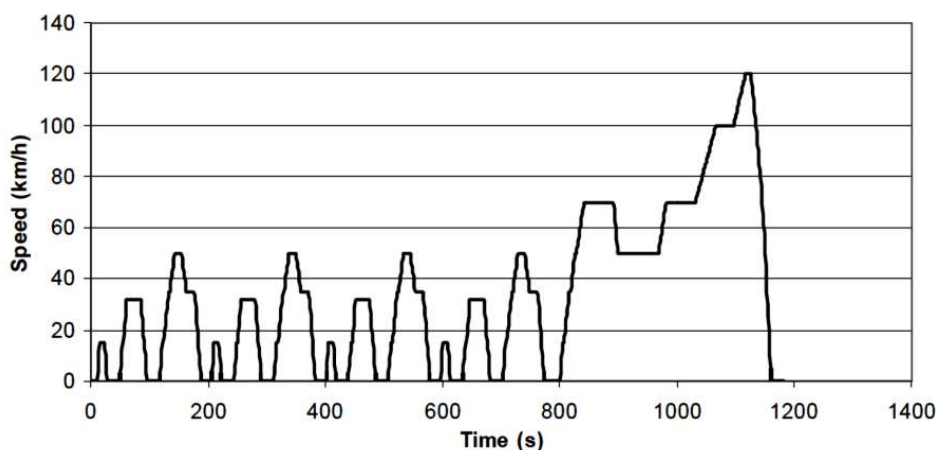
Salienta-se que a Norma Brasileira (NBR 6601) regulamenta acerca dos procedimentos para realização desse ensaio em duas etapas. Primeiro, se realizam duas fases em que o veículo se encontra no estado frio (*cold start e stabilized phase*). Em seguida, o veículo é desligado durante 10 minutos e é submetido à última fase, no qual o

motor já se encontra aquecido (ABNT NBR 6601, 2012).

Diversos países possuem seus próprios padrões de ciclos de condução. Por exemplo, há o Europeu *New European Drive Cycle* (NEDC) e o Japonês. O NEDC é constituído por um ciclo urbano: ECE e por um extra-urbano: EUDC. Esses ciclos são utilizados como referencial para adequação dos veículos à norma Euro 6, tanto na Europa quanto em outros países. Há, ainda, os ciclos do ARTEMIS: ciclo urbano, rural, rodovias (estradas) a 130 km/h e 150 km/h. Foram desenvolvidos na Europa por meio de um estudo estatístico e, apesar de não serem utilizados nos testes de certificações, os fabricantes utilizam-nos para avaliar os veículos produzidos em termos de níveis de emissões.

Apresenta-se as características do NEDC, representado na Figura 3, são: 11,023 km de extensão, 1180 segundos de duração e velocidade média de 36,6 km/h (BARLOW *et al.*, 2009).

Figura 3 - Ciclo de Condução NEDC



Fonte: Barlow *et al.* (2009)

Em relação às comparações entre os modelos de ciclos de condução apresentados, é conveniente afirmar que são inadequadas devido ao fato de as emissões veiculares, assim como o consumo de combustíveis serem particulares para cada forma de condução, mesmo quando se trata do teste no mesmo veículo (BOSCH, 2005; MARTINS, 2005). Outra discussão está pautada na ausência de representatividade do NEDC às condições reais de tráfego. Isso, porque apresenta acelerações suaves com inúmeras etapas em que a velocidade se encontra no modo cruzeiro, isto é, constante (CASSIANO, 2016).

Sendo assim, o *Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Cycle* (WLTC) foi desenvolvido com o intuito de preencher as lacunas deixadas pelo modelo NEDC de tal

forma que seja representada as condições reais de tráfego. Isso foi possível mediante à obtenção de dados reais do tráfego, por meio da unificação de bases de dados. O WLTC abrange três categorias de veículos, cada uma com um ciclo de condução específico. A Tabela 1 demonstra as características de cada classe supracitada (MAZER, 2019).

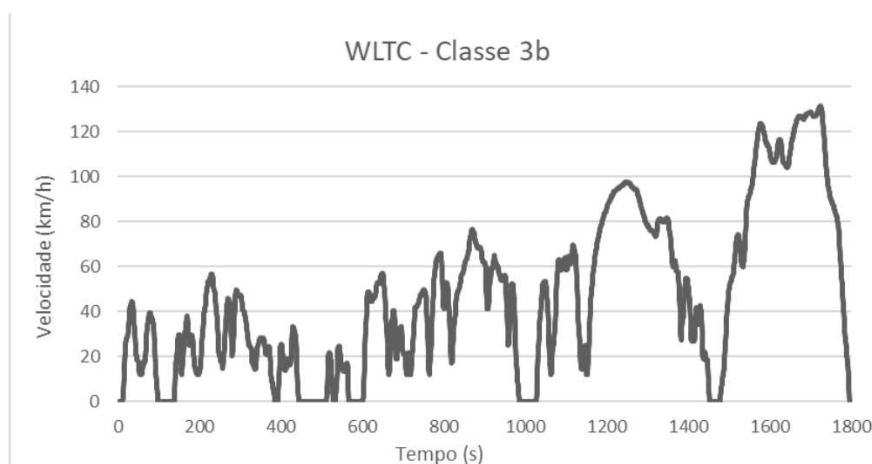
Tabela 1 - Classificação do ciclo WLTC para veículos leves

Classe	Potência/ Peso (W/kg)	Velocidade máxima (km/h)
WLTC classe 1	≤ 22	
WLTC classe 2	> 22 e ≤ 34	
WLTC classe 3a	> 34	< 120
WLTC classe 3b	> 34	≥ 120

Fonte: Adaptado MAZER (2019)

O ciclo WLTC é composto por quatro fases: *low*, *medium*, *high* e *extra-high*, com 1800 segundos de duração, sendo, 589 s na fase *low*, 433 s na fase *medium*, 455 s na fase *high* e 323 na fase *extra-high*. Além disso, a avaliação do dele na Europa é positiva e retrata avanço para o teste de veículos leves. Isso, visto que o ciclo é mais dinâmico e aborda mais situações transientes em comparação ao NEDC, além de incorporar mais valores de velocidades média e máxima (GIAKOUMIS, 2017). A Figura destaca o ciclo WLTC, no qual substitui o NEDC desde 2019 na Europa.

Figura 4 - Ciclo de condução WLTC (classe 3b)



Fonte: SILVA (2021)

3.1.6 Métodos de construção de ciclos de condução

É possível observar etapas em comum nos métodos de construção dos ciclos

de condução, tais como: coleta de dados de condução; segmentação dos dados de condução; construção dos ciclos; avaliação e seleção do ciclo final (ANDRÉ, 2004; MACIEL FILHO E STRAMBI, 2015). Em geral, quatro metodologias aplicadas à formulação dos ciclos de condução: baseada em microviagens, segmentos de viagens, em classificação de padrões, construção modal de ciclos e os ciclos baseados no VSP.

Na primeira, os ciclos de condução são formados para cada microviagem, a qual é obtida por meio de coleta de dados. Dessa forma, o tráfego real é caracterizado pelo conjunto das conduções representadas em cada uma das microviagens consideradas. A segunda, por sua vez, utiliza segmentos da viagem para caracterizar a condução, visto que, assim, é possível considerar as especificidades dos aspectos locais, tais como: os tipos de via e níveis de serviços, os quais são limitações no método de microviagens. Vale ressaltar que isso ocorre devido ao fato de os perfis de velocidade serem construídos ao longo do tempo, o que possibilita a identificação e divisão dos segmentos. (DAI *et al.*, 2008; LAI *et al.*, 2012).

O terceiro método, trata-se de aplicações estatísticas com o intuito de obter padrões que possibilitem a classificação das conduções de forma aleatória. Destaca-se que esse método é desqualificado se o objetivo de sua aplicação consistir em identificar as emissões de poluentes veiculares ao longo das viagens. Os ciclos de condução baseados na construção modal utilizam os conceitos de modos de operação. Eles permitem compreender e classificar a condução de acordo com as características empenhadas pelo veículo ao longo do percurso, nas quais podem ser: aceleração, desaceleração e modo cruzeiro. De forma contrária ao método de classificação de padrões, é possível identificar as emissões de poluentes veiculares ao longo da condução. (LAI *et al.*, 2012).

Por fim, os ciclos de condução que aplicam o conceito de potência específica do veículo, termo inglês *Vehicle Specific Power* (VSP), são utilizados mediante a divisão dos dados de viagens de acordo com as variáveis dinâmicas: velocidade e aceleração. Essa classificação considera características do veículo de forma diferente de outros métodos, tais como o consumo de combustível por tonelada transportada. Desta maneira, os ciclos de condução são construídos para estimar as emissões de poluentes veiculares de forma semelhante ao método das microviagens, com a implementação dessas adequações citadas. (DAI *et al.*, 2008; LAI *et al.*, 2012).

3.1.7 Ciclos de condução reais

Cita-se8 pesquisas nas quais se submeteram às condições reais de condução e obtiveram resultados significantes com a construção dos ciclos de condução:

Maciel Filho (2013) pesquisou e desenvolveram ciclos de condução voltados para representar ônibus urbanos. Utilizaram a metodologia VSP e aplicaram nos dados coletados em campo, com frequência de 1, para segmentos de viagens em períodos distintos do dia: Fora Pico e Hora Pico. Como resultados, eles descrevem que as condições de tráfego desfavoráveis às conduções do veículo, assim como as características da via, impactam a distribuição VSP e elevam os níveis de emissões de poluentes veiculares analisados, tais como CO, HC e NO_x.

No Brasil, Cassiano (2016) confrontou os ciclos de condução dos modelos NEDC e FTP-75 com ciclos reais obtidos com dados em campo de um veículo leve de passeio em três distintas condições de misturas de combustíveis: E27, E85 e E100, nas quais representam, respectivamente, 26%, 84% e 99% de etanol (com margem de $\pm 1\%$), em dois períodos do dia: pico e fora-pico. Ao comparar os resultados, foi constatada diferenças relevantes, como por exemplo na velocidade medida obtida com os dados de campo nas quais foram 36% menor que a retratada no modelo NEDC e cerca de 37% em relação ao FTP-75.

Bigazzi e Rouleau (2017) analisaram se houve melhoria da qualidade do ar urbano mediante às estratégias de gestão de tráfego no Canadá. Para isso, eles estudaram os efeitos de algumas delas, tais como: velocidades veiculares, atividades e modos de viagens e tipos de veículos na mitigação das emissões de poluentes veiculares. Contudo, relataram a dificuldade para encontrarem evidências sobre as reduções dos níveis de poluentes, sendo obtidas, mesmo de forma limitada, sete das vinte e duas estratégias analisadas.

Pouresmaeili *et al.* (2018) compararam os ciclos de condução de uma via arterial de Mashhad, no Irã com os ciclos padronizados na Europa e América. Os dados coletados foram obtidos em duas semanas para duas rotas diferentes e, em seguida, comparados com os de Pequim, Pune e México. Como resultado, apresentou diferenças significativas em relação aos ciclos padrões da Europa e América. Além de mostrar níveis mais elevados de CO do que os constatados nos ciclos padrões. Por fim, o CO produzido em Mashhad em comparação com Pune, México e Pequim, apresentou aumento de 10,5, 30,69 e 25,67%, nessa ordem.

Azevedo (2019) propôs um método para elaboração de fatores de emissões por meio de perfis de condução sob condições locais de tráfego em vias com diferentes

classificações funcionais. Para isso, usou-se um veículo urbano de carga e motoristas profissionais e não profissionais. Como resultado, verificou significativa diferença entre as duas classes de motoristas, assim como constatou a influência e interferência dos aspectos locais no modo de condução.

Quintanilha *et al.* (2021) analisaram a relação de diferentes classificações funcionais viárias e dos perfis de emissões de CO₂. A abordagem da coleta de dados foi com equipamentos embarcados com um veículo do ciclo Otto em dois períodos distintos do dia: maior e menor tráfego. Eles verificaram que a via arterial representou maiores níveis de CO₂, seguida da via coletora e, por fim, a local. Além disso, constataram que a classificação viária impacta na velocidade média e nos ciclos de condução, por conseguinte, nos perfis de emissões.

Vuong *et al.* (2022) estudaram os fatores determinantes para a redução de poluentes do ar com a implementação de políticas de controle intensivo em Ulsan, Coreia do Sul. Neste estudo, foi relatado a dificuldade de conclusões pelo fato de coincidir com o distanciamento social, resultante da pandemia do COVID-19. A análise teve três fatores de influências: políticas de controle intensivo pelo governo, distanciamento social e condições meteorológicas. Como conclusão, o primeiro fator, com intervenções no tráfego do tipo a restrição de veículos com altos índices de emissões e redução do limite de emissões, foi o mais significativo nas reduções de emissões de poluentes. A abordagem utilizada foi a Regressão Linear Múltipla para estimar as emissões veiculares e os dados foram obtidos mediante às estações de monitoramento remoto da qualidade do ar espalhadas pela cidade.

Zhai *et al.* (2022) realizaram um estudo no qual destaca os resultados obtidos em uma comparação entre duas cidades da China: Pequim e Toronto. Os dados, obtidos por meio da técnica de coletas PEMS, associam que as viagens em vias expressas de Toronto, onde os níveis de acelerações são mais elevados e o tempo de viagem é 40% maior que para Pequim, apresentaram 14%, 57%, 14% e 21% menos emissões de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e número de partícula (PN), respectivamente. Foi constatado, também que, cerca de 93% das viagens em Toronto configuram o cenário de violação do limite de velocidade regulamentar. Após construir ciclos de conduções para o cenário em que as viagens obedeciam aos limites de velocidade regulamentar o tempo de viagem aumento, contudo, os níveis de emissões reduziram em 5,2% para o CO₂, por exemplo. Por fim, concluíram que limites de velocidades mais baixos resultam em acelerações menos agressivas e níveis de emissões mais baixos.

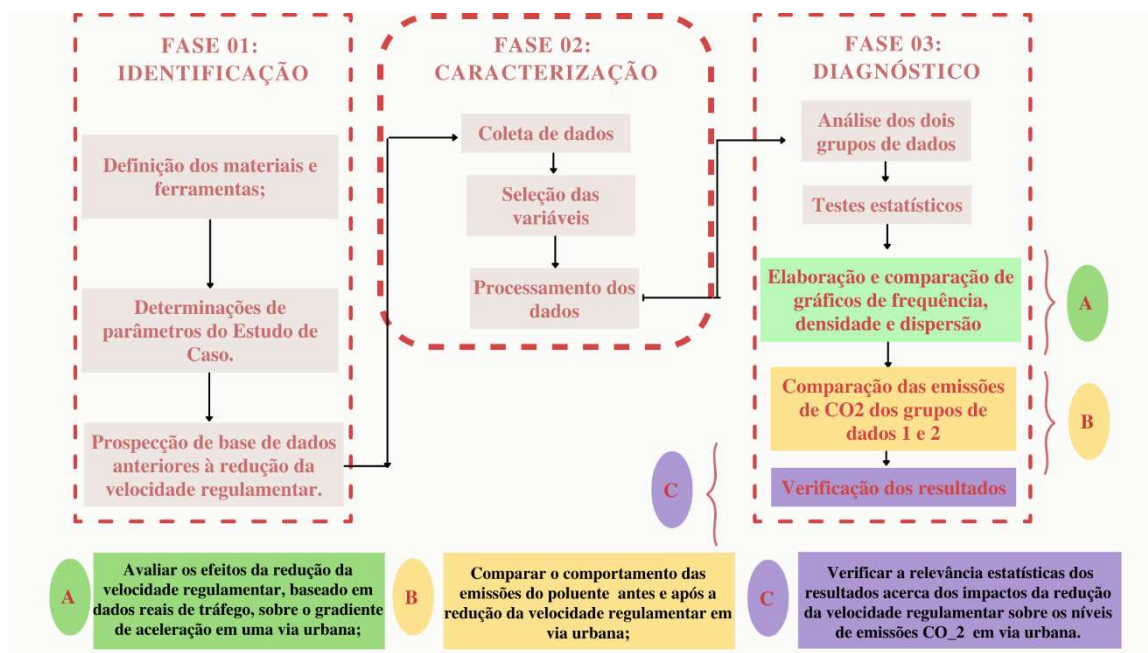
Li *et al.* (2022) investigaram as restrições de direção, velocidades de tráfego e

emissões de carbono com evidências de dados de alta frequência na cidade de Xi'na, China. Os dados foram obtidos de uma companhia do país e foi aplicado o método de descontinuidade de regressão (RDD) com o intuito de analisar o efeito causal das restrições de condução nas velocidades de cruzeiro dos veículos, isto é, velocidades mais constantes. Os resultados demonstraram o aumento desse modo de operação do veículo de até 20% no período de pico. Os impactos disso foram, principalmente, sobre as emissões de carbono, nos quais sofreram reduções drásticas, pois contribuiu para menor congestionamento do tráfego.

4 MATERIAIS E MÉTODO

Para o íntegro desenvolvimento deste trabalho e alcance dos objetivos específicos, assim como obtenção de respostas para as questões motivadoras, processa-se esta sequência, com descrição dos materiais, ferramentas e método aplicado, adaptado do Cassiano (2016), sintetizadas na Figura 5. Ressalta-se que, os retângulos destacados correspondem à última etapa de atingimento do objetivo específico indicado, enquanto as demais etapas são análogas entre eles.

