

Aumento da capacidade e velocidade da linha direta Inter 2 em Curitiba-PR: Impactos nas emissões atmosféricas

Sara Coimbra da Silva

Mestre, UNINOVE, Brasil

saracoimbra@outlook.com

ORCID iD: 0009-0000-9288-9836

Eduardo Cesar Amancio

Professor Mestre, UEPG, Brasil

eduardocamancio@outlook.com

ORCID iD: 0000-0002-7957-4976

Aumento da capacidade e velocidade da linha direta Inter 2 em Curitiba-PR: Impactos nas emissões atmosféricas

RESUMO

Objetivo - Estimar os impactos diretos das emissões atmosféricas com a remodelação da Linha Inter 2 em função do aumento de velocidade com frota de ônibus movida a Diesel da cidade de Curitiba-PR.

Metodologia - Foi realizada pesquisa bibliográfica com posterior análise estatística e aplicação no caso sobre estudos que avaliaram o impacto nas emissões atmosféricas decorrentes da implementação de melhorias em vias para ônibus e estratégias operacionais que resultaram no aumento da velocidade do tráfego.

Originalidade/relevância – Estudos demonstram que tráfego em velocidade reduzida, assim como aceleração, desaceleração e tráfego em marcha lenta implicam em aumento de emissões de gases poluentes quando comparados com vias com menos intersecções, que exigem menos paradas e que são mais velozes. A pesquisa explora a relação entre a otimização das vias de ônibus e o aumento da velocidade, com foco na redução de poluentes em um grande projeto de mobilidade urbana.

Resultados – O Projeto Inter 2 tem grande potencial para reduzir emissões de poluentes. No cenário otimista, com aumento de 40% de velocidade, prevê-se uma redução de ao menos 50% nas emissões totais. No cenário conservador, com aumento de 30% de velocidade, as reduções foram de 49,13% para CO, 57,46% para VOCs, 4,08% para MP e 19,16% para NOx.

Contribuições teóricas/metodológicas – A pesquisa oferece dados cruciais para o planejamento urbano, com uma abordagem simplificada que facilita decisões em projetos de mobilidade sustentável, equilibrando eficiência no tráfego e impacto ambiental.

Contribuições sociais e ambientais – A quantificação dos ganhos em relação a otimização de vias para o transporte coletivo é fundamental para o sucesso dos projetos de mobilidade urbana sustentável, que proporcionam além de maior agilidade no deslocamento da população, redução significativa de poluentes atmosféricos, com consequente melhoria para a qualidade do ar e diminuição dos impactos negativos à saúde pública.

PALAVRAS-CHAVE: Redução de emissões atmosféricas. Transporte Coletivo. Mobilidade urbana.

Increase in capacity and speed of the direct line Inter 2 in Curitiba-PR: Impacts on atmospheric emissions

ABSTRACT

Objective – The aim of this study is to estimate the direct impacts of atmospheric emissions with the remodeling of the Inter 2 Line due to speed increase, using a diesel-powered bus fleet in the city of Curitiba, PR.

Methodology – A bibliographic survey was conducted, followed by statistical analysis and case application, focusing on studies that evaluated the impact of improvements in bus lanes and operational strategies that led to increased traffic speed on atmospheric emissions.

Originality/Relevance – Studies indicate that slow traffic, as well as acceleration, deceleration, and stop-and-go conditions, contribute to an increase in pollutant gas emissions when compared to roads with fewer intersections, which require fewer stops and facilitate higher speeds. In this regard, the research is noteworthy for examining the relationship between the optimization of bus lanes and increased speed, while estimating the reduction of pollutants in a large-scale urban mobility project.

Results – The Inter 2 Project has significant potential to reduce pollutant emissions. In the most optimistic scenario, with a 40% speed increase, a reduction of at least 50% in total pollutant emissions is predicted, with 50.43% for CO emissions, 61.50% for VOCs, 44.50% for PM, and 56.74% for NOx. In the more conservative scenario, with a 30% speed increase, the reductions were 49.13% for CO emissions, 57.46% for VOCs, 4.08% for PM, and 19.16% for NOx.

Theoretical/Methodological Contributions – Provision of crucial data for urban planning through a simplified approach, assisting in decision-making for sustainable mobility projects that balance traffic efficiency and environmental impact.

Social and Environmental Contributions – The quantification of benefits related to optimizing bus lanes for public transport is essential for the success of sustainable urban mobility projects, which provide not only increased mobility efficiency but also significant reductions in atmospheric pollutants, resulting in improved air quality and reduced negative health impacts.

KEYWORDS: Atmospheric Emission Reduction. Public Transport. Urban Mobility.

Aumento de la capacidad y velocidad de la línea directa Inter 2 en Curitiba-PR: Impactos en las emisiones atmosféricas

RESUMEN

Objetivo – Estimar los impactos directos de las emisiones atmosféricas con la remodelación de la Línea Inter 2 debido al aumento de velocidad, con una flota de autobuses a diésel en la ciudad de Curitiba-PR.

Metodología – Se realizó una investigación bibliográfica seguida de un análisis estadístico y aplicación en el caso de estudios que evaluaron el impacto de las mejoras en las vías para autobuses y las estrategias operativas que resultaron en el aumento de la velocidad del tráfico.

Originalidad/relevancia – Los estudios demuestran que el tráfico a baja velocidad, así como la aceleración, desaceleración y el tráfico en marcha lenta, implican un aumento de las emisiones de gases contaminantes, en comparación con vías con menos intersecciones, que requieren menos paradas y permiten mayor velocidad. La investigación explora la relación entre la optimización de las vías para autobuses y el aumento de la velocidad, con énfasis en la reducción de contaminantes en un gran proyecto de movilidad urbana.

Resultados – El Proyecto Inter 2 tiene un gran potencial para reducir las emisiones de contaminantes. En el escenario optimista, con un aumento del 40% en la velocidad, se prevé una reducción de hasta el 50% de las emisiones totales, siendo 50,43% para CO, 61,50% para VOCs, 44,50% para MP y 56,74% para NOx. En el escenario conservador, con un aumento del 30% en la velocidad, las reducciones fueron de 49,13% para CO, 57,46% para VOCs, 4,08% para MP y 19,16% para NOx.

Contribuciones teóricas/metodológicas – La investigación proporciona datos cruciales para la planificación urbana, con un enfoque simplificado que facilita la toma de decisiones en proyectos de movilidad sostenible, equilibrando la eficiencia en el tráfico y el impacto ambiental.

Contribuciones sociales y ambientales – La cuantificación de los beneficios relacionados con la optimización de las vías para el transporte colectivo es fundamental para el éxito de los proyectos de movilidad urbana sostenible, que además de proporcionar mayor agilidad en el desplazamiento de la población, contribuyen a la reducción significativa de contaminantes atmosféricos, mejorando así la calidad del aire y disminuyendo los impactos negativos en la salud pública.

PALABRAS CLAVE: Reducción de emisiones atmosféricas. Transporte colectivo. Movilidad urbana.

1 INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana é um dos principais desafios enfrentados pelas cidades contemporâneas, especialmente em metrópoles em crescimento como Curitiba-PR. Reconhecida internacionalmente pelo seu planejamento orientado e sistema de transporte coletivo inovador baseado no Bus Rapid Transit (BRT) (Duarte, Firmino e Prestes, 2011), nos últimos anos Curitiba contou com aumento considerável de veículos leves, provocando intensificação no congestionamento (Medeiros et al, 2023), além de incremento nas emissões atmosféricas (López et al., 2014).

O setor de transporte brasileiro é caracterizado pela predominância do transporte rodoviário, que corresponde a 93% de todo o consumo energético em 2015, e por uma forte dependência de combustíveis fósseis, que representaram 77% de todo o consumo de combustíveis no mesmo ano (Angelo & Rittl, 2019). Dentro dessa categoria, 85% das emissões de CO₂ estão relacionadas ao transporte pelo sistema rodoviário (Brasil, 2025).