Figura 5 - Fases do método aplicado



Fonte: Autor (2022)

4.1 Fase 1 – Identificação

A fase 1 deste método consistiu na descrição, definição e determinação dos materiais e ferramentas utilizadas na coleta, além da prospecção de bases de dados existentes para o cenário em que a velocidade regulamentar antecede à mudança estudada neste trabalho. Sendo assim, foram detalhados a seguir: o trecho de estudo, suas características e os demais materiais necessários, os parâmetros da coleta e base de dados selecionada.

4.1.1 Coletas de dados em percurso urbano

O trecho da via foi escolhido de maneira que ele tivesse sido submetido à intervenção no tráfego de redução do limite de velocidade regulamentar de 60 km/h para 50 km/h. Desta forma, a escolha foi a Avenida Jovita Feitosa, localizada no bairro Parquelândia, na cidade de Fortaleza-CE, na qual teve readequação da velocidade regulamentar em 2021, de acordo com a Prefeitura Municipal de Fortaleza.

Assim, justifica-se a escolha por ser objeto de estudo de pesquisas anteriores, tais como: Cassiano (2016), Azevedo (2019) e Quintanilha *et al.* (2021). De tal forma que será possível a obtenção de dados no cenário em que a velocidade regulamentar ainda se encontrava à 60 km/h, isto é, contexto *ex-ante* com importância destacada por Bigazzi e Rouleau (2017).

4.1.2 Local das coletas

A primeira parte deste método a ser caracterizado é a característica do local das coletas. Os aspectos representativos do trecho foram obtidos nos documentos e órgãos municipais, tais como: a Lei de Uso e Ocupação do Solo de Fortaleza e Controle de Tráfego em Área De Fortaleza (CTAFOR). Os parâmetros considerados foram classificação funcional da via, extensão, quantidade de faixas de tráfego, semaforização, se a via possui sentido único ou não, uso e ocupação do solo.

Desta forma, a via selecionada, demonstrada na Figura 6, é classificada hierarquicamente como coletora, de acordo com a Lei de Uso e Ocupação do Solo de Fortaleza (Fortaleza, 2015) e possui uso do solo classificado com área residencial e misto (CTAFOR, 2015), além de possuir 2 faixas de tráfego nos dois sentidos, separados por canteiro central, Oeste-Leste e Leste-Oeste (chamados de ida e volta ao longo do trabalho, respectivamente) que compreendem, juntos, aproximadamente, 5,0 km. Ademais, possui 10 semáforos por sentido ao longo do trecho estudado.

Figura 6 - Trecho do estudo de caso – Avenida Jovita Feitosa



Fonte: Autor (2022)

A via é caracterizada com polos geradores de viagens em seu entorno ao longo de toda a sua extensão, por possuir facilitadores, como: residências, igrejas, supermercados, farmácias, agências bancárias, escolas, bares e restaurantes. Além disso, possui interseção com vias arteriais nas quais possuem fluxo intenso, de acordo com o google trânsito: Avenida Humberto Monte e Avenida 13 de Maio. Outro aspecto a ser descrito é que, de acordo com a lei de Uso e Ocupação do Solo, a Avenida Jovita Feitosa se encontra na Zona de Ocupação Preferencial (ZOP 1), na qual apresenta capacidade de intensificação e dinamização do uso e ocupação do solo.

4.1.3 Veículo utilizado

O município de Fortaleza representa, aproximadamente, 1% da frota nacional de veículos automotivos leves e cerca de 48% no Ceará (DENATRAN, 2022). De acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de veículos Automotores (ANFAVEA), a tecnologia *flex-fuel*, em 2019, esteve presente em 87% dos novos veículos leves licenciados no Brasil. Além disso, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) fez projeções nas quais,

até 2030, ela deve atingir cerca de 46,7 milhões de veículos novos, com crescimento a uma taxa de 2% ao ano (EPE, 2020).

Com isso, o veículo escolhido no estudo de caso é do tipo SUV *flex-fuel* da marca Hyundai, modelo Creta automático com motorização 2.0 L. Na Tabela 2, estão descritas as principais características pela ficha técnica do veículo presente no Manual do Proprietário fornecido pela Hyundai.

Tabela 2 - Especificação do veículo utilizado no estudo

Especificações Creta 2.0	
Massa (kg)	1855
Transmissão	Automático, 6 marchas
Volume do tanque (l)	55
Certificação	Proconve (L6)

Fonte: Autor (2022) e adaptado do manual do proprietário do veículo – Hyundai

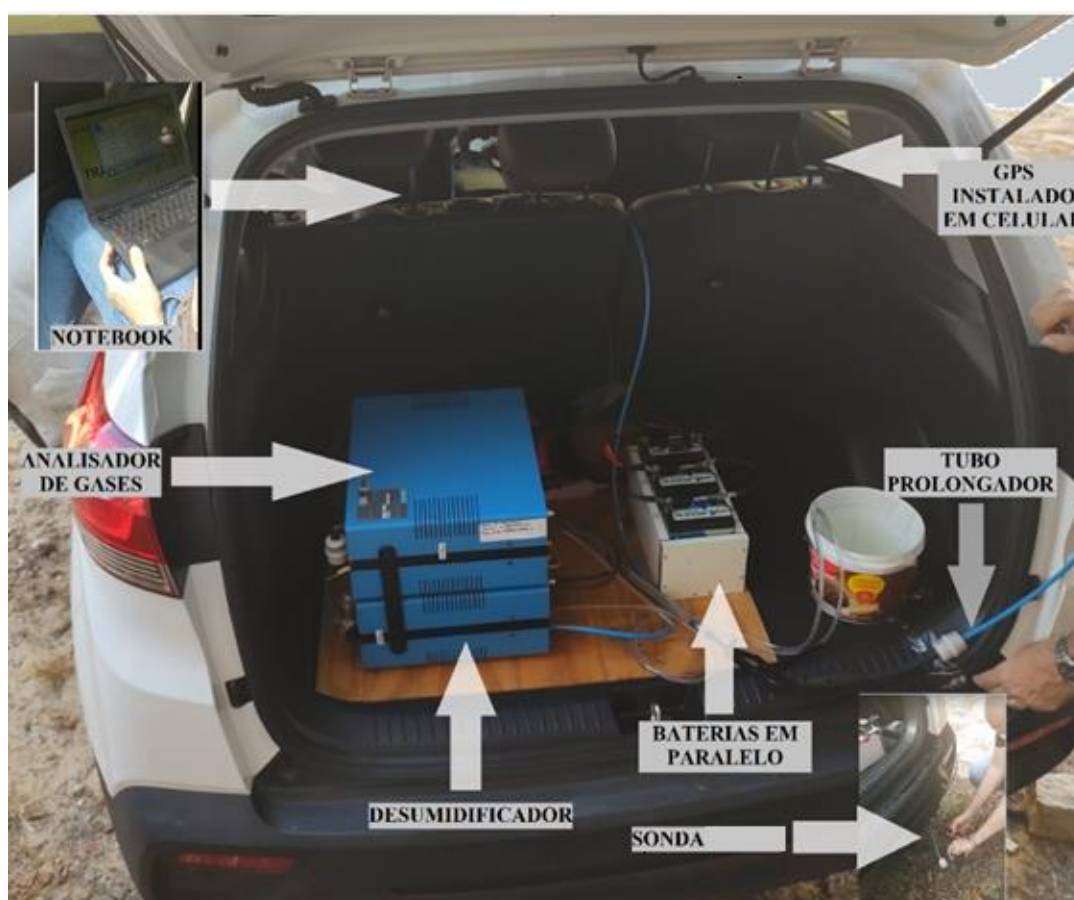
4.1.4 Parâmetros e sistema de coleta

O conjunto de equipamentos e ferramentas utilizadas para obtenção dos dados desta pesquisa são descritos a seguir e representados na Figura 7, conforme esquematização da coleta de dados:

- Analisador de gases, cuja função foi captar as emissões de gases poluentes, tais como o CO, CO₂, O₂, NO_x e HC, com dados desagregados e na frequência de 1Hz.
- Desumidificador ligado à sonda por meio do tubo prolongador, com função de controlar a umidade do ar e garantir que somente o fluxo dos gases chegassem até o analisador, que também estava conectado com ele. Além disso, possuía uma vazão de água que foi transportada por uma mangueira até um recipiente.
- Computador portátil, capaz de fazer a leitura dos dados coletados no analisador de forma instantâneas. Conectados via Porta *Serial*;

- GPS agregado a um *smartphone Android* por meio do aplicativo OruxMaps¹, foi possível registrar a localização, velocidade e inclinação do trecho percorrido;
- Sonda fixada no escapamento do veículo e composta por tubo extensor, no qual a ligava ao desumidificador e analisador de gases;
- Conjunto de 3 baterias em paralelo de 12V cada, que forneciam cerca de 1:30h de energia para os equipamentos;

Figura 7 - Descrição dos materiais e equipamentos embarcados no veículo teste



Fonte: Autor (2022)

A Tabela 3 detalha os parâmetros obtidos por cada equipamento supracitado, assim como suas respectivas unidades de medidas advindas da coleta de dados, isto é, dado de forma bruta. Além disso, com o acréscimo do que precisou ser calculado ao longo do processamento dos dados: aceleração.

¹ Aplicativo que permite visualização de mapas, plotagem de rotas GPS, exportação dos dados em diversos formatos, tais como: gpx, kml, csv ou kmz. Ele é pago e foi obtido na Play Store.

Tabela 3 - Categorização dos parâmetros utilizados

Instrumento	Parâmetros medidos	Parâmetros calculados	Unidade de Medida
Analisador de gases	O ₂	-	%
	CO	-	%
	NO _x	-	ppm
	CO ₂	-	%
	HC	-	ppm
GPS	Latitude	-	Grau decimal (°)
	Longitude	-	Grau decimal (°)
	Altitude	-	Metro (m)
	Velocidade	-	km/h
Calculado	Aceleração		m/s ²

Fonte: Autor (2022)

4.1.5 Seleção da base de dados

Esta etapa implicou na investigação e seleção de uma base para obtenção de dados de emissões de poluentes referentes ao cenário operacional em que a via escolhida ainda estivesse com a velocidade de 60 km/h. A nível de organização e manipulação das análises e resultados, os dados dos dois cenários diferentes considerados nesta pesquisa foram divididos em dois grupos:

- Grupo de dados 1: referente aos dados utilizados na dissertação de Cassiano (2016) para a velocidade regulamentar de 60 km/h na Avenida Jovita Feitosa.
- Grupo de dados 2: referente aos dados obtidos por meio de coleta em campo utilizados neste trabalho com representação do cenário operacional de velocidade regulamentar de 50 km/h na Avenida Jovita Feitosa.

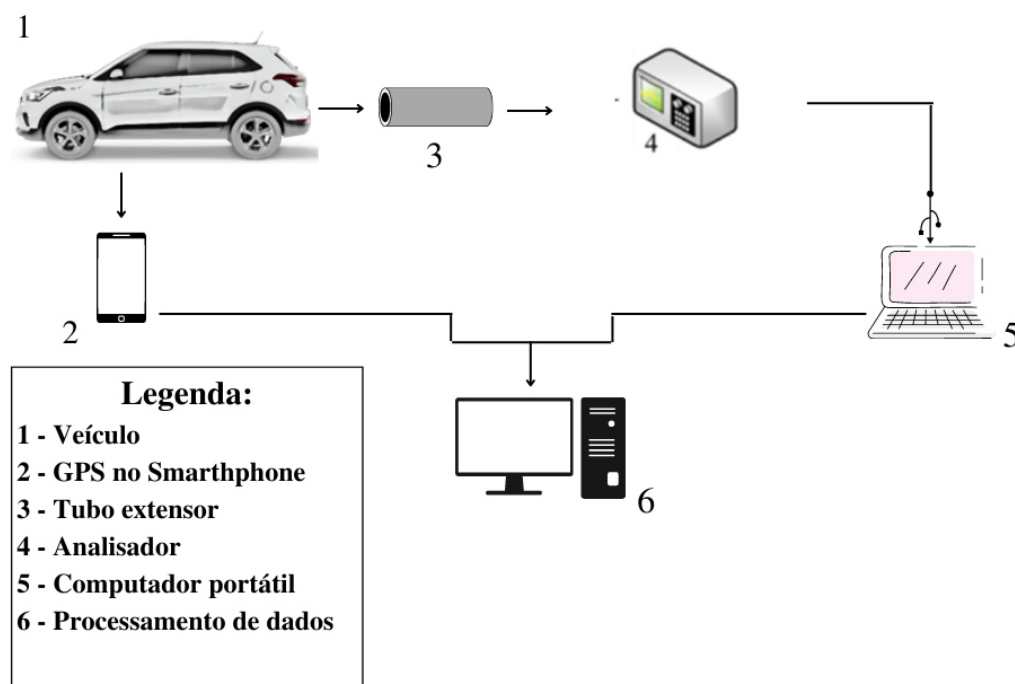
4.2 Fase 2 – Caracterização

4.2.1 Descrição da coleta de dados

Após serem posicionados e instalados, conforme a Figura 7, no veículo, os equipamentos embarcados foram preparados para a coleta de dados ser iniciada. Visto que se trata de uma pesquisa em campo, na qual visa representar as condições de emissões

veiculares do tráfego com dados reais e instantâneos de poluentes, a técnica de coleta aplicada foi o Sistema Portátil de Medição de Emissões (PEMS). A Figura 8 representa a sistematização geral da coleta de dados, cuja adaptação ocorreu do método do Cassiano (2016).

Figura 8 - Sistematização geral de coleta



Fonte: Adaptado Cassiano (2016)

Para a realização dela, foi necessário iniciar o programa do analisador no computador portátil, executar a determinação do estado zero² assim como realizar o teste de vedação e verificar o aquecimento dele. Isso foi feito ainda próximo ao Laboratório GTTMA³, no qual serviu de ponto de apoio e local onde os equipamentos ficaram armazenados. Outro aspecto a ser mencionado, ainda, é que a esquematização da coleta foi executada de forma a não influenciar a condução do veículo assim como o tráfego no trecho.

No veículo, haviam duas pessoas: o condutor e outra responsável por auxiliar a leitura e processamento dos dados com o computador portátil. O trajeto se iniciou ainda dentro do campus do Pici, no qual serviu de recorte de espaço utilizado para o aquecimento

² O estado Zero é a forma de estabilizar o analisador às condições do ambiente e adaptá-lo ao ar local no momento da coleta dos gases.

³ Grupo de Pesquisa em Transporte, Trânsito e Meio Ambiente – DET/UFC (GTTEMA) localizado na Universidade Federal do Ceará, campus do Pici, no bairro Parquelândia, Fortaleza-CE.

do veículo, conforme representação na Figura 9, e perdurou por toda a extensão da Avenida Jovita Feitosa em ambos os sentidos.

Figura 9 - Trecho do Laboratório GTTEMA até a Avenida Jovita Feitosa



Fonte: Google Earth (2022)

As coletas dos dados foram realizadas nos dias típicos de acordo com Liu *et al.* (2014): terça, quarta e quinta-feira. Isso se fez necessário para que as interpretações e conclusões obtidas sejam representativas do tráfego analisado. Além disso, elas foram divididas em dois turnos: manhã e tarde. Cada viagem foi considerada como o percurso de toda a extensão da via e foram agrupadas, portanto, por dia, turno e sentido. No turno da manhã, iniciaram às 8:00 às 9:00h e, no turno da tarde, das 13:00 às 14:00h. A campanha ocorreu durante nove dias, com exclusão das semanas em que houve feriados e/ou eventos excepcionais, evitando alterações ou interferências padrão de viagem na via.

Desta maneira, foram 50 viagens e 17.724 observações distribuídos entre as datas, turnos e sentidos, detalhados no apêndice A. Em síntese, a Tabela 4 expõe os números de observações agrupadas por data e turno, cuja importância está atrelada às inferências estatísticas desenvolvidas ao longo deste trabalho.

Tabela 4 - Resumo das coletas de dados

Dia e turno da coleta	Número de Observações
------------------------------	------------------------------

30/08 - Manhã	1023
31/08 - Manhã	1473
13/09 - Manhã	3175
14/09 - Manhã	2341
14/09 - Tarde	1716
20/09 - Tarde	1897
21/09 - Tarde	1976
27/09 - Manhã	2159
28/09 - Tarde	1964
Total	17724

Fonte: Autor (2022)

4.2.2 Seleção das variáveis

Dentre as variáveis citadas como influentes no capítulo 3, foram escolhidas, neste trabalho, para compor a análise: velocidade, aceleração e o poluente CO₂. Isso porque se trata de um dos principais responsáveis pela poluição atmosférica, por consequência, é considerado um dos gases do efeito estufa (GEE). Ademais, foi objeto de pesquisa em trabalhos recentes como os de Quintanilha *et al.* (2021), Bertoncini *et al.* (2021), Zhai *et al.* (2022) e Li *et al.* (2022).

Além desses parâmetros, latitude e longitude para identificação da posição geográfica das observações, assim como o tempo, em segundos, de cada registro das variáveis são componentes importantes para análises e obtenção dos resultados.

4.2.3 Processamento dos dados

Organizou-se esta etapa metodológica para que fossem descritos os processamentos dos dados para cada grupo, divididos de acordo com o contexto operacional da via analisada: grupo de dados 1, anterior à mudança da velocidade regulamentar e grupo de dados 2 posterior a isso.

4.2.4 Grupo de dados 1

Após selecionar os dados utilizados na dissertação do Cassiano (2016), foi feita a adequação da tabulação e organização dos dados com: data, hora, latitude, longitude, tempo, velocidade, aceleração e emissões de CO₂, utilizando o *software* Excel. Os dados

de Cassiano (2016), foram classificados, originalmente, de acordo com o período do dia: hora pico (HP - maior intensidade do tráfego) e fora pico (FP - menor intensidade do tráfego), assim como pela composição do combustível utilizado nas coleta: E27 (27% de etanol e 73% de gasolina), E85 (85% de etanol e 15% de gasolina) e E100 (100% de etanol).

4.2.5 Grupo de dados 2

Os dados resultantes das amostragens das viagens realizadas (do grupo 2) foram tratados, processados e sincronizados, de forma que fosse obtido o ajuste dos parâmetros coletados no analisador de gases com as informações de localização, tempo e dinâmica veicular do GPS. Os arquivos foram exportados do programa vinculado ao analisador de gases, no formato “.csv”, tratados e tabulados, por meio do *software* Excel, de acordo com as colunas: data, hora, latitude, longitude, tempo, velocidade, aceleração e emissões de CO₂. Além disso, foi feita a contagem das observações totais e retirados os dados com inconsistências.

Para os dados referentes às emissões de CO₂, conforme já foi apresentado, a unidade de medida obtida do analisador de gases foi em porcentagem de volume de gás. A adaptação da conversão, apresentada na Equação 1, ocorreu pela ausência do dado de volume total do gás, no qual é obtido pela Sonda *Pitot*, equipamento não embarcado na coleta. Por essa razão, a unidade de medida para as emissões foi convertida de % para ppm em todas as microviagens obtidas e avaliados dessa forma.

$$\text{De \% para ppm:} \quad ppm_i = \%_i * 10000 \quad (1)$$

Onde:

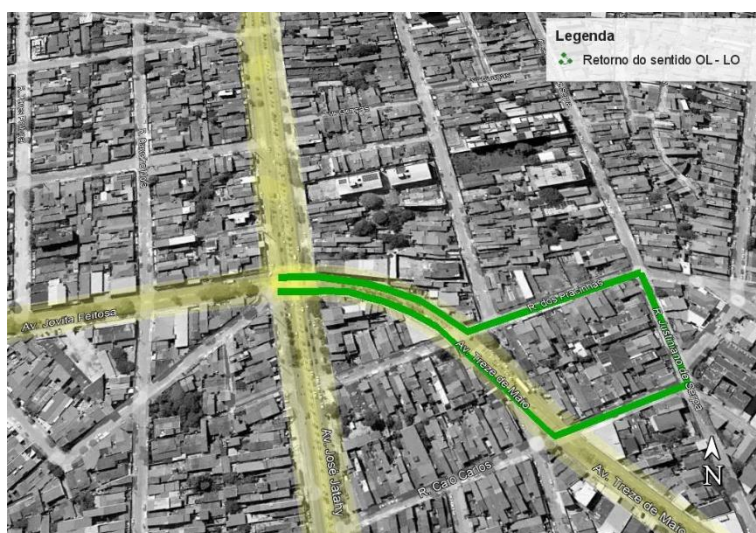
i = Concentração instantânea de coletada na frequência de 1Hz pelo Analisado de Gases.

A realização dos recortes de dados foi feita de forma que fossem consideradas apenas as observações no trecho determinado para o estudo de caso. Isso, porque, para que as viagens fossem sequenciadas, em determinado dia e turno, o condutor fez retornos e percorreu um trajeto mais extenso do que o da via em questão, para que fosse possível retornar ao trecho de estudo sem reiniciar as configurações dos equipamentos.

Os trechos em que as manobras de retorno foram feitas estão representados nas Figuras 10 e 11. Outro aspecto a ser mencionado, ainda, foi o fato do formato exportado

em “.kmz” do GPS, por meio do Google Earth, ter auxiliado a identificação do ponto onde se começava e terminava o trecho da via analisado e, assim, executar os recortes com precisão para que fosse considerado apenas as observação correspondentes ao trecho de estudo.

Figura 10 - Trecho percorrido para realização de retorno do sentido OL – LO



Fonte: Google Earth (2022)

Figura 11 - Trecho percorrido para realização de retorno do sentido LO - OL



Fonte: Google Earth (2022)

Acerca da aceleração, foi utilizado o cálculo entre duas observações consecutivas para obtenção dela de forma instantânea, em m/s^2 . Para isso, a velocidade, obtida no GPS, em km/h , foi convertida para m/s , conforme Equação 2:

(2)

$$a = \frac{\left[\frac{(v_2 - v_1)}{3,6} \right]}{(Tempo\ 1 - Tempo\ 2)}$$

Onde:

a – Aceleração instantânea entre dois pontos consecutivos (m/s²);

v_1 – Velocidade no ponto 1 (km/h);

v_2 – Velocidade no ponto 2 (km/h);

$Tempo\ 1$ – Segundo respectivo do ponto 1 (s);

$Tempo\ 2$ – Segundo respectivo do ponto 2 (s);

4.3 Fase 3 – Diagnóstico

Esta fase do método pode ser descrita em quatro etapas. Na primeira, são feitos testes de hipóteses dos tempos de percurso para classificar, em classes, as viagens do grupo de dados 2, coletados neste trabalho e referente à condição atual da via. Em sequência, tem-se as análises descritivas dos dois grupos de dados, obtidos pela dissertação do Cassiano (2016) – grupo de dados 1 e os coletados para este trabalho – grupo de dados 2. A execução da terceira etapa, na qual implica na elaboração de gráficos para demonstrar os resultados obtidos nas análises e avaliar o seus respectivos comportamentos. Por fim, são feitos testes de hipóteses para verificar a significância dos resultados das comparação para os níveis de emissões de poluentes veiculares resultantes dos dois contextos operacionais da via de estudo.

4.3.1 Testes de hipóteses

Os teste de hipóteses foram necessários para classificar as 50 viagens percorridas na coleta de dados, de acordo com a maior e menor intensidade do tráfego identificada nos dois períodos do dia em que elas ocorreram: manhã e tarde. Para isso, os tempos de percurso de cada viagem foram agrupados, inicialmente, em: manhã – sentido OL, manhã – sentido LO, tarde – sentido OL e tarde – sentido LO.

Por meio do teste paramétrico, baseado na distribuição *t-student*, as hipóteses foram construídas de modo a confrontar os diferentes períodos do dia em cada sentido

trafegado. Para a situação 1, os tempos de viagens da classe manhã - sentido OL foram testados com os da tarde – sentido OL. A situação 2 ocorreu entre manhã – sentido LO e tarde – sentido LO, assim como a situação 3 em que se tem a verificação para as viagens tarde – sentido OL e tarde – sentido LO, sintetizadas na tabela 5, realizado por meio do pacote de análise de dados do *software* Excel.

Como consequência do volume de dados coletados, em que cada registro do analisador de gases na frequência de 1 Hz é considerada uma observação, adotou-se a premissa de que os dados seguem distribuição normal visto que se trata de uma amostra com o número grande de observações.

Tabela 5 - Hipóteses utilizadas no teste paramétrico com distribuição *t-student*

Situação 1	H₀	A média de tempos de viagem manhã - sentido OL é igual à média de tempos tarde – sentido OL.
	H_a	A média de tempos de viagem manhã - sentido OL é diferente da média de tempos tarde – sentido OL.
Situação 2	H₀	A média de tempos de viagem manhã - sentido LO é igual à média de tempos tarde – sentido LO.
	H_a	A média de tempos de viagem manhã - sentido LO é diferente da média de tempos tarde – sentido LO.
Situação 3	H₀	A média de tempos de viagem tarde - sentido OL é igual à média de tempos tarde – sentido LO.
	H_a	A média de tempos de viagem tarde - sentido OL é diferente da média de tempos tarde – sentido LO.

Fonte: Autor (2022)

De forma a complementar aos testes de hipótese, foram agregadas as observações feitas por meio do Google Trânsito em que é possível verificar a intensidade do fluxo do tráfego, de acordo com o trânsito típico das vias. Desta maneira, a Figura 12 mostra como foi feita a verificação do comportamento do trânsito típico na Avenida Jovita Feitosa, de acordo com o dia e hora correspondente em que as coletas ocorreram. É apresentada uma escala de cores, nas quais a verde condiz com a maior fluidez do tráfego e a vinho com a menor.

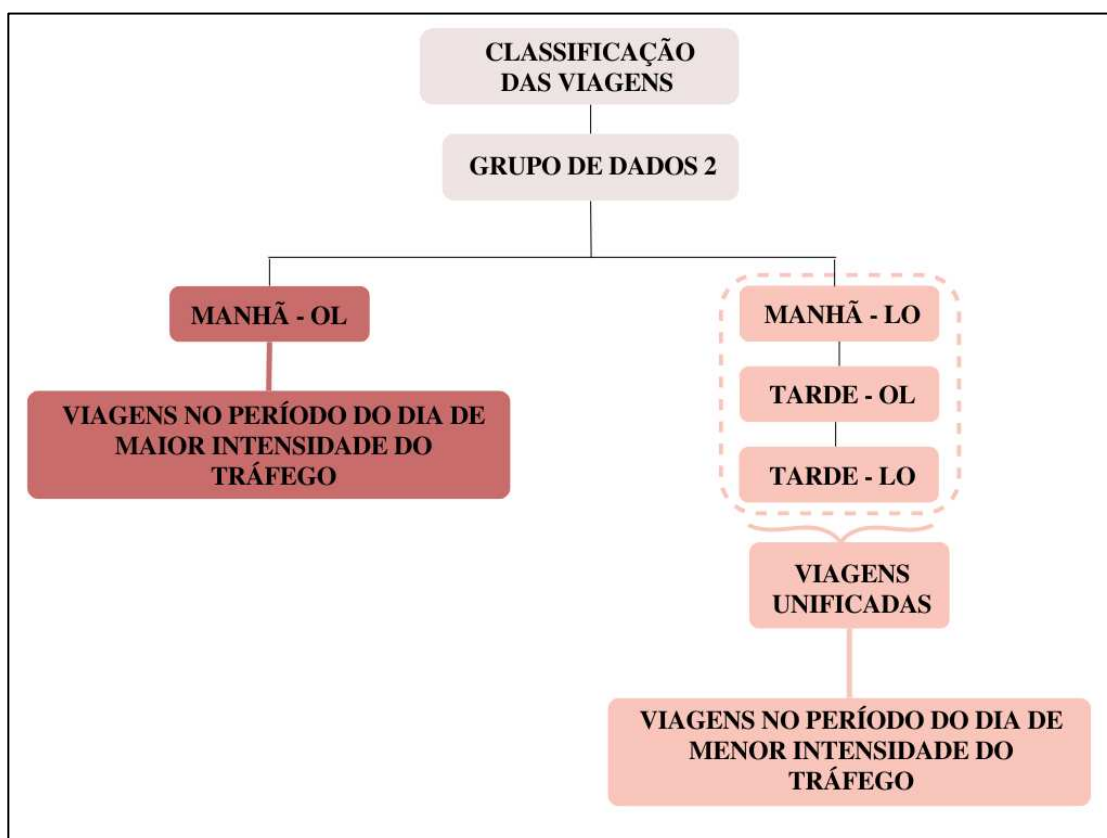
Figura 12 - Escala do trânsito típico verificada no software Google Trânsito



Fonte: Google Trânsito (2022)

Na figura 13, está mostrada como a classificação das viagens foi adotada após os testes de hipóteses para o grupo de dados 2. As viagens manhã – OL apresentaram o comportamento do tráfego mais intenso em comparação com as demais. Por essa razão, as viagens que apresentaram comportamentos semelhantes constatados pelo teste de hipótese e observações do trânsito típico: manhã – sentido LO, tarde – sentido OL e tarde – sentido LO foram classificadas em viagens unificadas.

Figura 13 - Classificação das viagens percorridas na condição atual da via estudada

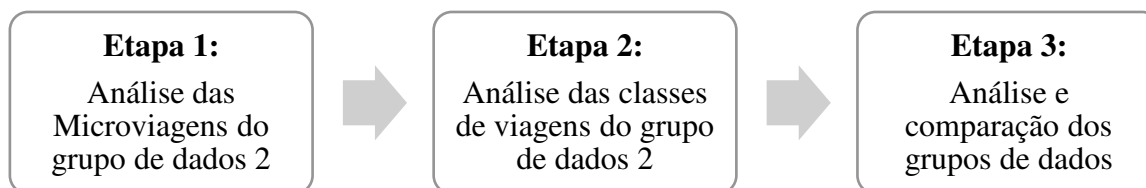


Fonte: Autor (2022)

4.3.2 Análises dos dados

A síntese das análises dos dados é demonstrada na figura 14 e foi dividida em três etapas para melhor descrição dos procedimentos desenvolvidos, da micro para a macroanálise dos dados.

Figura 14 - Síntese das etapas das análises estatísticas



Fonte: Autor (2022)

De forma inicial, as microanálises das viagens individuais, também denominadas de microviagens, para os dados coletados do grupo de dados 2, foram feitas com as variáveis de interesse: velocidade, emissões de CO₂, aceleração, desaceleração. Além dos tempos de parada, aceleração e desaceleração. As medidas estatísticas de posição e dispersão, calculadas por meio do suplemento Análise de Dados no *software* Excel, foram: média, mediana, moda, desvio padrão, variância da amostra, assim como os valores mínimos e máximos e a contagem de observações.

Em relação aos tempos de parada, de aceleração e desaceleração foram obtidos por meio de equações específicas, como a representada na Equação 3, cuja função contabiliza, de forma condicional, as observações em que, tanto a velocidade, quanto a aceleração são nulas, o que configura a quantidade de segundos em que o veículo estava parado de acordo com Barlow *et al.* (2009).

(3)

$$\textit{tempo de parada} = \textit{cont. ses}(\textit{tabela}[\textit{vel}]; 0; \textit{tabela}[\textit{acel}]; 0)$$

Onde:

tempo de parada = Tempo em que tanto a velocidade quanto a aceleração se encontram nulas (s);

tabela[vel] = Coluna da tabela em que estão os dados referentes à velocidade instantânea do veículo (km/h);

$tabela[acel]$ = Coluna da tabela em que estão os dados referentes à aceleração calculada do veículo (m/s^2);

Para determinação dos tempos em que o veículo estava acelerando e desacelerando, assim como as respectivas análises descritivas, foi necessária a filtragem, demonstrada na Equação 4, das observações com o intuito de separar os valores de aceleração positivas dos negativos. Com isso, foi possível obter os tempos, como também as medidas de posição e dispersão desses parâmetros.

(4)

$$valores\ positivos\ de\ aceleração = FILTRO(tabela[acel]; tabela[acel] > 0)$$

Onde:

valores positivos de aceleração – Valores de aceleração maiores que 0 (zero) (m/s^2);

$tabela[acel]$ – Coluna da tabela em que estão os dados referentes à aceleração calculada do veículo (m/s^2);

Na segunda etapa, as viagens que foram classificadas em uma das classes determinadas: manhã – OL e viagens unificadas e foram analisadas com o mesmo procedimento utilizado nas microviagens (na etapa 1). Dessa forma, foi obtido o panorama comportamental dos períodos do dia de maior e menor intensidade do tráfego por meio da análise descritiva. É necessário destacar que a análise dessas duas classes de viagens distintas possibilitou comparar a condição dos níveis de emissões de CO_2 , útil para o objetivo específico *b*.