Além disso, em 2016, o segmento de transporte de passageiros foi responsável por 19,7% de todas as emissões energéticas. Desse total, o transporte público por ônibus representa 17% (Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2018). Segundo o Ipea (2011), cerca de 200 doenças e 3,000 mortes por ano estão associadas às emissões de gases de efeito estufa em decorrência do transporte na grande São Paulo, provocando problemas como irritação, asma, bronquite e câncer no pulmão, além de poder reduzir a expectativa de vida em até 12 anos.

Globalmente, o Brasil é o sétimo maior emissor de Gases de Efeito Estufa (GEE), considerando os gases CH₄, CO₂, Fgas e N₂O (Climate Watch, 2022). Weber et al. (2019) argumentam que há um grande potencial para reduzir as emissões do setor energético por meio da implementação de uma série de medidas de mitigação, incluindo técnicas de eficiência energética, uso de fontes renováveis e mudanças no setor de transporte, que ainda depende fortemente de combustíveis fósseis.

As emissões de veículos automotores contêm uma ampla gama de substâncias tóxicas resultantes da combustão e da queima incompleta de combustível, como óxidos de carbono (CO e CO₂), óxidos de nitrogênio (NOx), hidrocarbonetos (HC), considerados como cancerígenos em grande parte, óxidos de enxofre (SOx), partículas inaláveis (MP₁₀), entre outras substâncias que ao entrarem em contato com o sistema respiratório provocam diversos danos à saúde (Teixeira et al, 2008).

A necessidade de sistemas de transporte eficientes e sustentáveis é fundamental para garantir a qualidade de vida dos cidadãos e minimizar os impactos ambientais associados ao aumento do tráfego. A eficiência do transporte coletivo é crucial para a redução da poluição do ar, uma vez que ônibus com maior capacidade e velocidade podem contribuir para reduzir as emissões destes veículos e diminuir o número de veículos particulares nas ruas (Bertolini e Clercq, 2003).

Neste contexto, o Projeto do Inter 2 se destaca como uma alternativa promissora para a melhoria do transporte público na capital paranaense. Esse projeto integra o Programa de Mobilidade Urbana Sustentável, que conta com um financiamento de US\$106,7 milhões do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), US\$ 26,7 milhões de dólares como contrapartida de Prefeitura Municipal de Curitiba e US\$ 63,6 milhões de dólares proveniente de outras fontes de financiamento (Curitiba, 2019). Aproximadamente 38km dos trajetos de duas das linhas mais movimentadas da cidade, o Inter 2 e o Interbairros II, serão aprimorados por

meio desse programa. Essa iniciativa terá um impacto significativo na vida diária de mais de 580 mil residentes de 28 bairros da capital, atendendo cerca de 181 mil passageiros em dias úteis (Curitiba, 2024).

As condições de tráfego do ônibus, principalmente nas intersecções em que o ônibus precisa passar por desaceleração, aceleração e andar em velocidade reduzida, além de aumentar os atrasos e tempo de chegada, também impactam significativamente no aumento de emissões de carbono (Chen et al., 2024). Kwak et al. (2012) concluiu em seu estudo que uma otimização no tempo dos semáforos pode provocar uma redução nas emissões de carbono no tráfego de 8 a 20%.

Sobre faixas exclusivas, Hu et al. (2023) encontrou benefícios que demonstram efetiva redução de carbono em modelos de faixas exclusivas de ônibus e redução nos atrasos de chegada. Isso se deu através da construção de um modelo comparativo de transporte público visando o baixo carbono focado nas intersecções, considerando características de chegada estáveis, bem como características de chegada estocásticas fortes, para dois cenários, o de faixas exclusivas e o de não exclusivas para ônibus.

Jaiprakash e Habib (2018) encontraram forte influência dos fatores em relação a velocidade, aceleração e desaceleração, manutenção do veículo, design, além de que foi constatado em seu estudo que veículos que operam em velocidade baixa tendem a produzir maior quantidade de emissões de NOx. Áreas com maior densidade populacional e maior volume de tráfego nas áreas urbanas centrais tendem a ter menores médias de velocidade, quando comparadas com os arredores, o que explica Xu et al (2024) ter identificado em sua pesquisa que os veículos de transporte coletivo em Fuzhou exibiram valores maiores de emissões de NOx na área central e valores menores nas áreas periféricas.

Estudos demonstram que a implementação de pistas exclusivas para ônibus, como o BRT e Metrobus e corredores exclusivos, proporcionam em aumento da velocidade no transporte alcançam bons resultados em redução de emissões atmosféricas de CO e NOx (Malheiros et al, 2017; Abassi, Hosseinlou e Jafarzadehfadaki, 2020; Sharma, H. K., Swami, M. E e Swami, B. L., 2012; Cengiz, 2017; Castro e Strambi, 2008).

O presente trabalho tem como objetivo analisar as implicações diretas nas emissões atmosféricas diante do aumento da eficiência na Linha 2 prevista no projeto de remodelação da Linha Inter 2 de ônibus em Curitiba-PR, utilizando frota movida a diesel. A pesquisa bibliográfica foi complementada com análise estatística, considerando estudos anteriores que avaliaram o impacto das melhorias em vias para ônibus e estratégias operacionais que resultaram no aumento da velocidade do tráfego. A análise explora como o aumento da velocidade do tráfego, associada à otimização das vias, pode reduzir as emissões de gases de efeito estufa, em diferentes cenários de aumento de velocidade.

Os resultados mostram que o Projeto Inter 2 tem grande potencial de redução das emissões de poluentes, com cenários de aumento de velocidade de 30% a 40%, levando a uma diminuição expressiva das emissões. No cenário otimista, as reduções podem atingir até 50% nas emissões totais de poluentes. A pesquisa oferece dados cruciais para o planejamento urbano sustentável, contribuindo para decisões que equilibram eficiência no tráfego e redução do impacto ambiental. Além disso, as implicações sociais e ambientais da otimização de vias para transporte coletivo são significativas, resultando em maior agilidade no transporte, redução dos poluentes atmosféricos, melhoria da qualidade do ar e benefícios para a saúde pública.

Assim, a proposta de requalificar a linha Inter 2 se configura como uma estratégia não apenas de otimização do serviço, mas também de promoção da sustentabilidade urbana.

2 OBJETIVOS

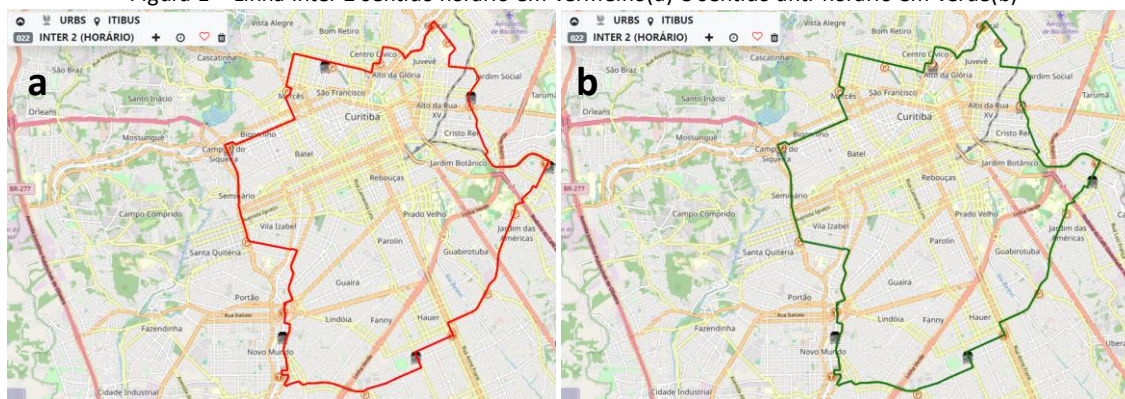
Estimar os impactos das emissões atmosféricas com a remodelação da Linha Inter 2 de ônibus da cidade de Curitiba considerando o aumento previsto de ganhos em velocidade mantendo a frota de ônibus a Diesel.