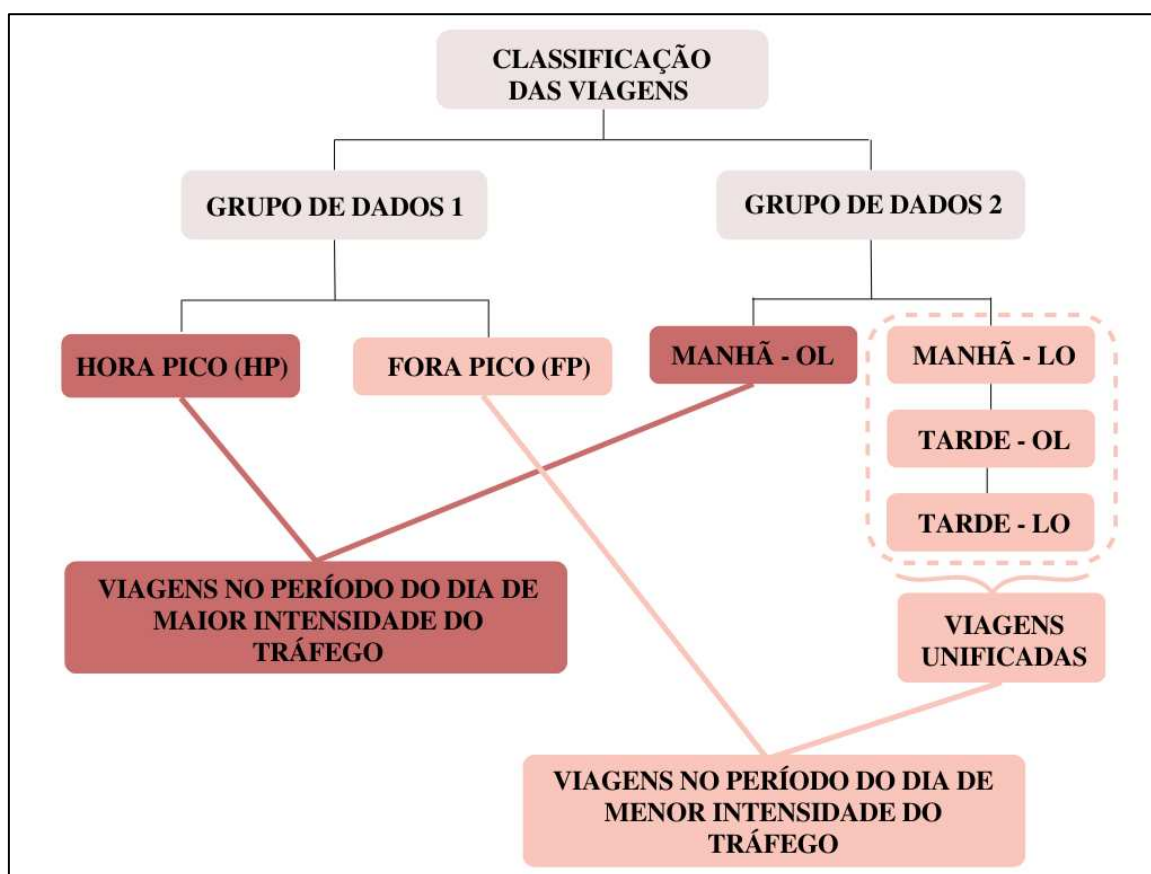
A última etapa da análise dos dados corrobora para o alcance do objetivo específico *c*, visto que foi feita a macroanálise do grupo de dados 2. Em síntese, consistiu em analisar a junção dos dados coletados em todas as viagens, sem distinção de período de maior e menor intensidade do tráfego. Para isso, foi feita a análise descritiva de forma a obter o panorama comportamental das variáveis: emissões de CO_2 e acelerações na totalização da via.

4.3.3 Comparação entre o grupo de dados 1 e o 2

Após o grupo de dados 2 ter sido analisado foi considerado importante comparar os resultados obtidos com a base de dados selecionada no item 4.1.5, como forma

de reforçar a avaliação dos cenários *ex-ante* e *ex-post*, de acordo com Bigazzi e Rouleau (2017). Para melhor compreensão das comparações feitas, a Figura 15 sintetiza o esquema entre as classes de viagens dos grupos de dados 1 e 2. As classes de viagens com mesma intensidade do tráfego foram contrastadas, para verificar os impactos que a redução da velocidade regulamentar causou sobre as emissões da via no contexto operacional atual: viagens HP (grupo de dados 1) e viagens manhã – sentido OL (grupo de dados 2), assim como as viagens FP e viagens unificadas.

Figura 15 - Esquematização da comparação das classes de viagens para os grupos de dados 1 e 2



Fonte: Autor (2022)

Para as comparações relacionadas às variáveis dinâmicas do veículo, isto é: velocidade, aceleração positiva e negativa, assim como as relacionadas aos tempos de viagem, aceleração, desaceleração e parada, as classificações relacionadas às composições dos combustíveis não foram consideradas, ou seja, a classificação das viagens consideradas

foi atrelada à intensidade do tráfego: Hora Pico (HP) e Fora Pico (FP).

Por outro lado, para as considerações dos níveis de emissões de CO₂, foi mantida a classificação original, na qual divide as viagens de acordo com as composições dos combustíveis e considerada, apenas, os dados de emissões da classe E27 – Hora Pico e Fora Pico. Isso, porque, conforme visto no capítulo 3 e destacado por Barlow *et al.* (2009), a composição do combustível influencia os níveis de emissões de poluentes veiculares e não seria coerente unificar as viagens com diferentes composições para essas análises. Além disso, a composição do combustível utilizada no veículo deste trabalho coincide com a classe E27, cujo percentual de gasolina é majoritário (73% de gasolina).

As informações associadas demonstram o panorama em que as emissões veiculares se encontravam quando a velocidade regulamentar da via era 60 km/h e atualmente, de 50 km/h, assim como o da variável dinâmica aceleração, influente nos impactos sobre os picos de emissões de CO₂ por meio de tabelas (EEA, 2016; ROSO, 2016; AZEVEDO *et al.*, 2017).

4.3.4 Elaboração de gráficos amostrais

Nesta etapa metodológica, foram utilizados artifícios visuais para explicar e caracterizar o volume de dados deste trabalho, como por exemplo, por meio de mapas de distribuições obtidos no *software* Qgis, gráfico de barras e ciclos de condução, assim como gráficos de caixas (*box plots*) pelo *software* Excel. Desta forma, tem-se as características dessas aplicações:

- O mapa de distribuição, produzido no *software* Qgis, para cada classe de viagem do grupo de dados 2 serviu para caracterizar e compreender a tendência do comportamento dos dados agregados de emissões de CO₂. A via foi dividida em 27 *links*, nos quais apresentaram segmentos das viagens em que unem os dados de duas variáveis: velocidades (km/h) e emissões de CO₂ (ppm). Cada segmento acumula observações das microviagens e reúne os dados de acordo com suas posições geográficas (latitude e longitude). Assim, foi possível graduá-los e verificar os comportamentos médios de cada variável ao longo da via em suas respectivas classes de viagens. Com isso, foi possível discutir sobre o comportamento das emissões nos dois períodos de intensidade do tráfego em que a coleta de dados ocorreu e organizar os resultados em uma tabela que apresentou os dados comparativos.

- Ciclos de condução: foram construídos ciclos de condução para cada uma

das viagens pelo método das microviagens. Para isso, foram considerados os parâmetros: velocidade x tempo. Foram obtidos, ainda, os perfis de emissões de CO₂. Ademais, se evidenciou os principais parâmetros extraídos dos ciclos de condução segundo Barlow *et al.* (2009). Destaca-se a importância disso para compreender os perfis de condução e emissões do CO₂ em ambas as situações que os dados foram submetidos.

- A aplicação do gráfico de barras ocorreu para avaliar as frequências das acelerações (em módulo) gerais na via, assim como nos dois períodos do tráfego (com o enfoque em resolver o objetivo específico *a*). Para a avaliação da situação geral da via, os dados de todas as classes de viagens foram unificados sem distinção de intensidade do tráfego. Isso resultou em dois gráficos de frequências gerais de acelerações (positivas e negativas) para os dois grupos de dados, com curva de tendência em cada um deles. Por outro lado, para a avaliação de cada período de intensidade do tráfego destacado neste método, foram feitos outros dois gráficos que ressaltaram as frequências dos módulos de acelerações para os dois grupos de dados com distinção do período de intensidade do tráfego, isto é, um gráfico para o grupo de dados 1, no qual realçou as viagens HP e FP, e outro referente ao grupo de dados 2, que evidenciou as viagens manhã – sentido OL e as viagens unificadas.

- A utilização da abordagem do *box plot* se deu por conta de sua capacidade para retratar a simetria dos dados em relação ao valor médio e mediana, assim como a dispersão dos dados e concentração em relação aos quartis, valores mínimos e máximos. Foram feitos dois gráficos: um para comparar as emissões de CO₂ entre as viagens FP e viagens unificadas e outro para as viagens HP e manhã – sentido OL. Eles permitiram associar os valores médios obtidos nas análises com a distribuição dos dados por meio dos mapas de forma representativa e conjunta.

4.3.5 Verificação das hipóteses

Necessitou-se verificar o nível de significâncias estatísticos dos resultados para as comparações feitas entre os dois contextos da via analisados. Vale ressaltar que essa atribuição se dá em relação ao objetivo específico *c*. Dito isso, esta etapa metodológica consiste em apresentar os testes de hipótese sobre os resultados obtidos das comparações sobre as emissões de CO₂ e variável dinâmica: aceleração em módulo, referentes aos dois objetivos específicos *a* e *b*, nesta ordem.

Os procedimentos descritos no subtópico 4.3.1 *Testes de hipóteses* foram replicados, com as alterações pertinentes aos dados e hipóteses levantadas para esta etapa, de tal forma que a Tabela 6 apresentou as hipóteses nula e alternativa testadas e com os resultados expostos no capítulo 5. Por meio delas, foi possível validar as análises estatísticas e os resultados encontrados para os impactos sobre as emissões de CO₂, assim como para as acelerações em módulo. Vale salientar que o teste foi unicaudal, visto que se tem o intuito de averiguar se houve, redução das emissões do poluente veicular e da variável dinâmica apresentados com nível de significância de 5%.

Tabela 6 - Hipóteses utilizadas no teste paramétrico com distribuição t-student para verificação dos resultados das emissões de CO₂ e frequência de acelerações

Parâmetro testado	<i>H₀</i>	<i>H_a</i>
Frequências de acelerações	A diferença das médias de acelerações do grupo de dados 1 e 2 é igual a 0.	A diferença das médias de acelerações do grupo de dados 1 e 2 é maior que 0.
Emissões de CO ₂	A diferença das médias de emissões de CO ₂ do grupo de dados 1 e 2 é igual a 0.	A diferença das médias de emissões de CO ₂ do grupo de dados 1 e 2 é maior que 0.

Fonte: Autor (2022)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo foram apresentados os resultados dos procedimentos descritos

no método deste trabalho. A Figura 16 apresenta os tópicos que sintetizam o conteúdo que foi discutido ao longo desta seção.

Figura 16 - Síntese dos resultados apresentados por objetivos específicos



Fonte: Autor(2022)

5.1 Caracterização da coleta de dados

Conforme citado no capítulo anterior, para organização dessas viagens, os dados foram, inicialmente, divididos em quatro classes por turno e sentido (manhã – OL, manhã – LO, tarde – OL e tarde – LO). Para averiguar se havia, de fato, diferença significativa entre os comportamentos do tráfego das viagens se tem o resultado resumido na Tabela 7, com o nível de significância de 5%.

Os testes individuais de cada sentido e turno coletado está presente no apêndice B.

Tabela 7 - Resultados do Teste de Hipótese entre as classes Manhã e Tarde - sentido OL e

Manhã e Tarde - sentido LO

H_0	t_{obs}	t_c	Conclusão
A diferença entre as médias dos tempos de viagens das classes M – OL e T – OL é igual a 0.	4,874	2,201	Não há evidências estatísticas para aceitar a hipótese nula.
A diferença entre as médias dos tempos de viagens das classes M – LO e T – LO é igual a 0.	0,398	2,223	Não há evidências estatísticas para rejeitar a hipótese nula.


Fonte: Autor (2022)

De acordo com os resultados expostos na tabela 7, com nível de 5% de significância, não há evidências estatísticas para aceitar a hipótese nula de que os tempos de viagem dos dois turnos, para o sentido OL, sejam iguais, isto é, o fluxo do tráfego na via estudada é mais intenso para esta classe de viagens (manhã – sentido OL) no horário das 8:00 às 9:00 horas. De forma contrária, na situação 2, com o mesmo nível de significância, não há evidências estatísticas para rejeitar a hipótese nula em que os tempos dos dois turnos, para o sentido LO, são iguais, isto é, tanto na manhã quanto no período da tarde o fluxo se assemelha.

De forma complementar a estas constatações, foi feita a verificação por meio do Google Trânsito nos dias típicos e horários das coletas. O trânsito típico foi caracterizado e está apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Trânsito típico para os dias, turnos e sentidos da coleta de dados

Dia da Semana	Sentido	Horário Típico	Trânsito Típico
Terça - Feira	Oeste – Leste	8:00 às 9:00	1
	Leste – Oeste		2
	Oeste – Leste	13:00 às 14:00	
	Leste – Oeste		
Quarta - Feira	Oeste – Leste	8:00 às 9:00	
	Leste – Oeste		
	Oeste – Leste	13:00 às 14:00	
	Leste – Oeste		
	Oeste – Leste		

Quinta - Feira	Leste – Oeste	8:00 às 9:00	
	Oeste – Leste		
	Leste – Oeste	13:00 às 14:00	

¹ Escala 1 de intensidade de fluxo. ² Escala 2 de intensidade de fluxo

Fonte: autor (2022)

Com isso, tem-se, tanto pelos testes de hipótese quanto pelas verificações no Google Trânsito, que a intensidade do tráfego é, de fato maior para as viagens manhã – sentido OL e menor para as viagens unificadas (manhã – sentido LO, tarde – sentido OL e tarde – sentido LO). Desta forma, os resultados em diante consideram as classificações das viagens de maior intensidade do tráfego (manhã – OL) e menor (viagens unificadas).

Outro aspecto a ser citado, ainda, é referente aos tempos para as classes de viagens classificadas, cuja importância está no fato de serem parâmetros úteis para compreender o comportamento das variáveis dinâmicas e perfis de emissões veiculares. Para isso, a Tabela 9 sintetiza e caracteriza os tempos médios de viagem, em que o veículo estava parado, acelerando e desacelerando. A discussão deles está detalhada na seção dos resultados referentes ao objetivo *b*.

Tabela 9 - Tempos médios (s) para as classes de viagens do grupo de dados 2 (coletados)

	Tempo Médio de Viagem (s)	Tempo Médio Parado (s)	Tempo Médio Acelerando (s)	Tempo Médio Desacelerando (s)
Manhã – Ida (OL)	419,2	126,9	142,4	134,5
Manhã – Volta (LO)	337,2	78,9	132,2	113,6
Tarde – Ida (OL)	326,3	49,8	135	132,4
Tarde – Volta (LO)	330,6	64,0	134,3	130,4

Fonte: Autor (2022)

5.2 Frequência das acelerações

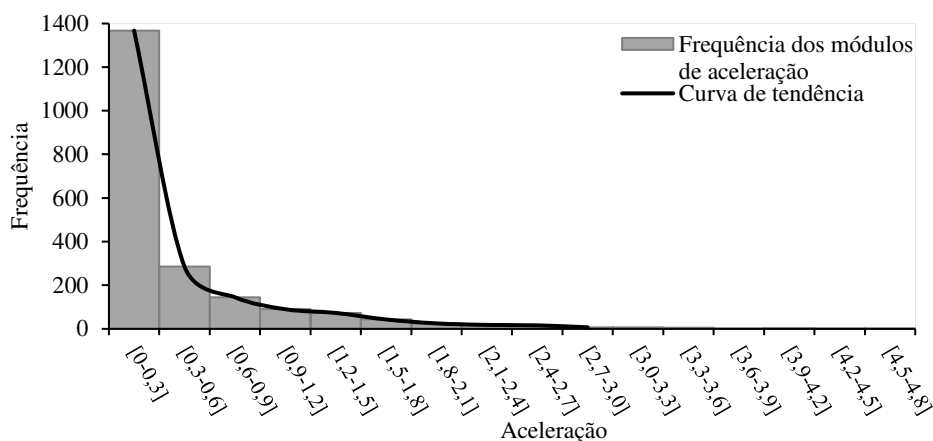
- *Objetivo específico a: Avaliar os efeitos da redução da velocidade regulamentar, baseado em dados reais de tráfego, sobre o gradiente de aceleração em uma via urbana.*

Com o intuito de atingir o objetivo específico *a*, os gradientes das acelerações foram avaliados e discutidos. Isso, para mensurar os impactos que a condição operacional na via resultou sobre as emissões de poluentes veiculares. Visto que essa variável dinâmica,

de acordo com Barlow *et al.* (2009), é fator influente nas emissões de poluentes.

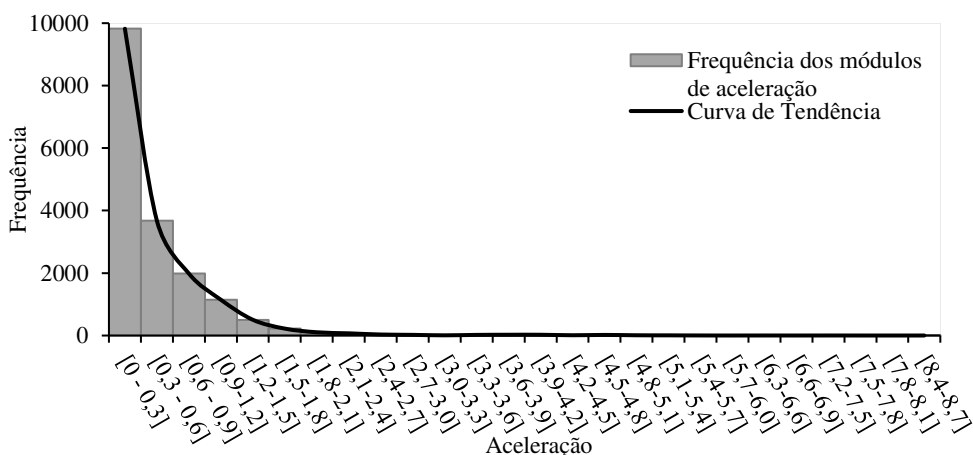
Nos Gráficos 1 e 2 foram plotados os valores agregados gerais para o grupo de dados 1 e 2, respectivamente. Ademais, a Tabela 11 compara os valores médios da base de dados que retrata a condição operacional da via no ano de 2016 (grupo de dados 1) e os dados coletados em 2022 (grupo de dados 2), em que foram considerados os dados unificados, conforme condição apresentada no capítulo anterior, a fim de obter o panorama comportamental geral dessa variável na via.

Gráfico 1 - Frequências dos módulos de acelerações para o grupo de dados 1 sem distinção de classes de viagens



Fonte: Autor (2022)

Gráfico 2 - Frequências dos módulos de acelerações para o grupo de dados 2 sem distinção de classes de viagens



Fonte: Autor (2022)

Os gráficos mostram que as distribuições das frequências das acelerações, em módulo, nas quais ocorrem de forma concentrada nos primeiros a baixos intervalos do

histograma. Ele possui 16 e 26 classes, respectivamente, ambos com incremento de 0,3. Optou-se pelo incremento de 0,3, devida a variabilidade dos valores nas 16 e 26 classes em que os dados foram divididos, com o intuito de obter uma microanálise das acelerações. A diferença entre o número de intervalos pode ser justificada pela diferença amostral que os dois grupos de dados possuem, o que não impede a avaliação, pois o incremento é o mesmo e o número de classes próximo. Além disso, as amostras possuem valores significantes de observações.

É possível verificar, no Gráfico 2, que a curva de tendências se comporta de forma mais suave para o grupo de dados 2, o que remete a transições de velocidades amenas, cuja ocorrência é de forma oposta no grupo de dados 1, no qual a curva indica transições agressivas entre os intervalos do gráfico. Ao analisar os valores da tabela 10, verifica-se que há uma redução de 9,1% da média de acelerações do grupo 2 em relação ao grupo de dados 1, o que reforça a hipótese da homogeneização do tráfego com a redução do limite de velocidade regulamentar.

Tabela 10 - Valores médios agregados das acelerações em módulo dos grupos de dados 1 e grupo de dados 2

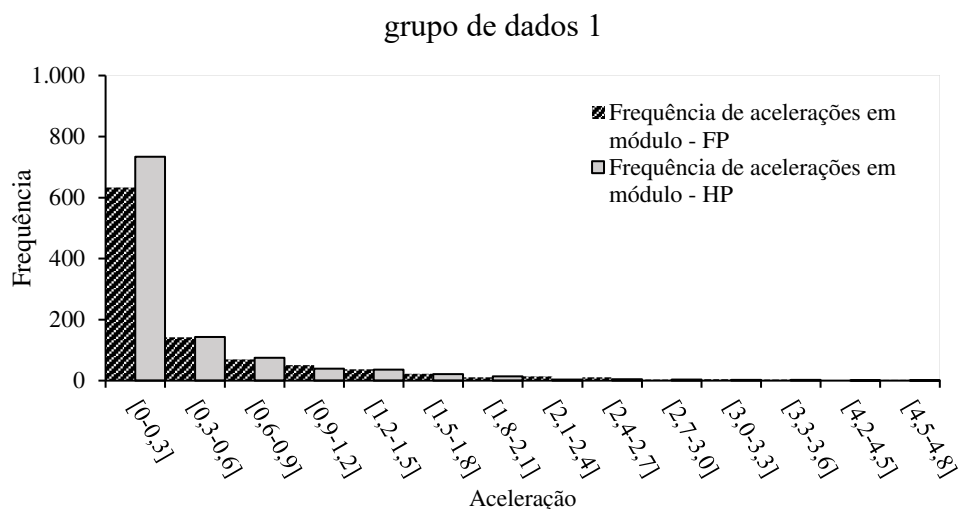
Medidas em m/s²	Grupo de dados 1	Grupo de dados 2
Média	0,44	0,40
Mediana	0,28	0,22
Moda	0,00	0,00
Desvio padrão	0,60	0,56
Variância da amostra	0,36	0,32

Fonte: Autor (2022)

De forma complementar e mais específica, o mesmo procedimento foi replicado para duas situações de comparações individuais. Comparou-se, portanto, as frequências das viagens classificadas em Manhã – Sentido OL (grupo de dados 2) com as viagens de Hora-Pico (grupo de dados 1) e as viagens unificadas do grupo de dados 2 (manhã – sentido LO, tarde – sentido OL e tarde – sentido LO) com as viagens Fora-Pico (grupo de dados 1).

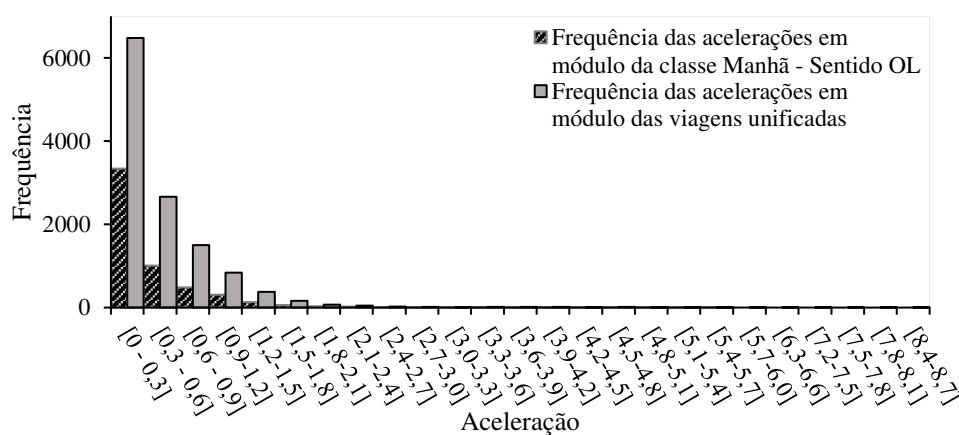
Os Gráfico 3 e 4 apresentam o contraste das duas classes comparadas do grupo 1 e 2, respectivamente.

Gráfico 3 - Frequência dos módulos de aceleração das classes Fora Pico e Hora Pico do



Fonte: Autor (2022)

Gráfico 4 - Frequência dos módulos de aceleração das duas classes de comparação do grupo de dados 2



Fonte: Autor (2022)

De acordo com o Gráfico 3, a classe das viagens Fora Pico representou 62,9% das frequências de aceleração em módulo no menor intervalo das acelerações, assim como a Hora Pico que totalizou 68% delas. A classe de viagens HP concentrou as frequências de acelerações, maiores ou iguais a 1%, nos primeiros sete intervalos, enquanto para a classe de viagens FP o mesmo ocorreu nos primeiros nove intervalos.

Nesse mesmo raciocínio, de acordo com o Gráfico 4, o intervalo mais representativo de ambas as classes de viagens, do grupo de dados 2, foi o mesmo para as classes do grupo de dados 1. Contudo, cabe destacar que o percentual da concentração dentre os intervalos com frequências maiores ou iguais a 1% foi modificado. Nas viagens

Manhã – Sentido OL (grupo de dados 2), em comparação com as viagens HP (grupo de dados 1), foi verificada a concentração de acelerações nos primeiros seis intervalos, o que implica em uma variação menor de acelerações no cenário atual da via, para a velocidade regulamentar de 50 km/h.

Ao replicar esse procedimento nas outras classes comparadas: viagens unificadas (manhã – sentido LO, tarde – sentido OL e tarde – sentido LO) – grupo de dados 2 e viagens FP – grupo de dados 1, foi observado uma redução das variações de acelerações ainda mais significativa. Isto porque, o número de intervalos que concentram as acelerações (intervalos com frequências maiores ou iguais a 1%), foi reduzido para seis.

Esse critério comparativo para as frequências retrata o cenário de que as acelerações com maiores módulos configuram eventos mais raros e isolados da condução para os casos apresentados. Para embasar as discussões, ainda, as Tabelas 11 e 12 demonstram os valores estatísticos baseados nas amostras consideradas.

Tabela 11 - Valores das acelerações em módulo das classes de viagens HP (grupo de dados 1) e Manhã - Sentido OL (grupo de dados 2)

Medidas em m/s ²	Viagens HP (Grupo de dados 1)	Viagens M – OL (Grupo de dados 2)
Média	0,48	0,36
Mediana	0,28	0,17
Moda	0,00	0,00
Desvio padrão	0,64	0,55
Variância da amostra	0,41	0,30

Fonte: Autor (2022)

Com a Tabela 11, é verificada a redução da média das acelerações para as viagens realizadas durante a manhã no sentido OL da Avenida Jovita Feitosa. A redução de 25% dessa medida das acelerações é ainda mais significativa se comparada com a situação geral de todas as viagens agregadas exploradas na Tabela 11, que foi de 9,1%. Assim, o argumento da maior homogeneização, com a redução de 16,67% da velocidade regulamentar para a via, é mais reforçado no cenário de maior volume de tráfego.

A segunda comparação ocorreu entre as viagens no período fora pico do grupo de dados 1 e as viagens unificadas (manhã - LO, tarde - OL e tarde – LO) do grupo de dados 2, de acordo com a Tabela 12.

Tabela 12 - Valores das acelerações em módulo das classes de viagens FP (grupo de dados

1) e viagens unificadas (manhã - LO, tarde - OL e tarde – LO; grupo de dados 2)

Medidas em m/s ²	Viagens FP (Grupo de dados 1)	Viagens unificadas (Grupo de dados 2)
Média	0,40	0,42
Mediana	0,28	0,25
Moda	0,00	0,00
Desvio padrão	0,56	0,56
Variância da amostra	0,31	0,32

Fonte: Autor (2022)

Os resultados se comportam de forma semelhante para as duas classes comparadas, cujo indicativo, por essa análise, é de que não houve diferenças significativas com a redução da velocidade regulamentar para o período cujo volume do tráfego não é intenso na via. Isso pode ser visto pela variação das médias, nas quais se diferenciam em apenas 4,8%, cerca de metade do valor observado para a situação geral de 9,1% que aborda ambos os períodos do dia.

Com isso, essa avaliação do comportamento do gradiente de aceleração se mostrou mensurável com a análise desenvolvida neste tópico e os impactos da redução da velocidade regulamentar na via apresentaram impactos redutores sobre o comportamento dessa variável dinâmica influente para as emissões, de forma mais significativa, no período de maior volume do tráfego.

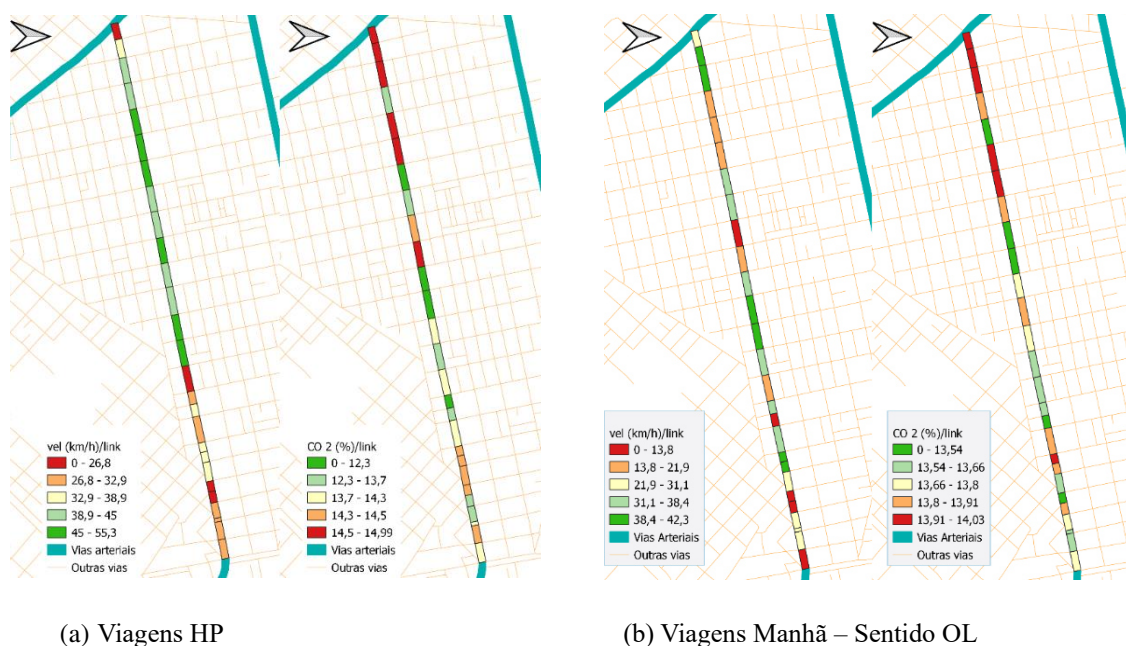
5.3 Comparação das emissões de poluentes veiculares

- *Objetivo b: comparar as emissões do poluente CO₂ antes e após a redução da velocidade regulamentar em via urbana.*

5.3.1 Período do mais intenso do tráfego na via

Neste primeiro subtópico, o mapa de distribuição dos dados foi feito para a classe de viagens HP, do grupo de dados 1 e manhã – sentido OL, grupo de dados 2, e está representado na Figura 17 - (a, b). O mapa correlaciona duas variáveis e gradua os resultados médios de cada segmento em um espectro de cores, nas quais a verde apresenta níveis menores de CO₂ (10⁵ ppm) e o vermelhos níveis maiores deles. Em contrapartida, o espectro é invertido para a variável velocidade, cujos maiores valores são representados pelas cores frias (verde claro e escuro).

Figura 17 – (a, b) Distribuição dos valores médios de emissões de CO_2 (%) e velocidade (km/h) para as viagens HP e Manhã – sentido OL

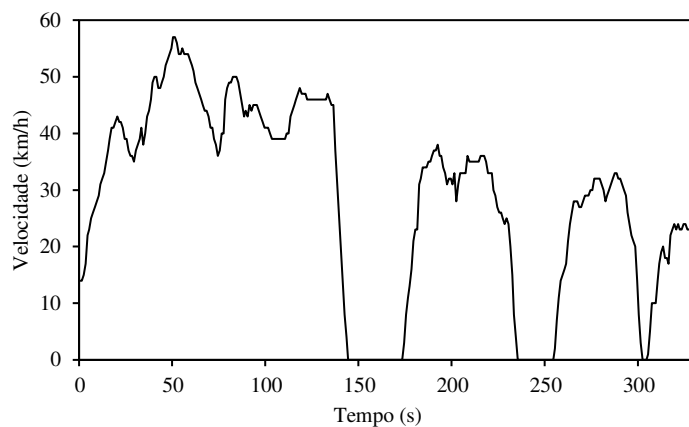


Fonte: Autor (2022)

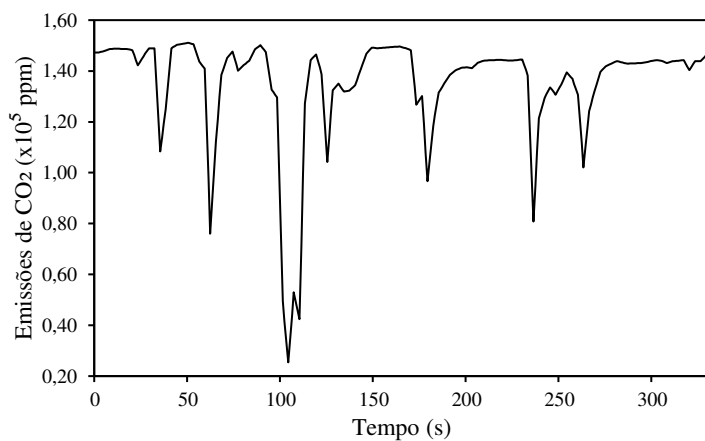
A análise dos mapas de distribuição estimula a discussão dos parâmetros apresentados, visto que o comportamento das duas classes apresentadas na Figura – a e b possui o mesmo percentual de segmentos para os maiores valores médios de emissões de CO_2 (%). Contudo, para o grupo de dados 2, os níveis médios do poluente se mantiveram baixos e/ou constantes em 3,8% dos segmentos a mais que o grupo de dados 1, isto implica dizer que as transições de velocidades ocorreram de forma mais suave. Somado ao fato de que foi verificada a diferença de 3,7% a mais de segmentos esverdeados com os menores valores médios de emissões de CO_2 para o grupo de dados 2 em relação ao 1.

Os parâmetros que influenciam essas diferenças do comportamento dos níveis de CO_2 podem ser associados, ainda, aos perfis de condução dos dois contextos operacionais da via. Os Gráficos 5 – a e 5 – b, para uma amostra de viagem do grupo de dados 1, e 6 – (a, b), para o grupo de dados 2, nos quais apresentam os ciclos de condução com os perfis de velocidade e emissões de CO_2 , respectivamente, seguidos dos principais parâmetros médios das viagens de ambas as classes comparadas: HP e manhã – sentido OL, na Tabela 13.