3 METODOLOGIA

A Rede de Transporte Integrada (RIT) de Curitiba é parte do sistema de transporte público que atende cerca de 1,4 milhões de pessoas por dia. Em 1979 a Linha Interbairros 2 foi criada, e depois em 1992, a linha direta Inter 2 foi desenvolvida, o qual trabalha no mesmo trajeto de 38 km mas não possui pontos intermediários de parada. Além disso, as estações de embarque e desembarque possuem cobrança tarifária antecipada e embarque em nível. A linha Inter 2 melhorou o transporte integrado do sistema, trazendo agilidade nos deslocamentos ao realizar o itinerário sem passar pela área central da Cidade (Doliveira, da Cunha e Massuga, 2023).

A Linha Inter 2 se divide em sentido horário e sentido anti-horário, Figura 1, tendo a frota atual de 67 ônibus, entre 29 modelos Padron e 38 articulados e o veículo utilizado atualmente na linha é o Padron, movidos a Diesel (Brasil, 2021).

Figura 1 – Linha Inter 2 sentido horário em vermelho(a) e sentido anti-horário em verde(b)



Fonte: URBS (2024)

A Linha Direta Inter 2 é responsável pelo deslocamento de aproximadamente 91mil passageiros por dia, atravessa 28 dos 75 bairros de Curitiba, onde se concentram 580 mil habitantes, com frota de 67 ônibus movidos a Diesel. Inicialmente quando criada a linha operava com velocidade média de 32 km/h, entretanto, em levantamentos realizados em 2019 descobriu-se que considerável redução de velocidade ao longo do tempo, sendo obtido valores de 21,40km/h no sentido horário e 17,77 km/h no sentido anti-horário, o que proporcionou também aumento no tempo de deslocamento dos passageiros (Curitiba, 2019).

O Inter 2 é considerado a linha de maior demanda que trafega fora de canaletas ou faixa exclusiva. Opera com intervalos (frequência) de aproximadamente 2,86 minutos (sentido horário) e aproximadamente 4,23 minutos (sentido anti-horário), totalizando 106 e 127 minutos

para completar o circuito no sentido horário e anti-horário, respectivamente (Curitiba, 2019). A demanda transportada representa, em alguns trechos, cargas equivalentes a alguns ramos dos corredores estruturais, justificando assim a importância dessa linha no sistema de Transporte de Curitiba.

Devido a relevância da linha, em 2019 foi iniciado um projeto para discutir a implementação de melhorias no RIT, especialmente considerando aumento da capacidade e velocidade. Esse projeto faz parte do Programa de Mobilidade Urbana de Curitiba, que possui quatro estratégias macro, conforme pontuado por Doliveira, da Cunha e Massuga (2023): descarbonizar a frota de transporte público, atrair usuários para o transporte público, promover a mobilidade ativa e estabelecer a cultura de gerenciamento de dados e inovação. Os objetivos específicos são de aumento da velocidade operacional da Linha "Inter 2", ampliação da quilometragem de faixas exclusivas da RIT, aumento do número de passageiros da linha, melhoria da acessibilidade no entorno das estações, redução do tempo de viagem ao longo do trajeto, ampliação da oferta de transporte e aumento da frequência dos ônibus (Curitiba, 2019).

Estão previstas obras para implantação de faixas exclusivas, compartilhamento de trechos de canaletas, reforma e reconstrução de terminais de transporte, remodelação de estações-tubo, alterações geométricas em cruzamentos saturados, construção de viadutos, implantação de binários de tráfego e priorização semafórica (Curitiba, 2019). Aproximadamente 70 km de vias que serão abertas ou requalificadas, 30 quilômetros de faixas exclusivas aos ônibus serão implantadas, 13 novas estações estão previstas, construção do miniterminal do Santa Quitéria e das estações Nivaldo Braga, Salgado Filho, Xaxim e Tarumã (BID, 2020).

O resultado esperado é de um aumento de 30% na velocidade operacional da Linha e a consequentemente uma redução de 30% nos tempos de deslocamento dos usuários nos dados contidos na Avaliação Ambiental (Curitiba, 2019). De acordo com o time técnico do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC), o aumento esperado é ainda mais otimista, com estimativa para incremento de 40% no tempo de deslocamento, conforme dados reportados por Doliveira, da Cunha e Massuga (2023), que proporcionará aumento de 40% de velocidade. Dessa forma, nas análises, serão considerados esses dois cenários, sendo o de 30% de aumento de velocidade conservador e o de 40% otimista.

De forma a estimar o impacto do projeto nas emissões atmosféricas, foi utilizada uma abordagem quantitativa, com elementos de análise qualitativa, para investigar o impacto com o aumento de velocidade de veículos. Foram coletados e organizados dados de trabalhos científicos que exploram essa relação, permitindo a construção de uma base quantitativa para análise.

Foram calculados média amostral, desvio padrão, erro da média e intervalo de confiança (95%), garantindo a avaliação da variabilidade e confiabilidade dos resultados. Os dados foram representados em gráficos de dispersão, e diferentes modelos de regressão foram testados para identificar a equação que melhor descreve a relação entre as variáveis, utilizando o coeficiente de determinação (R^2) como critério de ajuste.

A abordagem qualitativa foi utilizada na seleção e interpretação dos estudos científicos, assegurando a adequação dos dados ao contexto da pesquisa. As equações obtidas foram então aplicadas ao Projeto Inter 2, que irá proporcionar melhoria na velocidade de uma linha de ônibus em Curitiba, com previsão de aumento entre 30% e 40%, permitindo estimar a redução esperada das emissões dentro de um intervalo de confiança. Abaixo detalhamos as etapas.

3.1 Coleta e construção da Base de Dados

Foram selecionados trabalhos científicos que investigam a relação entre aumento de velocidade e redução de emissões atmosféricas para os poluentes MP, CO, CO₂, NO_x e VOC.

Os artigos foram pesquisados na base *Scopus* utilizando as palavras-chave: “emissions”, “bus”, “speed”, com remoção dos artigos que apresentavam a palavra “electric”, a fim de focar os ganhos no impacto somente com aumento de velocidade para ônibus movidos a combustíveis fósseis. Além disso, utilizou-se também o Google Acadêmico com as palavras-chave: “emissões”, “ônibus” e “velocidade”. A seleção dos estudos seguiu critérios de relevância e aplicabilidade ao contexto do transporte urbano, com descrição da particularidade de cada estudo.

Os dados extraídos dos estudos foram organizados em uma tabela, contendo o aumento de velocidade e redução percentual de emissões para cada poluente, contando ainda com a abrangência, particularidade de cada estudo e tipo de veículo contido na análise.

3.2 Ajuste de Modelos Estatísticos

Além disso, para avaliar a variabilidade dos dados entre os estudos, foram calculados a média amostral para representar a redução média das emissões em resposta ao aumento de velocidade, desvio padrão, de modo a medir a dispersão dos valores de redução de emissões em relação à média, Erro da média, para estimar a precisão da média amostral e avaliar a confiabilidade das estimativas e Intervalo de confiança (95%), para determinar a faixa na qual a verdadeira média populacional provavelmente se encontra, garantindo maior robustez à análise.

$$E = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Onde:

- σ é o desvio padrão da amostra, calculado como a raiz quadra da variância amostral,
- n é o número de observações na amostra

O desvio padrão da amostra (σ) foi obtido pela seguinte fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Onde x_i representa cada valor da amostra e \bar{x} é a média amostral

O intervalo de confiança de 95% foi calculado, determinado pela fórmula:

$$IC = \bar{x} \pm (z \times E)$$

onde:

- \bar{x} é a média amostral,
- z é o valor crítico da distribuição normal para um nível de confiança de 95% (aproximadamente 1,96),
- E é o erro da média.