Gráfico 5 (a, b) - Perfil de condução para uma amostra de viagem da classe HP

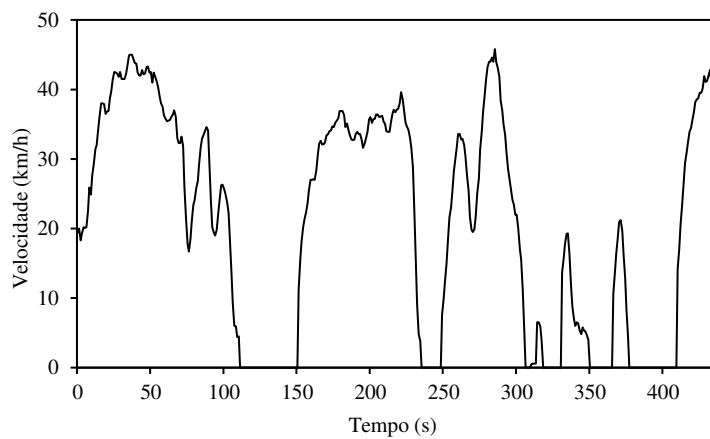


(a) Perfil de velocidade ao longo do tempo

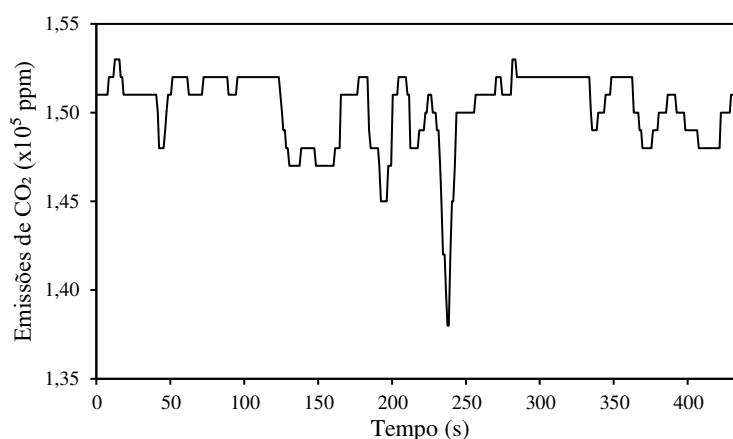
(b) Perfil de emissões de CO₂ ao longo do tempo

Fonte: Autor (2022)

Gráfico 6 (a, b) - Perfil de condução para uma amostra de viagem da classe Manhã - Sentido OL



(a) Perfil de velocidade ao longo do tempo

(b) Perfil de emissões de CO₂ ao longo do tempo

Fonte: Autor (2022)

Tabela 13 - Parâmetros médios das classes de viagens Manhã - Sentido OL (grupo de dados 2) e HP (grupo de dados 1)

Variáveis	HP - Grupo de dados 1	Manhã - OL – Grupo de dados 2
Tempo de percurso (s)	359	419
Tempo parado (s)	74	127
Tempo acelerando (s)	118	142
Tempo desacelerando (s)	96	134
Velocidade média (km/h)	28,43	21,53
Aceleração média (m/s ²)	0,61	0,52
Desaceleração média (m/s ²)	-0,75	-0,55
Desvio Padrão – Velocidade (km/h)	19,51	16,93
Desvio Padrão – Aceleração (m/s ²)	0,43	0,66
Desvio Padrão – Desaceleração (m/s ²)	0,71	0,51

Fonte: Autor (2022)

As observações das classes de viagens, em geral, demonstraram aumentos de 14,3%, 16,9%, 28,36% e 41,7% nos tempos de percurso, aceleração, desaceleração e parada para o grupo de dados 2, nessa ordem. Por outro lado, foi constatado a redução de 14,8% e 26,7% nas acelerações e desacelerações no contexto atual da via (grupo de dados2).

Ao avaliar o gráfico 6 – b, em que evidencia o perfil de emissões de CO₂ do contexto atual da via para o período de maior intensidade do tráfego, verificam-se 6 paradas

no perfil de condução amostral representado no Gráfico 6 – a, em que correspondem aos momentos de picos de CO₂. Essa associação pode ser explicada pelos *stop and go* da condução veicular, isto é, eventos em que o veículo se encontra parado e acelera ou desacelera, nos quais favorecem os picos de emissões de poluentes de acordo com Capiello (2002).

De forma comparativa, por mais que o ciclo de condução, apresentado no Gráfico 5 – a, possua número de paradas, tempo de percurso, de aceleração e desaceleração menores, a Tabela 13 mostra que há gradientes maiores de aceleração desenvolvidos nas viagens do grupo de dados 1, isto é, a velocidade regulamentar de 60 km/h favorecia maiores gradientes de acelerações para o período de maior intensidade do tráfego. O efeito disso está constatado na Tabela 14 com emissões de CO₂ mais uniformes em relação à média.

Tabela 14 - Emissões médias de CO₂ das classes de viagens Manhã - Sentido OL (grupo de dados 2) e HP (grupo de dados 1)

Emissões de CO₂ (10⁵ ppm)	HP (Grupo de dados 1)	Manhã – OL (Grupo de dados 2)
Média	1,351 ¹	1,364
Mediana	1,430 ¹	1,350
Moda	1,490 ¹	1,520
Desvio Padrão	0,213 ¹	0,115
Mínimo	0,254 ¹	0,580
Máximo	1,510 ¹	1,540

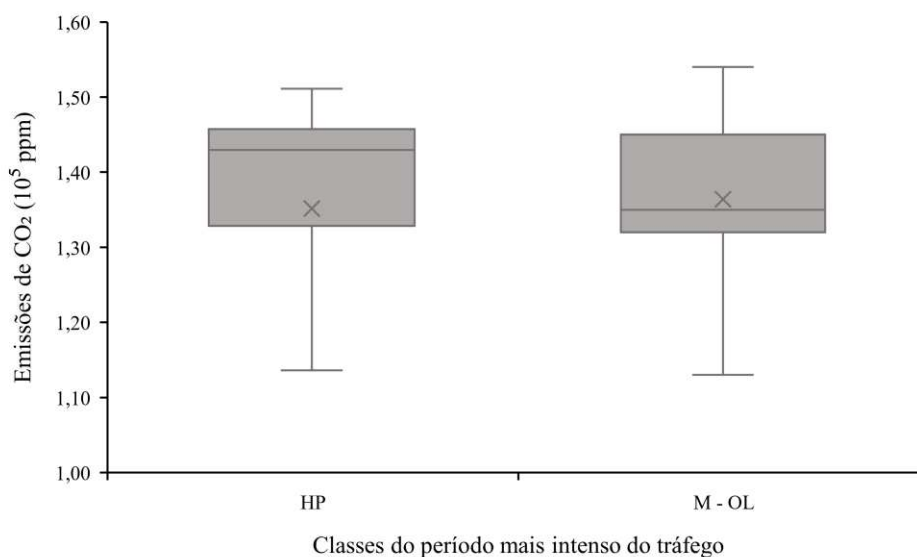
¹ Dados referentes à classe de viagem E27 – Hora Pico do Cassiano (2016).

Fonte: Autor (2022)

Ao considerar o período de maior intensidade do tráfego, apesar da média das emissões não apresentar redução, foi notado a diminuição do desvio padrão de 46%, isto é, no atual contexto operacional da via (representado pelo grupo de dados 2) o poluente CO₂ tende a ter o comportamento mais previsível, visto que os valores estão mais concentrados no valor médio.

Por meio do gráfico 7, tem-se, ainda, o comportamento das dispersões dos dados para as emissões de CO₂, apresentado de forma visual, para as classes comparadas, o que permite melhor compreensão do resultado acerca do desvio padrão do poluente.

Gráfico 7 - Dispersão do poluente CO_2 para as classes de viagens Manhã - Sentido OL (grupo de dados 2) e HP (grupo de dados 1)



Fonte: Autor (2022)

Pelo Gráfico 7, as viagens HP do grupo de dados 1 são caracterizadas por uma distribuição assimétrica positiva dos dados, pois a mediana se encontra próxima ao terceiro quartil, enquanto para as viagens manhã – OL, a distribuição dos dados é assimétrica negativa. O impacto dessa análise é devido a média aritmética ser uma medida de tendência central sensível aos valores extremos. Portanto, a mediana se torna um parâmetro mais indicado quando o comportamento da distribuição dos dados é assimétrico, conforme é este caso. Desta forma, a redução do valor da mediana em 5,59% para o grupo de dados 2 em relação ao 1.

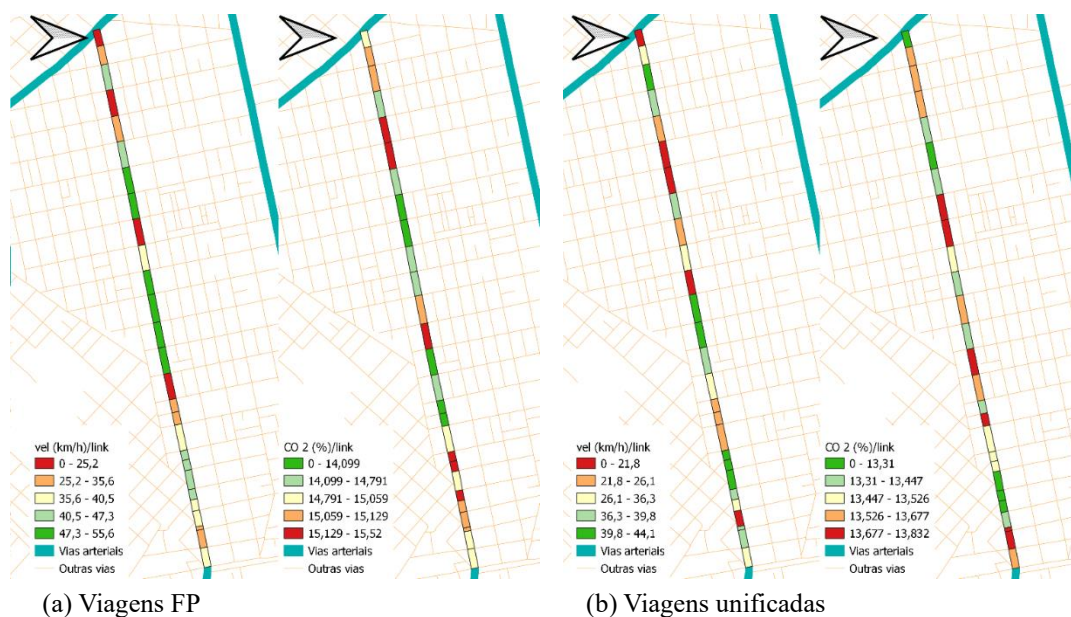
É notado, inclusive, que o terceiro quartil dos dados das viagens do contexto atual da via (manhã – sentido OL), associado a redução da mediana, está mais distante do valor máximo apresentado no gráfico, o que condiz que a incidência de maiores níveis emissões de CO_2 foi diminuída e com, isso, há o favorecimento de melhores condições da qualidade do ar local.

5.3.2 Período menos intenso do tráfego na via

Para o período de menor intensidade do tráfego na via, é apresentado os resultados e discussões que seguiram a lógica desenvolvida para o panorama dos dados referentes ao período de maior intensidade do tráfego (viagens HP e manhã – OL). A Figura

18 contrasta e demonstra a distribuição dos valores médios para as viagens FP, grupo de dados 1 e unificadas, grupo de dados 2.

Figura 18 - Distribuição dos valores médios de emissões de CO_2 (%) e velocidade (km/h) para a classe de viagens FP - grupo de dados 1 (a) e viagens unificadas – grupo de dados 2 (b)



Fonte: Autor (2022)

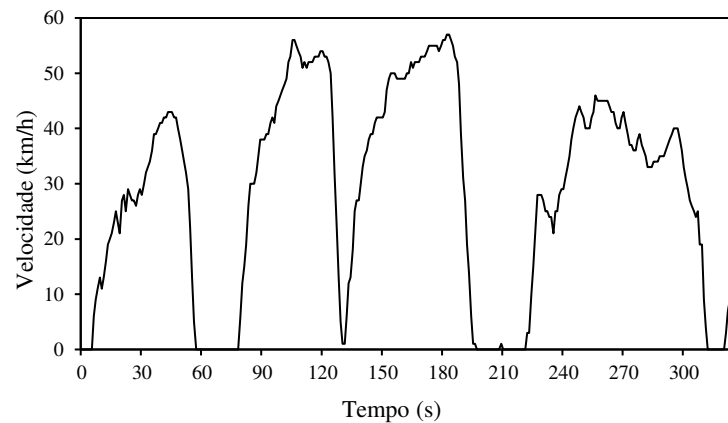
Uma das diferenças verificadas para a velocidade foi a diminuição de segmentos com graduações maiores para a classe de viagens unificadas em relação às viagens FP. O impacto da redução da velocidade regulamentar sobre o comportamento da velocidade média do fluxo é explicado pelas teorias empíricas literárias sobre a homogeneização do tráfego Smulders (1990), Zackor (1991), van den Hoogen e Smulders (1994) e observado na comparação desses dois cenários. Outro aspecto importante a ser citado é que os níveis de CO_2 apresentam diminuição, em geral, no trajeto evidenciado conforme observado na Figura 18 - b, com graduações dos segmentos mais esverdeadas, além delas estarem com picos de emissões menores em relação ao demonstrado na Figura 18 - a.

Para os níveis médios de CO_2 nas duas menores graduações (cores esverdeadas), foi observado o aumento de 3,7% de segmentos com essas características para o grupo de dados 2. De forma semelhante à discussão levantada na seção 5.3.1, para o período de maior intensidade do tráfego, as maiores graduações de CO_2 apresentam comportamentos em comum, como o fato de ocorrerem quando há mudanças bruscas na

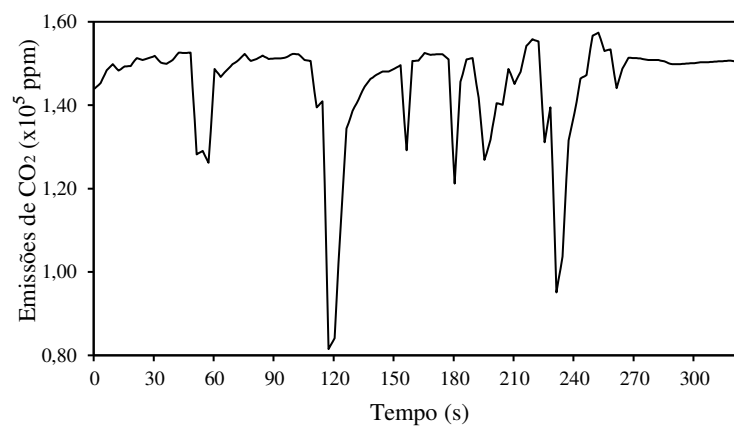
velocidade, sejam para acelerações ou desacelerações do veículo.

De forma complementar a essas discussões abordadas, tem-se as análises dos ciclos de condução para a classe de viagem do FP e uma amostra das viagens unificadas, nos Gráficos 8 (a, b) e Gráfico 9 (a, b), respectivamente.

Gráfico 8 - (a, b) - Ciclo de condução para uma amostra de viagem FP



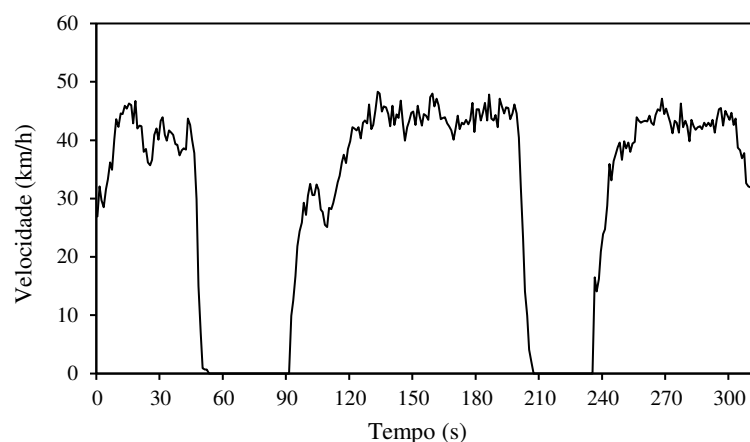
(a) Perfil de velocidade ao longo do tempo



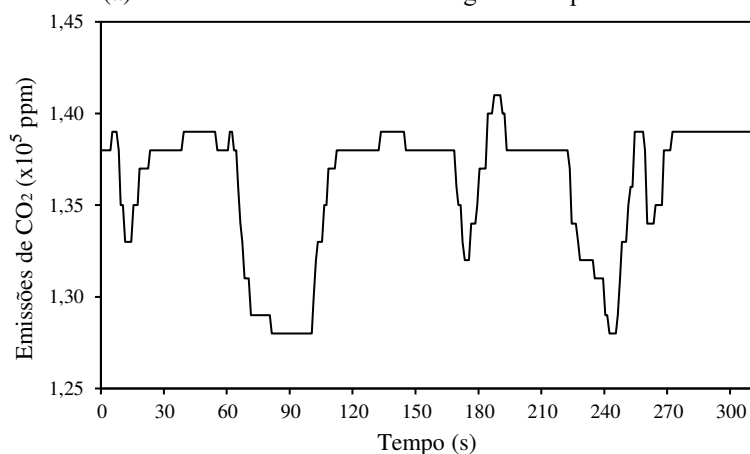
(b) Perfil de emissões de CO₂ ao longo do tempo

Fonte: Autor (2022)

Gráfico 9 - (a, b) - Ciclo de condução para uma amostra de viagens unificadas



(a) Perfil de velocidade ao longo do tempo

(b) Perfil de emissões de CO₂ ao longo do tempo

Fonte: Autor (2022)

Destaca-se, pelo gráfico 7 – a e 8 – a, o perfil de velocidade com redução de metade das paradas para o grupo de dados 2, isto é, a condução se mostrou mais fluida no trajeto no contexto operacional atual da via. Os impactos disso pode ser observado nos gráficos 7 – b e 8 – b, uma vez que, neste, os níveis de emissões se comportaram de forma mais uniforme em comparação com aquele, isto é, as dispersões de emissões de CO₂ foram minimizadas para o contexto operacional atual da via com velocidade regulamentar de 50 km/h.