Cada conjunto de dados foi representado em gráficos de dispersão, e diferentes funções de tendência (linear, polinomial de diferentes ordens) foram testadas para identificar o modelo com melhor ajuste baseado no coeficiente de determinação (R^2).

- O modelo de tendência com R^2 mais próximo de 1 foi selecionado para cada poluente.

- A equação resultante foi utilizada para estimar a redução de emissões em novos cenários.
- Os cálculos de variabilidade foram considerados na interpretação dos modelos, garantindo que as previsões fossem feitas dentro de um grau de incerteza aceitável.

3.3 Aplicação do Modelo no Projeto Inter 2

Para validar o modelo, ele foi aplicado a um caso real de melhoria na velocidade de ônibus em Curitiba, onde a previsão de aumento de velocidade variava entre 30% e 40%. As equações obtidas foram utilizadas para estimar a redução esperada das emissões de cada poluente nesse cenário.

O intervalo de confiança das estimativas foi utilizado para fornecer uma faixa de variação realista, ajudando na tomada de decisões e na interpretação dos resultados de maneira mais precisa.

Essa fórmula foi aplicada para cada poluente considerado: MP, CO, NO_x, VOC e CO₂.

4 RESULTADOS

4.1 Seleção dos estudos e coleta de dados

Foi realizada pesquisa bibliográfica para encontrar estudos que analisaram o impacto nas emissões atmosféricas para os poluentes CO, NO_x, MP, VOC e CO₂ de melhorias associadas a implantação de corredores exclusivos para ônibus, vias expressas, sistema BRT e estratégias operacionais para melhoria de tráfego como o sistema ALINEA, os quais obrigatoriamente acarretaram aumento de velocidade. ALINEA é a denominação para *Asservissement LINéaire d'Entrée Autoroutière* e consiste em uma estratégia de controle de rampas de acesso em rodovias que busca otimizar o fluxo de tráfego e minimizar congestionamentos, através do uso de sensores para medir a densidade do tráfego na via principal e ajusta a taxa de entrada dos veículos na rampa de acesso por meio de sinais semafóricos (Dadashzadeh e Ergun, 2019).

Os dados obtidos estão dispostos no Quadro 1. No total, foram encontrados 7 estudos nos quais foram extraídas as informações de abrangência, particularidades, impacto nas emissões atmosféricas por poluente, aumento de velocidade e veículo contemplado na análise.

Os trabalhos que apresentaram resultados de emissões em termos não percentuais, como Castro e Strambi (2008), ou que não haviam calculado esses valores para cada poluente, como Dadashzadeh e Ergun (2019), passaram por conversão para expressar a redução em proporção por poluente. Como as pesquisas de Castro e Strambi (2008), Abbasi, Hosseinlou e JafarzadehFadaki (2020) e Dadashzadeh e Ergun (2019) simularam múltiplos cenários sob diferentes condições de velocidade e emissões, cada cenário representativo foi tratado como uma amostra.

Quadro 1 – Compilado das pesquisas relacionadas a velocidade e emissões atmosféricas em transporte por ônibus

Autor	Abrangência	Redução nas emissões					Particularidade	Aumento de velocidade (%)	Veículo
		MP	CO	NOx	VOC	CO ₂			
Malheiros et al (2017)	Estimativa da via expressa Transolímpica (incluindo linhas troncais do BRT) e alternativa de deslocamento viário vigente na época, considerando o mesmo fluxo médio de veículos em ambas as alternativas no Rio de Janeiro. Cenário urbano.	-49%	-58%	-25,6%			Houve redução de 40% na distância a ser percorrida bem como a redução da participação dos ônibus urbanos na composição da frota circulante na região devido à operação do sistema BRT.	Não descreveu	Ônibus
Castro e Strambi (2008)	Análise da influência de fatores intervenientes nas emissões veiculares em corredores de ônibus de alta capacidade e desempenho em São Paulo. Cenário urbano. Uso do modelo IVE – International Vehicle Emissions, que se baseia no ciclo de condução dos veículos. Cenário urbano.	-29,13%	-30,00%	-29,86%	-30,22%	-30,16%	Cenário sentido Bairro-Centro no +horário das 07:00 às 08:00	21%	Ônibus
		-32,45%	-33,16%	-33,04%	-33,26%	-32,74%	Cenário sentido Centro-Bairro no horário das 08:00 às 09:00	21%	
		-42,86%	-42,65%	-43,53%	-42,41%	-41,21%	Cenário sentido Centro-Bairro no horário das 09:00 às 10:00	15%	
Abbasi, Hosseinlou e JafarzadehFadaki (2020)	Análise da primeira linha do BRT de Teerã com simulação da implementação de faixas exclusivas para ônibus, redução dos intervalos entre os ônibus, implementação de semáforos acionados por demanda e a revisão das estações de ônibus em 10 cenários diferentes. Uso da ferramenta de simulação microscópica AIMSUN. Cenário urbano.	-4,45%	-49,67%	-19,30%			Cenário 2 – Fluxo de 24 veh/h, sem mudanças nas estações e nos semáforos	38%	Ônibus
		-6,34%	-35,25%	-15,20%			Cenário 3 - Fluxo de 24 veh/h, sem mudanças nas estações e nos semáforos	75%	
		-7,71%	-41,12%	-13,60%			Cenário 4 - Fluxo de 24 veh/h, sem mudanças nas estações e nos semáforos	115%	
Cengiz (2017)	Reporte dos resultados reais após implantação do BRT em Istambul na Turquia nos termos de veículos eliminados do tráfego geral e a redução total de emissões atmosféricas. Cenário rodoviário.		-623 ton/dia	-283 ton/dia			52 km de BRT com 44 estações. Opera em duas rodovias.	35 (km/h) – velocidade fixa	Ônibus

Dadashzadeh e Ergun (2019)	Análise de propostas de implementação de métodos combinados de velocidade variável e ALINEA em uma rodovia em Istambul. Uso da ferramenta de simulação microscópica VISSIM. Cenário rodoviário. Os dados foram publicados em números totais e realizada a comparação pelos autores de forma a expor a porcentagem.		-38,57%	-40,87%	-37,50%		Cenário 1: ALINEA e sem controles	17%	Carros, micro-ônibus, ônibus de 2 andares e Metrobus
			-44,29%	-43,80%	-43,75%		Cenário 2: VSL e sem controles	19%	
			-48,57%	-49,64%	-50,00%		Cenário 3: VSL+ALINEA (existente) e sem controles	20%	
			-58,57%	-58,39%	-62,50%		Cenário 4: VSL + ALINEA (com alterações propostas) e sem controles	43%	
Sharma e Swami (2013)	Análise do impacto de faixas exclusivas para ônibus em Jaipur na Índia no cenário de término antes da linha de parada em cruzamentos sinalizados, com faixas adicionais disponíveis para tráfego motorizado, considerando comprimento das filas, tempo de atraso, capacidade de passagem, velocidade média e emissões atmosféricas e os compara com o desempenho do tráfego heterogêneo no local.		-20,00%	-20,00%	-20,00%		Uso da ferramenta de simulação microscópica VISSIM. Cenário urbano.	19%	Ônibus, carros, motos, rickshaw (veículo de 3 rodas) e veículos lentos.
Sharma, H. K., Swami, M. e Swami, B. L. (2012)	Análise do impacto de faixas exclusivas para ônibus em Dalhi na Índia no cenário de término antes da linha de parada em cruzamentos sinalizados, com faixas adicionais disponíveis para tráfego motorizado, considerando comprimento das filas, tempo de atraso, capacidade de passagem, velocidade média e emissões atmosféricas e os compara com o desempenho do tráfego heterogêneo no local.		-19,00%	-19,00%	-19,00%		Uso da ferramenta de simulação microscópica VISSIM. Cenário urbano.	23%	Ônibus, carros, motos, rickshaw (veículo de 3 rodas) e veículos lentos.

Fonte: Elaborado pelos autores

Da amostra selecionada, foram removidos os estudos de Malheiros et al (2017) e Cengiz (2017). O primeiro porque não indicou de forma expressa qual foi o aumento de velocidade estimado, embora tenha mencionado que houve aumento de velocidade na simulação realizada e o último porque reportou um caso real de implantação de BRT em Istambul na Turquia, entretanto, em seu reporte foi apenas relatado os números de redução, mas não foi indicada as reduções em termos percentuais, ou então indicada qual seria o número de emissões anterior ao BRT para estimar esses dados. Também foi informado um número fixo de velocidade, de 35 km/h, ao qual a autora relata ser uma das maiores velocidades de BRT em área urbana, mas não compara com velocidade anterior ou menciona qual seria o ganho.

O total foi de 12 amostras, sendo que todas avaliaram os parâmetros CO e NOx, 9 avaliaram VOC, 7 avaliaram MP, e 3 avaliaram CO₂. Neste último apenas o estudo de Castro e Strambi (2008) considerou esse parâmetro, entretanto, em 3 cenários distintos que indicaram ganhos em velocidade.

4.2 Ajuste de Modelos Estatísticos

Abaixo na Tabela 1 seguem os dados conforme aplicação das fórmulas para cada um dos poluentes e velocidade:

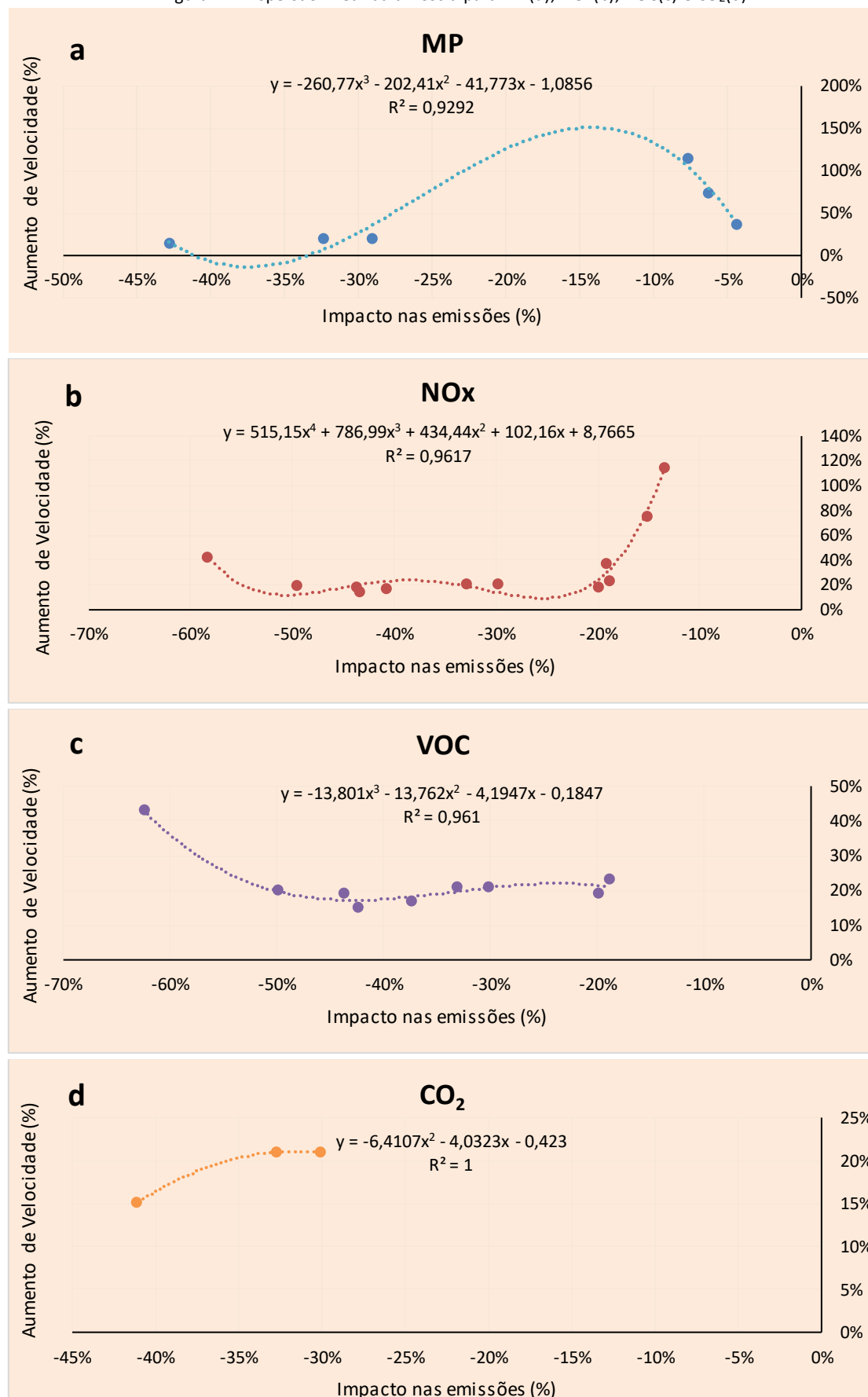
Tabela 1 – Resultado dos cálculos para média, erro da média, desvio padrão e intervalo de confiança

Variável	MP (%)	CO (%)	NOx (%)	VOC (%)	CO ₂ (%)	Velocidade (%)
\bar{x}	-20	-38	-32	-38	-35	35,50
σ	16,36	7,21	11,72	6,35	5,78	39,66
E	2,73	0,60	0,98	0,71	1,93	3,30
IC	+	-15,14	-37,23	-30,27	-36,24	-30,93
	-	-25,84	-39,58	-34,10	-39,10	-38,48

Fonte: Elaborado pelos autores

Abaixo na Figura 2 segue representação gráfica dos resultados obtidos de dispersão linear, com linha de tendência polinomial de grau 4 para NOx, grau 3 para MP, CO e VOC e de grau 2 para CO₂, os quais pudemos obter a equação para cada caso.

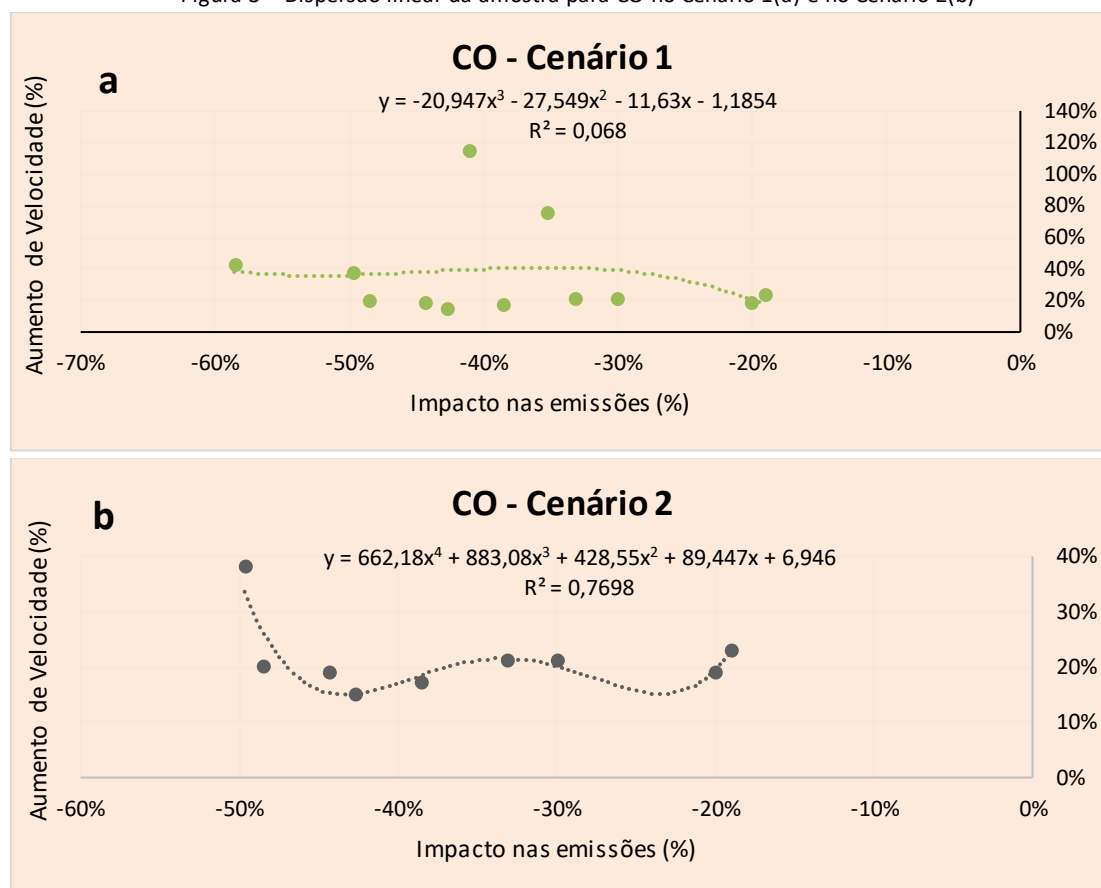
Figura 2 – Dispersão linear da amostra para MP(a), NOx(b), VOC(c) e CO₂(d)