Associam-se os resultados da Tabela 15 às discussões supracitas, na qual explicita os parâmetros médios das classes que compõe as viagens unificadas no grupo de dados 2, assim como as viagens FP do grupo de dados 1, baseadas nos ciclos de conduções das viagens de cada classe.

Tabela 15 - Parâmetros médios das classes de viagem Manhã e Tarde (sentidos OL e LO) e viagens unificadas do grupo de dados 2 e viagens FP do grupo de dados 1

Parâmetros	FP (Grupo de dados 1)	Viagens unificadas (Grupo de dados 2)
Tempo de percurso (s)	334	331,4
Tempo parado (s)	70	64,6
Tempo acelerando (s)	139	133,8
Tempo desacel. (s)	104	125,5
Velocidade (km/h)	29,43	27,59
Aceleração (m/s ²)	0,71	0,53
Desaceleração (m/s ²)	-0,86	-0,56
Desv. Pad. – Vel (km/h)	20,93	16,84
Desv. Pad. – Aceleração (m/s ²)	0,49	0,65
Desv. Pad. – Desaceleração (m/s ²)	0,84	0,51

Nota-se, Tabela 15, diferenças entre os parâmetros velocidade, aceleração e emissões de CO₂, assim como os tempos de viagem, de parada e aceleração, desaceleração. No cenário operacional atual da via, as viagens unificadas, do grupo de dados 2, demonstraram diminuição em relação aos tempos de 0,78%, 7,71%, 3,74%, respectivamente. Para o tempo de desaceleração, por outro lado, teve um aumento de 17,13% em relação às viagens FP do grupo de dados 1. Entretanto, as acelerações e desacelerações médias das viagens unificadas foram reduzidas em 25,4 e 34,9%.

A Tabela 16 apresenta a análise descritiva feita para o CO₂, e acrescenta argumentos para a discussão acerca da comparação dos dados de emissões de CO₂ entre o contexto anterior e posterior à redução da velocidade regulamentar.

Tabela 16 - Emissões médias de CO_2 das classes de viagens unificadas (grupo de dados 2) e FP (grupo de dados 1)

Emissões de CO_2 (10^5 ppm)	FP – Grupo de dados 1	Viagens unificadas – Grupo de dados 2
Média	1,450 ¹	1,346
Mediana	1,500 ¹	1,350
Moda	1,508 ¹	1,350
Desvio Padrão	0,125 ¹	0,099
Mínimo	0,815 ¹	0,300
Máximo	1,574 ¹	1,550

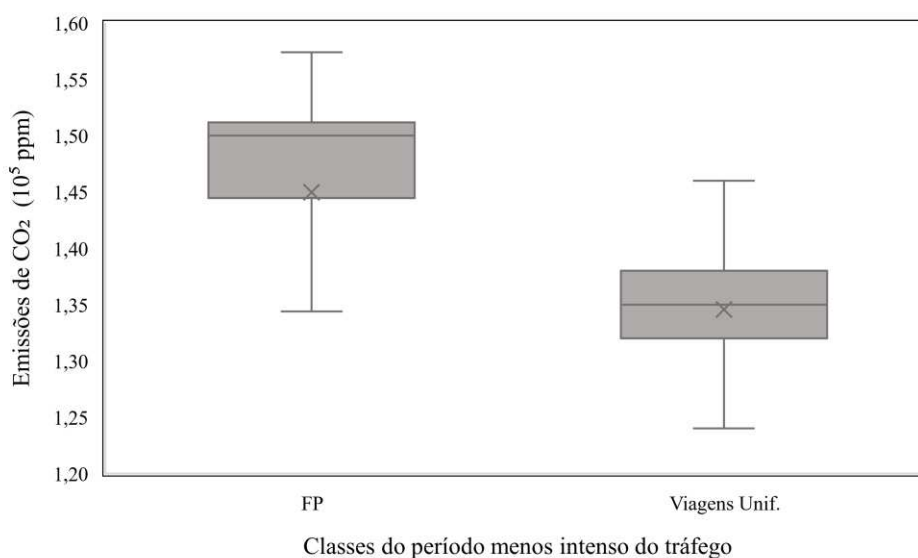
¹ Dados referentes à classe de viagem E27 – Fora Pico.

Fonte: Autor (2022)

Os efeitos das acelerações menos agressivas observadas são refletidos na redução, tanto na média das emissões de CO_2 , quanto na dispersão desse poluente na via, nessa ordem, de 7,2 e 21% para o grupo de dados 2, de acordo com a Tabela 16. Isso remete a um cenário com níveis mais amenos desse poluente nos períodos em que há menor intensidade do tráfego na via e, assim, apresenta impactos positivos na qualidade do ar.

Acerca do comportamento das emissões, é demonstrado de forma visual, no Gráfico 10, os dados distribuídos e separados pelas classes de viagens analisadas nesta seção.

Gráfico 10 - Dispersão do poluente CO_2 para as classes de viagens unificadas (grupo de dados 2) e FP (grupo de dados 1)



Fonte: Autor (2022)

Por meio do Gráfico 10, é notada a maior simetria para o grupo de dados 2, representado pela classe de viagens unificadas, em que é visto pela média aritmética próxima à mediana. Outro aspecto interessante é que na condição operacional atual da via, o terceiro quartil se encontra mais distante do valor máximo dos dados, o que implica que 75% das emissões ocorrem abaixo de 1,38 (10^5) ppm, enquanto para o grupo de dados 1, isso ocorre abaixo do valor 1,51 (10^5) ppm.

Portanto, esse nível médio mais baixo de emissões de CO_2 , com menores dispersões, condizem com o impacto de melhoria na qualidade do ar que a redução de 16,67% da velocidade regulamentar, isto é, de 60 km/h para 50 km/h, causou para o período menos intenso do tráfego na via.

5.4 Verificação da significância dos resultados

- *Verificar a relevância estatísticas dos resultados acerca dos impactos da redução da velocidade regulamentar sobre os níveis de emissões CO_2 em via urbana.*

Com esses resultados e discussões, visa-se resolver o objetivo c. Para isso, à princípio, tem-se a apresentação do quadro comparativo geral que retrata a análise descritiva feita para todas as viagens juntas dos grupos de dados 1 e 2, respectivamente, sem distinção de período de maior ou menor intensidade do tráfego. Os resultados foram representados na Tabela 17.

Tabela 17 - Quadro comparativo geral do grupo de dados 1 e 2 para as emissões de CO_2

Valores médios de emissões de CO_2 em (10^5 ppm)	Grupo de dados 1 (viagens FP e HP)	Grupo de dados 2 (viagens M – OL e viagens unificadas)
Média	1,400	1,351
Mediana	1,451	1,350
Moda	1,508	1,350
Desvio Padrão	0,182	0,104
Mínimo	0,254	0,300
Máximo	1,574	1,550

Fonte: Autor (2022)

Verifica-se a diferença entre os níveis de emissões de CO₂ e os testes de hipóteses a seguir servem para averiguar se é significativa na comparação dos dois contextos operacionais da via de estudo e para a condição geral da via. Desta maneira, para os resultados encontrados e por meio das hipóteses levantadas no item 4.3.4, tem-se os resultados sintetizados na Tabela 18, para o nível de significância de 5%.

Tabela 18 - Verificação da diferença de emissões de CO₂ entre os grupos 1 e 2

Parâmetro	Hipótese nula	t_{obs}	t_c	Conclusão
Emissões de CO ₂	A diferença das médias para o grupo de dados 1 e 2 é igual a 0.	6,856	1,647	Ao nível de significância de 5% não há evidências estatísticas para aceitar a hipótese nula.

Fonte: Autor (2022)

Deste modo, foi confirmada e testada a hipótese de que houve diminuição da emissão de CO₂ para a condição operacional vigente da via do estudo de caso apresentada em que constitui a hipótese nula sendo rejeitada. Com o nível de significância de 5%, há, de fato, a redução dos níveis de emissões de CO₂ para o cenário operacional atual, na média e desvio padrão, por essa ordem, de 3,5 e 42,5%. Com a ressalva de que essa redução apresentada é sem distinção do período de menor e maior intensidade do tráfego.

Ao replicar para testes nos módulos de acelerações, tem-se, na Tabela 19, o quadro comparativo para as frequências gerais dos dois grupos de dados dessa variável e o resultado do teste de hipóteses na Tabela 20.

Tabela 19 - Quadro comparativo geral do grupo de dados 1 e 2 para as frequências de acelerações

Valores médios das frequências de acelerações (m/s ²)	Grupo de dados 1 (viagens FP e HP)	Grupo de dados 2 (viagens M – OL e viagens unificadas)
Média	0,44	0,40
Mediana	0,28	0,22
Moda	0,00	0,00
Desvio Padrão	0,60	0,56
Mínimo	0,00	0,00
Máximo	4,70	8,53

Fonte: Autor (2022)

Tabela 20 - Verificação da diferença dos módulos das acelerações entre aos grupos 1 e 2

Parâmetro	Hipótese nula	t_{obs}	t_c	Conclusão
aceleração	A diferença das médias para o grupo de dados 1 e 2 é igual a 0.	2,422	1,645	Com nível de significância de 5%, não evidências estatísticas para aceitar a hipótese nula.

Fonte: Autor (2022)

Portanto, foi confirmada e testada a hipótese de que houve diminuição das acelerações para a condição operacional vigente da via do estudo de caso apresentada, em que constitui evidências de que, de fato, há diferença entre as médias para essa variável. Com o mesmo intervalo de significância da análise anterior, a Avenida Jovita Feitosa apresenta redução da média de acelerações (positivas e negativas agregadas) de 9,1% para o atual contexto operacional da via que reduziu 16,67% da velocidade regulamentar.

6 CONCLUSÕES

O sistema de transporte é o principal contribuinte para as emissões de poluentes do setor de energia no Brasil. Com a crescente da frota veicular, os impactos sobre os níveis de poluentes veiculares devem ser evidenciados e analisados, com o intuito de mensurar e diminuir os efeitos e consequências que eles causam no meio ambiente e na saúde humana. Em paralelo a isso, as intervenções no trânsito em vias urbanas, tal como a redução da velocidade regulamentar, tornou-se temática importante da segurança viária e instrumento recorrente de controle do tráfego. Visto que isso afeta o comportamento do tráfego e, por consequência, o perfil de condução, as emissões de poluentes veiculares são impactadas.

Neste viés, mensurar as implicações dessa modificação do comportamento no tráfego em vias urbanas sobre as emissões de poluentes veiculares é importante como forma de avaliar a qualidade do ar e o contexto em que os centros urbanos passaram a ser inseridos. Isso faz com que políticas públicas acionem medidas de controle, nas quais sejam capazes de limitar as taxas de emissões do poluente CO₂ por exemplo.

Face ao problema apresentado, o objetivo geral deste estudo foi analisar os efeitos sobre os níveis de emissões de poluentes veiculares oriundos da redução da velocidade regulamentar em via urbana.

6.1 Questões de pesquisa e conclusões

Diante do exposto, foi analisado o contexto anterior e posterior à intervenção no tráfego que ocorreu com a redução de velocidade regulamentar sobre as emissões de poluentes veiculares, em particular o CO₂. Por meio da avaliação do comportamento do gradiente de aceleração, em condições reais de tráfego, fator influente sobre as emissões, e assim como a avaliação dos impactos que essa mudança no tráfego acarretou nos níveis de emissões, foram embasados os questionamentos que direcionaram essa pesquisa.

- *Qual o impacto, baseado em dados reais de tráfego, da redução da velocidade regulamentar sobre o gradiente de aceleração em uma via urbana?*

O uso de equipamentos embarcados na coleta de dados na via de estudo possibilitou a caracterização das variáveis em condições reais do tráfego, com foco na aceleração. Em geral, para a redução de 16,67% da velocidade regulamentar na via, houve a diminuição de 9,1 e 6,67% para a média e desvio padrão das acelerações sem distinção

de período do dia.

Para o período de maior intensidade do tráfego, as reduções da média e desvio padrão foram de 25 e 14,06% para a velocidade regulamentar vigente de 50 km/h. Enquanto no período de menor intensidade do tráfego, os impactos foram mais discretos.

- *Qual a relação entre os níveis de emissões de CO₂ antes e após a redução da velocidade regulamentar em períodos distintos do dia na via urbana?*

A relação entre os níveis de CO₂ para os cenários anterior e posterior à redução de velocidade regulamentar foi identificada e discriminada. Com isso em vista, para a comparação entre o período de menor intensidade do tráfego, a redução de 16,67% da redução de velocidade regulamentar, fez com que as emissões médias de CO₂ decaíssem 7,2%. Em sequência, para o período de maior intensidade do tráfego

Com enfoque na situação geral da via, pode-se concluir que o comportamento do CO₂ está mais uniforme e tendendo ao valor médio, que, inclusive, foi reduzido no cenário operacional atual da via.

- *Como os impactos gerados pela redução da velocidade regulamentar sobre as emissões de CO₂ e tráfego podem ser validados para a via urbana?*

Por meio da validação dos resultados, foi possível mensurar, de forma significativa, os impactos que a redução de 16,67% da velocidade regulamentar causou sobre o comportamento do tráfego e emissões do poluente CO₂. Os níveis médios de CO₂ no ar local analisado foi reduzido em 3,5% para a velocidade regulamentar vigente de 50 km/h. Assim como para o poluente veicular CO₂, o comportamento do tráfego se mostrou mais homogêneo, com diferenças significativas entre o gradiente de aceleração dos contextos considerados, observado pela redução de 9,1% das acelerações na via.

Com essas constatações, verifica-se melhora nos níveis de emissões de CO₂ e, por consequência, na qualidade do ar local, assim como modificação do comportamento geral do tráfego na via, uma vez que, as variáveis dinâmicas analisadas mostraram resultados que convergem para uma condição mais homogênea no trânsito no trecho estudado.

Este trabalho construiu perfis de condução em dois períodos distintos do tráfego, com aspectos locais considerados, tais como tipo de via e veículo, assim como o limite vigente de velocidade regulamentar, dentre outros para a Avenida Jovita Feitosa, na cidade

de Fortaleza – CE. Isso contribuiu para estabelecer um conjunto de ferramentas de análises úteis para tomada de decisões e definições estratégicas de operação e planejamento de tráfego local baseadas em parâmetros ambientes que favorecem a qualidade do ar local.

6.2 Limitações de pesquisa

Mesmo com o esforço de representar as condições reais do tráfego e avaliar os dois contextos para o cenário operacional de uma via urbana, existiram limitações nesta pesquisa. Pode-se citar o fato de ter sido utilizado um veículo de marca divergente, assim como o condutor que foi modificado para as duas bases de dados comparadas. Além disso, a ausência da sonda *Pitot* dentre os equipamentos embarcados que possibilitaria representar a unidade de medida do CO₂ de forma mais usual, como em g/km ou g/s.

6.3 Sugestões de trabalhos futuros

Como trabalhos futuros, sugere-se avaliar os impactos da redução da velocidade de outros poluentes, tais como: HC e NOX em vias urbanas. Acrescenta-se a análise comparativa para uma amostra de mais de um perfil de condução, com enfoque em avaliar os comportamentos das emissões de poluentes veiculares para diferentes condutores com a abordagem de ciclos de condução. Por fim, analisar as influências da redução do limite de velocidade regulamentar sobre as emissões veiculares para classificações hierárquicas viárias distintas, como: arterial e coletora.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6601: Veículos rodoviários automotores leves - Determinação de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, dióxido de carbono e material particulado no gás de escapamento**. Rio de Janeiro, 2012. 57 p.

ANDRÉ, M. **The ARTEMIS European Driving Cycles for Measuring Car Pollutant Emissions**. Science of the Total Environment, v. 73, p. 334-335, 2004.

AZEVEDO, J. A. H., CASSIANO, D. R., FEITOSA, B. B., DE OLIVEIRA, M. L. M., LIMA, E. P., BERTONCINI, B. V. **Influências dos modos de operação nas emissões de poluentes provenientes de veículos flex em região urbana**. TRANSPORTES, 25(2). 2017.p. 91–100. <https://doi.org/10.14295/transportes.v25i2.1304>.

AZEVEDO, J. A. H. **Proposta metodológica para elaboração de fatores de emissão de veículos de carga a partir de perfis de condução**. Tese (Doutorado em Engenharia de transportes). Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2019.

BARLOW, T.; LATHAM, S.; MCCRAE, I. S.; BOULTER, P. G. **A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions**. 2009. 280p.

BERTONCINI, B. V., QUINTANILHA, W. F. L., RODRIGUES, L. A., CASSIANO, D. R., RIBEIRO, J. P., ECAVALCANTE, R. M. **Onboard analysis of vehicle emissions in urban ways with different functional classifications**. Urban Climate 39, p.10, 2021.

BIGAZZI, A. Y., ROULEAU M. **Can traffic management strategies improve urban air quality? A review of the evidence**. Journal of Transport & Health, p. 124, 2017.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética, EPE. **Demanda de Energia dos Veículos Leves: 2021-2030**, de dezembro de 2020. Acesso em: 04/10/2022.

BRASIL. Instituto de Energia e Meio Ambiente, IEMA. **As emissões brasileiras de gases de efeito estufa nos setores de Energia e de Processos Industriais em 2019**, de dezembro de 2020. Acesso em: 20/05/2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 491/2018**, de 19 de novembro de 2018. Acesso em: 06/06/2022.