Fonte: Elaborado pelos autores

Em relação ao CO, a análise considerando todas as amostras o R^2 foi muito baixo, de 0,068, Figura 3a, denominado Cenário 1. Dessa forma, a fim de trazer resultados mais significativos, foram desconsiderados dados do cenário 3 e 4 de Abbasi, Hosseinlou e JafarzadehFadaki (2020) de aumento de velocidade de 75% e 115%, respectivamente e também o cenário 4 de Dadashzadeh e Ergun (2019) de aumento de velocidade de 43%, considerando o desvio padrão e erro da média e foi realizada nova análise, Cenário 2, Figura 3b com linha de tendência polinomial foi traçada com grau 6, trazendo o R^2 para 0,8882.

Figura 3 – Dispersão linear da amostra para CO no Cenário 1(a) e no Cenário 2(b)



Fonte: Elaborado pelos autores

4.3 Aplicação do Modelo no Projeto Inter 2

Abaixo na Tabela 2 seguem os dados obtidos das aplicações das fórmulas obtidas, dentro dos cenários otimista e conservador, considerando apenas números reais:

Tabela 2 – Resultados dos impactos nas emissões de poluentes pelo aumento de velocidade previsto no Inter 2

Aumento de Velocidade	Grau de Redução	MP (%)	CO (%)	NOx (%)	VOC (%)
Cenário conservador (30%)	Menor Redução	-4,08		-19,6	
	Média Redução	-29,68	-49,13	-	-57,46
	Maior Redução	-43,86		-56,74	
Cenário otimista (40%)	Menor Redução	-4,47		-18,05	
	Média Redução	-28,66	-50,46	-	-61,50
	Maior Redução	-44,50		-57,95	

Fonte: Elaborado pelos autores

Os dados foram classificados conforme o grau de redução, tendo em vista que os poluentes MP e NOx apresentaram mais de uma raiz real, propiciando várias possibilidades dentro do mesmo cenário. Para o CO e os VOCs, os resultados indicaram apenas um valor.

Nos intervalos de aumento de velocidade de 30% e 40%, não foram encontradas raízes reais para o CO₂. A partir da análise do gráfico da Figura 2d, essa ausência de raízes pode ser explicada pelo fato de os dados se basearem em uma única pesquisa, a qual considerou três cenários reais durante horários de pico em um corredor de ônibus em São Paulo. Observa-se que o cenário com um aumento de 15% na velocidade apresentou uma redução maior nas emissões em comparação aos cenários com 21%, não sendo possível identificar uma relação clara entre o aumento da velocidade e a redução das emissões de CO₂.

O cenário de aumento de 40% de velocidade foi o que obteve melhor resultado de redução em todos os poluentes estudados, quando considerado o grau de maior redução nos que apresentaram mais de um resultado. Examinando o grau de redução médio para o MP, o cenário conservador obteve levemente um resultado melhor, de -29,68%, enquanto no cenário otimista foi de -28,66%. Para o NOx, considerando o menor grau de redução, o cenário conservador também apresentou uma redução menor quando comparado com o otimista, de -19,6% frente a -18,05%. Essa variação se deve ao fato de que o comportamento de redução não é linear.

4.4 Discussão dos Resultados

Os resultados obtidos demonstram que melhorias na via que proporcionam maior fluidez no tráfego para ônibus com aumento de velocidade indicam mandatoriamente na redução na emissão de gases poluentes em todos os cenários analisados, considerando o uso de mesmo modelo de veículo movido à combustível a Diesel.

Dos estudos inclusos nas análises, o Cenário 2 de Abbasi, Hosseinlou e JafarzadehFadaki (2020) é o que apresenta aumento de velocidade semelhante ao pretendido com o Projeto Inter 2, de 38%, e que possui condições similares, como situação em área urbana melhoria por sistema BRT e ônibus movido à Diesel, os valores quando comparados, praticamente se equivalem nos cenários mais conservadores dos poluentes analisados. Nesse estudo a redução obtida foi 4,45% de MP, que foi um valor similar aos cenários de menor grau de redução tanto na faixa de 30% de aumento de velocidade, quanto na faixa de 40%, que foi de 4,08% e 4,47% de redução. Em relação ao CO, Abbasi, Hosseinlou e JafarzadehFadaki (2020) obtiveram 49,57% de redução, valor muito próximo ao obtido, que foi de redução de 49,13% para aumento de velocidade de 30% e 50,46% para aumento de 40% de velocidade. Para NOx, o referido estudo encontrou valores similares com os cenários de menor grau de redução do Projeto Inter 2, sendo que o primeiro foi de 19,30% de redução e para o Projeto Inter 2, foram encontrados valores de 19,16% de redução para aumento de velocidade de 30% e 18,05 para 40%.

Dadashzadeh e Ergun (2019) analisou aumento de velocidade em 43% em cenário rodoviário e considerando mais veículos além do ônibus, como carros, micro-ônibus, ônibus de 2 andares e metrobús no cenário rodoviário, particularidades que trazem divergência às perspectivas do Projeto Inter 2. Constatou-se que os valores desse estudo em relação a redução de emissões se encontram com o cenário otimista de maior grau de redução do Projeto Inter 2. Para o CO foi obtido nesse estudo uma redução de 58,57% e no Projeto Inter 2 foi detectada

uma redução máxima de 50,46%, para os demais poluentes temos para NOx redução de 58,39%, enquanto no Projeto Inter 2 foi de 57,95% e para VOC a redução foi de 62,50%, e no presente estudo de 61,50%.

Dos poluentes analisados, o CO foi o que apresentou o menor erro da média, entretanto, considerando todo o conjunto amostral, não foi possível demonstrar clareza na linha de tendência gerada, sendo necessária a remoção de dados mais dispersos para alinhar maior precisão.

A redução real pode ser ainda maior considerando que há a previsão no projeto de substituição da frota de ônibus movido à Diesel por ônibus elétricos. Curitiba (2019) afirma que a linha Inter 2, dentro da reestruturação da RIT, será a primeira a operar com veículos elétricos. Pereira et al (2021) identificou o potencial de redução de CO₂ entre 81 e 90% trocando os ônibus a Diesel por ônibus elétricos utilizando a matriz energética nacional em Curitiba-PR.

Outro fator que pode contribuir com maior redução de poluentes atmosféricos, seria a previsão de substituição até 2025 de 12 estações do tipo tubo da linha Inter 2 pelo exemplar Prisma Solar, desenvolvido pelo IPPUC, que se trata de um modelo totalmente fechado, climatizado, energeticamente autônomo e com biometria facial (Galani, 2022).

Uma condição do Projeto Inter 2 que afeta negativamente na redução de emissões é a supressão de vegetação que está sendo realizada para viabilizar o projeto, o que impacta diretamente na neutralização do carbono. Foi previsto inicialmente a supressão de 32 indivíduos arbóreos na Praça Dom Geraldo Fernandes, em função da ampliação do Terminal Hauer, além de 24 árvores na área do Terminal Campina do Siqueira e outros locais como o Viaduto Tarumã e das praças Conselheiro Thomas Coelho, Cova da Iria e a Praça da Ucrânia na área do BRT LESTE OESTE, segundo dados da Avaliação Ambiental (Curitiba, 2019). Reverbero (2024) relatou que até setembro de 2024 já haviam sido suprimidos 40 indivíduos arbóreos na Avenida Vitor Ferreira do Amaral e 25 na Airton Plaisant e que há previsão de corte de mais 230 árvores no Corredor Verde da Avenida Arthur Bernardes.

No entanto, apesar da supressão que está sendo realizada, a lei municipal exige compensação ambiental com ao menos o plantio do dobro de unidades que forem suprimidas e está previsto além da compensação obrigatória, o plantio de mais de 5 mil novas árvores, nos bairros adjacentes, devido ao Projeto Inter 2 (Tribuna do Paraná, 2024). Dessa forma, o impacto de supressão de vegetação será mitigado ao longo do tempo com o crescimento das árvores compensadas, de modo a alcançar o porte e capacidade de captura de carbono.

5 CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou que a remodelação da Linha Inter 2 de ônibus em Curitiba-PR, associada ao aumento da velocidade do tráfego, tem um grande potencial para reduzir as emissões de poluentes atmosféricos em todos os cenários avaliados.

Para o cenário otimista, que seria do aumento de 40% de velocidade, prevê-se a redução de ao menos 50% das emissões totais de poluentes, sendo 50,43% para as emissões de CO; 61,50% para VOCs; 44,50% para MP e 56,74% para NOx. Esse cenário se demonstrou similar aos estudos realizados de melhorias de tráfego em rodovias e que consideraram além de ônibus, carros e outros veículos, ou seja, um cenário com condições bastante diversas do Projeto Inter 2.

Para o cenário conservador, que seria do aumento de 30% de velocidade, prevê-se ainda valores de redução expressivos nos poluentes, de redução de 49,13% para as emissões de CO; 57,46% para VOCs; e considerando o menor grau de redução, 4,08% para MP e 19,16% para NOx. Nas comparações com análises realizadas em ambientes similares ao do Projeto Inter 2, encontrou-se maior aderência aos valores conservadores.

Ainda, os dados reais podem proporcionar maior redução do que os valores obtidos, tendo em vista que não foi considerado a substituição da frota a Diesel por elétrica e novos pontos de ônibus movidos à energia solar. A supressão de vegetação prevista irá contribuir negativamente com as emissões, entretanto, como está previsto como medida mitigadora plantio de mais de 5 mil indivíduos arbóreos nos bairros adjacentes, ao longo do tempo as emissões serão compensadas.

Essas reduções obtidas são especialmente relevantes em um contexto urbano que busca alcançar metas climáticas e promover a mobilidade sustentável e fornecem dados cruciais para o planejamento urbano, ajudando na tomada de decisões que equilibram a eficiência do tráfego com a redução das emissões.

O método adotado neste trabalho surge como uma alternativa viável e eficiente para a avaliação de impactos ambientais em projetos de mobilidade urbana através da oferta uma abordagem acessível para a estimativa do impacto nas emissões veiculares, permitindo sua aplicação em diversos projetos de melhoria viária que resultam em ganhos de velocidade.

Essa metodologia se destaca pela simplicidade em comparação com o uso de softwares de simulação de tráfego, que permite a utilização para outros projetos. Os simuladores exigem por vezes uma grande quantidade de dados de entrada detalhados, como a geometria da infraestrutura, a demanda de tráfego, as características dos veículos, os controles semafóricos e as condições ambientais. Muitas dessas informações podem ser difíceis de obter, demandando esforço significativo para coleta, tratamento e dimensionamento. Além disso, o uso de simuladores requer conhecimentos avançados em modelagem computacional, programação e domínio da ferramenta específica, o que pode representar uma barreira para sua aplicação em determinados contextos.

Para estudos futuros, como não foram encontrados reportes oficiais de estimativa de emissões atmosféricas por poluentes para a linha Inter 2 em Curitiba, sugere-se que seja realizado o dimensionamento para obter as reduções de poluentes em toneladas. Também como houve limitação de apenas 1 estudo encontrado para CO₂, o que inviabilizou as estimativas, seria de grande relevância buscar pesquisas que tenham realizado aferições para esse poluente a fim de contemplar o poluente nas análises.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ABBASI, M.; HOSSEINLOU, M. H.; JAFARZADEHFADAKI, S. An investigation of Bus Rapid Transit System (BRT) based on economic and air pollution analysis (Tehran, Iran). **Case Studies on Transport Policy**, v. 8, n. 2, p. 553-563, 2020. DOI: 10.1016/j.cstp.2019.11.008.

ANGELO, C.; RITTL, C. Análise das Emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas implicações para as metas do Brasil. **Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa**, p. 1-33, 2019.

BERTOLINI, L.; CLERCQ, F. Urban development without more mobility by car? Lessons from Amsterdam, a multimodal urban region. **Environment and Planning A: Economy and Space**, v. 35, n. 4, 2003. DOI: 10.1068/a35.

BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO - BID. **Obras financiadas buscam aprimorar integração do sistema de transportes nas linhas circulares Inter 2 e Interbairros II utilizando inovação e tecnologia**. 2020.

Disponível em: <https://www.iadb.org/pt-br/noticias/programa-de-mobilidade-urbana-de-curitiba-tera-apoio-de-us-1067-milhoes-do-bid>. Acesso em: 9 mar. 2025.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Diagnóstico e benchmarking em ônibus elétricos no atual contexto brasileiro**. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/central-de-conteudos/publicacoes/mobilidade-urbana/arquivos/diagnostico-e-benchmarking-em-onibus-eletricos-no-atual-contexto-brasileiro.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2025.

BRASIL. **Relatório Executivo: Plano Nacional de Logística de Transportes (PNLT)**. 2025. Disponível em: <https://www.ppi.gov.br/wp-content/uploads/2023/01/plano-nacional-de-logisticapnl.pdf>. Acesso em: 9 mar. 2025.

CASTRO, C. F. C. D.; STRAMBI, O. **Avaliação de emissões veiculares em corredores de ônibus: Estudo antes e depois utilizando o modelo IVE**. In: ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 22., 2008, Fortaleza. Anais... Fortaleza: ANPET, 2008.

CENGİZ, E. C. Bus rapid transit: An environmental friendly transport solution for Istanbul. **International Journal of Transport Development and Integration**, v. 1, n. 1, p. 54-62, 2016.

CHEN, X.; HU, X.; WANG, R.; ZHAO, J. Research progress and prospects of transit priority signal intersection control considering carbon emissions in a connected vehicle environment. **World Electric Vehicle Journal**, v. 15, n. 135, 2024. DOI: 10.3390/wevj15040135.

CURITIBA. **Programa de Mobilidade Urbana Sustentável de Curitiba: Avaliação Ambiental e Social da Amostra Representativa do Programa**. 2019. Acessado em: 29 set. 2024. Disponível em: <https://www.iadb.org/en/project/BR-L1532>.

CURITIBA. **Plenário pede revisão da obra do Inter 2 na Avenida Arthur Bernardes**. 2024. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.leg.br/informacao/noticias/plenario-pede-revisao-da-obra-do-inter-2-na-avenida-arthur-bernardes>. Acesso em: 9 mar. 2025.

CLIMATE WATCH. **Global Historical Emissions**. 2022. Disponível em: https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?breakBy=countries&end_year=2022&gases=ch4%2Cco2%2Cf-gas%2Cn2o&source=PIK&start_year=1850. Acesso em: 9 mar. 2025.