CASSIANO, D. R. **Avaliação das emissões poluentes de um veículo flex em percurso Real urbano e rodoviário no Ceará**. Dissertação (mestrado em Ciências Físicas) -

Universidade Estadual do Ceará, Ceará, 2016.

CARVALHO JR., J. A.; LACAVALA, P. T. **Emissões em Processos de Combustão**. Edição 1. São Paulo, UNESP, 2003.

DAHAM, B., ANDREWS, G., LI, H., BALLESTEROS, R., BELL, M., TATE, J., ROPKINS, K. **Application of a Portable FTIR for Measuring On-road Emissions**. SAE Technical Paper Series Paper no. 2005-01-06, 2005.

DEARTH, M.A., BUTLER, J.W., COLVIN, A., GIERCZAK, C., KABERLINE, S., KORNISKI, T. **SemtechD: The Chassis Roll Evaluation of a Commercial Portable Emission Measurement System (PEMS)**. SAE Technical Papers Series Paper no. 2005-04-11, 2005.

DNIT 2006 Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/723_manual_estudos_trafego.pdf. Acessado em: 13/09/2022

DURBIN, T., JOHNSON, K., COCKER III, D., MILLER, J., MALDONADO, H., SHAH, A., ENSFIELD, C., WEAVER, C., AKARD, M., HARVEY, N. **Evaluation and comparison of portable emissions measurement systems and federal reference methods for emissions from a back-up generator and a diesel truck operated on a chassis dynamometer**. Environmental Science & Technology 41, p. 6199-6204, 2007.

EI-HANSALI, Y., FARRAG, S., YASAR, A., MALIK, H., SHAKSHUKI E., AL-ABRI K. **Assessment of the Traffic Enforcement Strategies Impact on Emission Reduction and Air Quality**. Procedia Computer Science, p. 556, 2021.

FERGUSON, C.R.; KIRKPATRICK, A. T. **Internal combustion engines: applied thermosciences**. New York: Jonh Wiley & Sons, Inc., 2001. 369p.

FRANCO, V., KOUSOULIDOU, M., MUNTEAN, M., NTZIACHRISTOS, L., HAUSBERGER, S., E DILARA, P. **Road vehicle emission factors development: A review**. Atmospheric Environment, v.70, p. 84–97, 2013.

FOLGERO, I. K., HARDING T., WESTBY B. S. **Going fast or going green? Evidence from environmental speed limits in Norway**. Transportation Research Part D: Transport and Environment, p. 14, 2020

FREITAS, A. M.; SOLCI, M. C. **Caracterização do MP10 e MP2,5 e distribuição por tamanho de cloreto, nitrato e sulfato em atmosfera urbana e rural de Londrina**. Química Nova, v.32, n.7, p.1750-1754, 2009.

GIAKOUMIS, E. G. **Driving and Engine Cycles**. Cham: Springer International Publishing, 2017.

GIERCZAK, C.A., KORNISKI, T.J., WALLINGTON, T.J., BUTLER, J.W. **Laboratory Evaluation of the SEMTECH-g**. Portable Emissions Measurement System (PEMS) for Gasoline Fueled Vehicles, 2006.

HONG, J., GOODCHILD, A. **Land use policies and transport emissions: modeling the impact of trip speed, vehicle characteristics and residential location**. *Transp. Res. Part D: Transp. Environ.* 26, p. 47–51, 2014.

HONG, J., SHEN, Q. **Residential density and transportation emissions: examining the connection by addressing spatial autocorrelation and self-selection**. *Transp. Res. Part D: Transp. Environ.* 22, p. 75–79, 2013.

LAI, J.; YU, L.; SONG, G.; GUO, P., CHEN, X. **Development of City-specific Driving Cycles for Transit Buses Based on VSP Distributions**. In: 91th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C, 2012.

liii

LINDHOLM, M. **A sustainable perspective on urban freight transport: factors affecting local authorities in the planning procedures**. *Procedia Soc. Behav. Sci.* 2 (3), 6205–6216, 2010.

LIU, H., BARTH, M., SCORA, G., DAVIS, N., LENTS, J. **Using portable emission measurement systems for transportation emissions studies**. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2158, p. 54-60, 2010.

LU, X.-Y., SHLADOVER, S. **Review of variable speed limits and advisories: theory, algorithms, and practice**. *Transport. Res. Rec. J. Transport. Res. Board*, 2423, pp. 15-23, 2014.

MACIEL FILHO, F. F. **Construção de ciclos de condução para estimativa de emissões veiculares para ônibus urbano**. 2013. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

MACIEL FILHO, F. F.; STRAMB, O. **Construção de ciclos de condução para estimativa de emissões veiculares para ônibus urbanos**. XXVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte. Curitiba, 2015.

MARTINS, J. **Motores de combustão interna**. Porto: Publindústria, 2005. 437p.

Organização Mundial da Saúde, OMS. **Global Plan: Decade of action for road safety 2021-2030**. Lançado em: 28 de outubro de 2021. Disponível em: <https://www.who.int/teams/social-determinants-of-health/safety-and-mobility/decade-of-action-for-road-safety-2021-2030>. Acessado em: 17/05/2022.

Organização Mundial da Saúde, OMS. **Declaração de Estocolmo**. 3ª Conferência Mundial sobre Segurança Viária. Lançada em: 19 a 20 de fevereiro de 2020. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2020/02/1704751>. Acesso em: 19/05/2022.

Organização Mundial da Saúde, OMS. **Ambient Air Quality Database**. Lançada em: 2018. Disponível em: <http://www.who.int/airpollution/data/cities/en/>. Acesso em: 28/08/2022.

PELKMANS, L., DEBAL, P. **Comparison of on-road emissions with emissions measured on chassis dynamometer test cycles**. Transportation Research Part D: Transport and Environment 11, p. 233-241, 2006.

POURESMAEILI, M. A., AGHAYANA, I., TAGHIZADEH, S. A. **Development of Mashhad driving cycle for passenger car to model vehicle exhaust emissions calibrated using on-board measurements**. Sustainable Cities and Society 36, p. 12-20, 2018.

PRATI, M. V. *et al.* **Road Grade Influence on the Exhaust Emissions of a Scooter Fuelled with Bioethanol/Gasoline Blends**. Transportation Research Procedia, v. 3, n. July, p. 790–799, 2014.

PREFEITURA DE FORTALEZA. **Readequação da velocidade em corredores da Parquelândia. 2021**. Disponível em: <https://www.fortaleza.ce.gov.br/noticias/prefeitura-de-fortaleza-readequa-velocidade-em-corredores-da-parquelandia>. Acesso em: 11/06/2022.

ROSO, Vinícius Rückert. **Ciclos reais de condução veicular em Santa Maria e seus impactos em consumo e emissões**. 2016. 89 f.

RUBINO, L., BONNEL, P., CARRIERO, M., KRASENBRINK, A. **Portable emission measurement system (PEMS) for heavy duty diesel vehicle PM measurement: the European PM PEMS program**. SAE International Journal of Engines 2, p. 660-673, 2010.

SILVA, V. J. S. **Construção de ciclos de condução veicular como ferramenta de apoio ao planejamento operacional de transportes**. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2021.

SORIGUERA, F., MARTÍNEZ, I., SALA, M., MENÉNDEZ, M. **Effects of low speed limits on freeway traffic flow**. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, p.257-274, 2017.

VASQUES, T. V. **Inventário de emissões veiculares no Brasil: Brazilian vehicular emission inventory software – BRAVES**. Dissertação (mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2021.

VOJTISEK-LOM, M., COBB, J.T. **Vehicle mass emissions measurement using a portable 5-Gas exhaust analyzer and engine computer data**. Proceedings of Emission Inventory: Planning for the Future Conference Air & Waste Management Association Pittsburgh, PA (USA), p. 656-66, 1997.

VUONG, Q. T., PARK, M., DO, T. V., THANG, P. Q., CHOI, S. **Driving factors to air pollutant reductions during the implementation of intensive controlling policies in 2020 in Ulsan, South Korea**. Environmental Pollution 292, P.10. 2022.

ZHAI, Z., XU, J., SONG, G., HATZOPOULOU, M. **Comparative analysis of drive-cycles, speed limit violations, and emissions in two cities: Toronto and Beijing**. Science of The Total Environment, Volume 811, 2022.

ZHANG, R., MATSUSHIMA, K., E KOBAYASHI, K. **Can land use planning help mitigate transport-related carbon emissions? A case of Changzhou**. Land Use Policy, de dezembro de 2016, p. 0–1, 2018.

ZHOU, Y.; WU, Y.; ZHANG, S.; FU, L.; HAO, J. Evaluating the emission status of light-duty gasoline vehicles and motorcycles in Macao with real-world remote sensing measurement. **Journal of Environmental Sciences-China**, v. 26, n. 11, p. 2240–2248, 2014.

APÊNDICES

A: Distribuição das passagens por sentido e turno

Data	Turno	Sentido O - L	Sentido L - O	Quant. de Observação
30/ago	Manhã	1	2	1023
31/ago	Manhã	2	2	1473
13/set	Manhã	4	4	3175
14/set	Manhã	3	3	2341
14/set	Tarde	3	2	1716
20/set	Tarde	3	3	1897
21/set	Tarde	3	3	1976
27/set	Manhã	3	3	2159
28/set	Tarde	3	3	1964
Total		25	25	17724

B: Testes de hipóteses para os sentidos OL e LO do turno da tarde

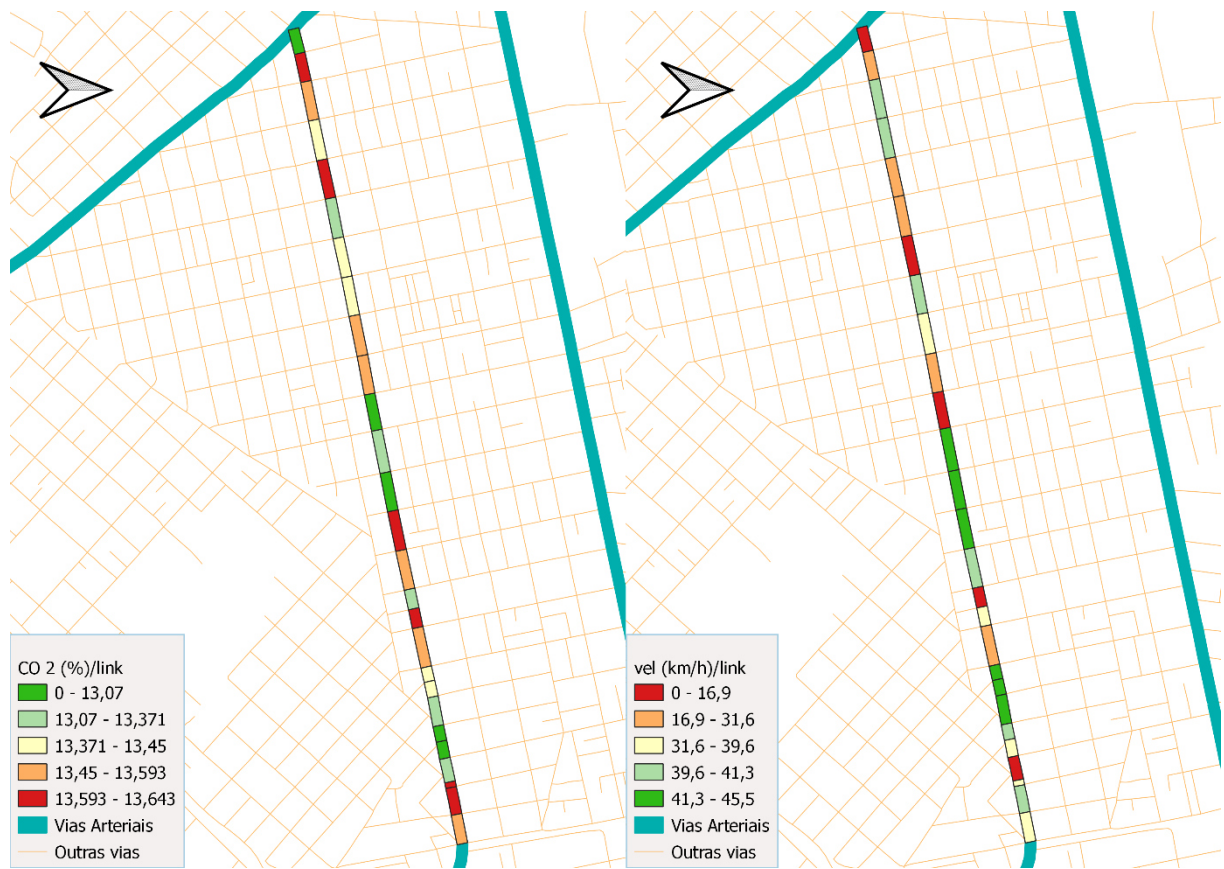
Média amostral dos tempos de viagens tarde – Sentido OL (s)	326
Média amostral dos tempos de viagens tarde – Sentido LO (s)	331
p	5%
t_{obs}	-0,24
t_c	2,228
H_0	A diferença da média dos tempos de percurso para as viagens tarde - OL e LO é igual a 0.
Conclusão	Ao nível de 5% de significância, não há evidências estatísticas de que os tempos do sentido volta sejam diferentes aos tempos de ida no turno Tarde.

Fonte: Autor (2022)

Média amostral dos tempos de viagens manhã – Sentido OL (s)	419
Média amostral dos tempos de viagens manhã – Sentido LO (s)	337
p	5%
t_{obs}	4,552
t_c	2,179
H_0	A diferença da média dos tempos de percurso para as viagens manhã - OL e LO é igual a 0.
Conclusão	Ao nível de 5% de significância, não há evidências estatísticas de que os tempos do sentido volta sejam iguais aos tempos de ida no turno Manhã

Fonte: Autor (2022)

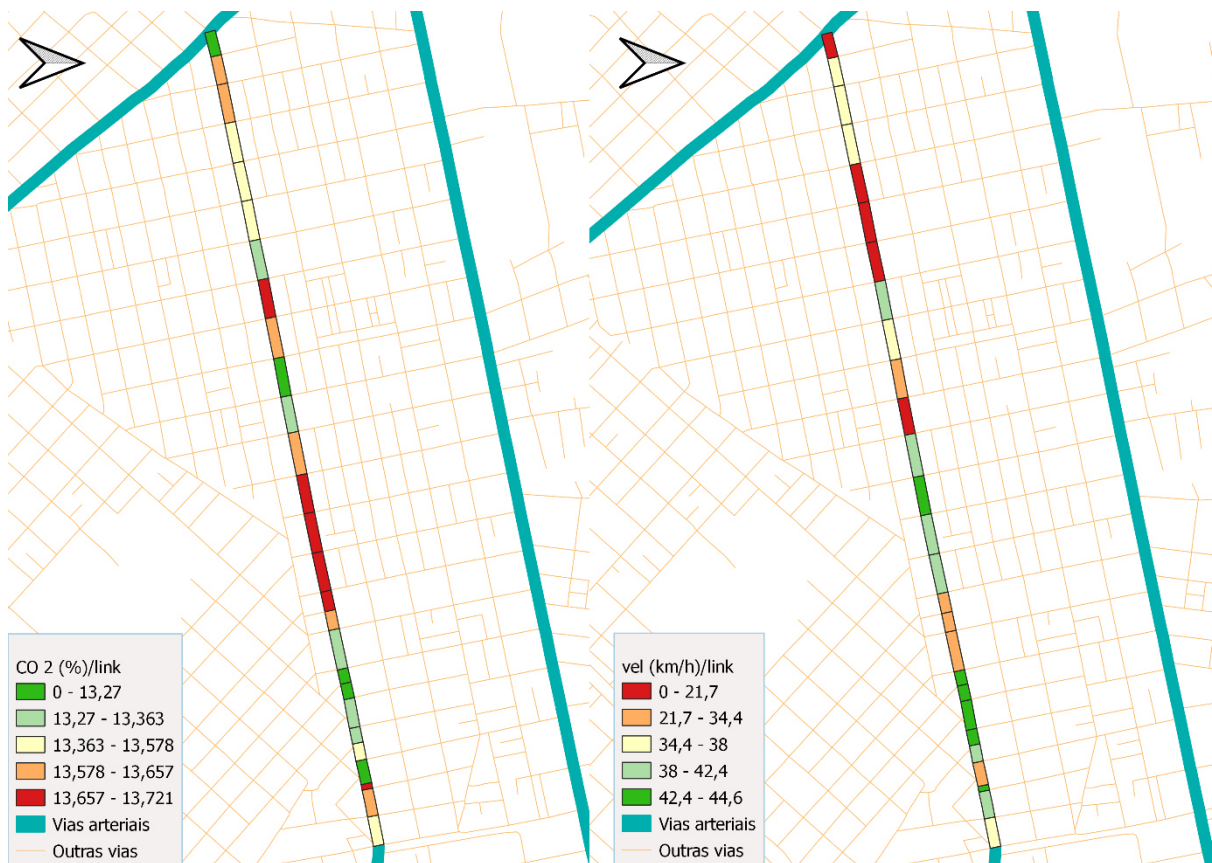
C: Mapa de distribuição para as classes de viagens manhã – sentido LO (a), tarde – sentido OL (b) e tarde – sentido LO (c)



(a)



(b)



(c)