DADASHZADEH, N.; ERGUN, M. An Integrated Variable Speed Limit and ALINEA Ramp Metering Model in the Presence of High Bus Volume. **Sustainability**, v. 11, n. 22, p. 6326, 2019. DOI: 10.3390/su11226326.

DOLIVEIRA, Sérgio Luis Dias; DA CUNHA, Sieglinde Kindl; MASSUGA, Flavia. The 2030 Agenda in the Socio-Technical Transition Context in the City of Curitiba: Set of Public Policies Directed at the SDG-11—Sustainable Cities and Communities. In: **Sustainability in Practice: Addressing Challenges and Creating Opportunities in Latin America**. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023. p. 247-263.

DUARTE, F.; FIRMINO, R.; PRESTES, O. Learning from failures: Avoiding asymmetrical views of public transportation initiatives in Curitiba. **Journal of Urban Technology**, v. 18, n. 3, p. 81-100, 2011. DOI: 10.1080/10630732.2011.615569.

GALANI, L., 2022. Novo modelo de estação de ônibus será autossuficiente, climatizado e com biometria facial. **Revista Haus**, 2022. Disponível em: <https://revistahaus.com.br/haus/arquitetura/estacao-onibus-inter-2-curitiba-novo-modelo/>. Acesso em: 9 mar. 2025.

HU, X.; CHEN, X.; GUO, J.; DAI, G.; ZHAO, J.; LONG, B.; ZHANG, T.; CHEN, S. Optimization model for bus priority control considering carbon emissions under non-bus lane conditions. **Journal of Cleaner Production**, v. 402, 2023. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.136747.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. **Relatórios SEEG 2018 – Energia**. São Paulo: IEMA, 2018. Disponível em: <https://diariodotransporte.com.br/wp-content/uploads/2018/06/Relatorios-SEEG-2018-Energia.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS APLICADAS - IPEA. Poluição veicular atmosférica. **IPEA**, v. 113, 2011. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/Imagens/CNT/PDFs/CNT/comunicado_ipea220911.pdf>. Acesso em: 9 mar. 2025.

JAIPRAKASH, A.; HABIB, G. On-road assessment of light duty vehicles in Delhi city: Emission factors of CO, CO₂ and NO_x. **Atmospheric Environment**, v. 174, p. 132-139, 2018. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2017.11.039

KWAK, J.; PARK, B.; LEE, J. Evaluating the impacts of urban corridor traffic signal optimization on vehicle emissions and fuel consumption. **Transportation Planning and Technology**, v. 35, n. 2, p. 145-160, 2012. DOI: 10.1080/03081060.2011.651877.

LÓPEZ, L. A.; DOMINGOS, T.; CADARSO, M. Á.; ZAFRILLA, J. E. The smarter, the cleaner? Collaborative footprint: A further look at taxi sharing. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)**, v. 111, n. 51, p. E5488, 2014. DOI: 10.1073/pnas.1420242112.

MALHEIROS, A. L.; PERAZZOLI, D. L.; VENTURA, L. M. B.; JAEN, M. Avaliação do benefício ambiental da implantação da TransOlimpica na redução das emissões atmosféricas. **Revista dos Transportes Públicos**, v. 39, 2017.

MEDEIROS, R. M.; DUARTE, F.; BOJIC, I.; XU, I.; SANTI, P.; RATTI, C. Merging transport network companies and taxis in Curitiba's BRT system. **Public Transport**, v. 16, p. 269-293, 2023. DOI: 10.1007/s12469-023-00342-7.

PEREIRA, J. S., et al. An Energy Transition Analysis for a Public Transit Bus System. **Theoretical and Empirical Researches in Urban Management**, v. 16, n. 3, p. 53-72, 2021.

REVERBERO. Curitiba: Projeto Inter 2, que derrubará quase 300 árvores, custará R\$ 91 milhões. Reverbero, 2024. Disponível em: <https://reverbero.com.br/2024/09/03/curitiba-projeto-inter-2-que-derrubara-quase-300-arvores-custara-r-91-milhoes/>. Acesso em: 09 mar. 2025.

SHARMA, H. K.; SWAMI, B. L. Performance enhancement and congestion reduction at busy signalized at-grade intersection with Bus Rapid Transit corridor and mixed traffic in India. **Urban Public Transportation Systems**, 2013, p. 136-147. DOI: 10.1061/9780784413210.013.

SHARMA, H. K.; SWAMI, Mansha; SWAMI, B. L. Optimizing performance of at-grade intersection with bus rapid transit corridor and heterogeneous traffic. **International Journal of Transportation Science and Technology**, v. 1, n. 2, p. 131-145, 2012. DOI: 10.1260/2046-0430.1.2.131

TEIXEIRA, E. C.; FELTES, S.; SANTANA, E. R. R. Estudo das emissões de fontes móveis na região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande Do Sul. **Química Nova**, Vol. 31, pág. 244, 2008. DOI: 10.1590/S0100-40422008000200010

TRIBUNA DO PARANÁ. Avenida de Curitiba vai ganhar novo corredor verde após megacorte de 40 árvores. **Tribuna do Paraná**, Curitiba, 3 abr. 2024. Disponível em: <https://www.tribunapr.com.br/noticias/curitiba-regiao/avenida-de-curitiba-vai-ganhar-novo-corredor-verde-apos-megacorte-de-arvores/>. Acesso em: 09 mar. 2025.

URBS. **ITIBUS**. 2024. Disponível em: <https://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/mobile/itibus#>. Acesso em: 9 mar. 2025.

WEBER, B.; DA ROCHA, P.; SCHNEIDER, P.; DAEMME, C.; PENTEADO NETO, R. Energy and emission impacts of liquid fueled engines compared to electric motors for small size motorcycles based on the Brazilian scenario. **Energy**, v. 168, p. 70-79, 2019. DOI: 10.1016/j.energy.2018.11.051.

XU, Y.; WENG, D.; WANG, S.; GE, Q.; HU, X.; HU, X.; ZHANYONG, W.; ZHANG, L. Trends in emissions from road traffic in rapidly urbanizing areas. **Sustainability**, v. 16, n. 17, p. 7400, 2024. DOI: 10.3390/su16177400.

DECLARAÇÕES

CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

Ao descrever a participação de cada autor no manuscrito, utilize os seguintes critérios:

- **Concepção e Design do Estudo:** Eduardo Cesar Amancio
 - **Curadoria de Dados:** Sara Coimbra da Silva
 - **Análise Formal:** Sara Coimbra da Silva
 - **Aquisição de Financiamento:** Não se aplica
 - **Investigação:** Sara Coimbra da Silva
 - **Metodologia:** Eduardo Cesar Amancio e Sara Coimbra da Silva
 - **Redação - Rascunho Inicial:** Sara Coimbra da Silva
 - **Redação - Revisão Crítica:** Eduardo Cesar Amancio
 - **Revisão e Edição Final:** Sara Coimbra da Silva
 - **Supervisão:** Eduardo Cesar Amancio
-

DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Nós, Sara Coimbra da Silva e Eduardo Cesar Amancio declaramos que o manuscrito intitulado "**Aumento da capacidade e velocidade da linha direta Inter 2 em Curitiba-PR: Impactos nas emissões atmosféricas**":

1. **Vínculos Financeiros:** Não possui vínculos financeiros que possam influenciar os resultados ou interpretação do trabalho. Nenhuma instituição ou entidade financiadora esteve envolvida no desenvolvimento deste estudo.
 2. **Relações Profissionais:** Não possui relações profissionais que possam impactar na análise, interpretação ou apresentação dos resultados. Nenhuma relação profissional relevante ao conteúdo deste manuscrito foi estabelecida.
 3. **Conflitos Pessoais:** Não possui conflitos de interesse pessoais relacionados ao conteúdo do manuscrito. Nenhum conflito pessoal relacionado ao conteúdo foi identificado.
-