

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA**

RICARDO DE FREITAS VALLEJO

**UTILIZAÇÃO DO GÁS NATURAL E DO GÁS NATURAL
RENOVÁVEL NO TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS: UM
ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE SÃO PAULO**

**São Paulo
2023**

RICARDO DE FREITAS VALLEJO

UTILIZAÇÃO DO GÁS NATURAL E DO GÁS NATURAL RENOVÁVEL NO
TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS: UM ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE SÃO
PAULO

Versão Corrigida

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientadora: Profa. Dra. Dominique Mouette

São Paulo
2023

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

FICHA CATALOGRÁFICA

Vallejo, Ricardo de Freitas.

Utilização do gás natural e do gás natural renovável no transporte público por ônibus: um estudo de caso na cidade de São Paulo. / Ricardo de Freitas Ricardo de Freitas Vallejo; orientadora: Dominique Mouette. – São Paulo, 2023.

80 f.: il; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

1. Gás natural. 2. Biometano. 3. Transporte público. I. Título.

Elaborado por Maria Penha da Silva Oliveira CRB-8/6961

Nome: VALLEJO, Ricardo de Freitas

Título: Utilização do gás natural e do gás natural renovável no transporte público por ônibus:
um estudo de caso na cidade de São Paulo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovado em: 29/01/2024.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Edmilson Moutinho dos Santos

Julgamento: Aprovado

Instituição: Universidade de São Paulo

Assinatura: _____

Prof. Dr. Humberto de Paiva Júnior

Julgamento: Aprovado

Instituição: Universidade Federal do ABC

Assinatura: _____

Prof. Dr. Pedro Gerber Machado

Julgamento: Aprovado

Instituição: Universidade de São Paulo

Assinatura: _____

Profa. Dra. Dominique Mouette

Presidente

Instituição: Universidade de São Paulo

Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Este é um momento muito esperado que demandou muita dedicação, esforço e principalmente generosidade de quem nos ensinou, orientou e dividiu momentos, difíceis e felizes

Para começar, gostaria de agradecer e expressar gratidão a minha orientadora, Professora Dominique Mouette pela orientação excepcional, paciência e dedicação ao longo deste processo. Sua orientação sábia e dicas valiosas foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho, e estou imensamente grato por sua orientação.

Agradeço também ao professor Edmilson Moutinho, que é uma referência no setor de Petróleo e Gás, sempre inspirador e foi um dos principais incentivadores nessa minha jornada acadêmica.

A minha esposa e Amor, Flaviane Melo Lopes Vallejo, por estar sempre ao meu lado incentivando, apoiando e orientando. Você sempre foi uma inspiração para mim em todas as formas e é minha principal referência nessa vida.

Não posso deixar de agradecer aos meus pais que tanto amo, minha mãe Marize Aparecida de Freitas Vallejo, meu pai Carlos Teodulo de Carvalho Vallejo, muito obrigado por tudo que vocês fizeram e fazem por mim. Mesmo estando longe fisicamente, vocês estão sempre presentes nos valores, ensinamentos e respeito que me passaram.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para o sucesso deste trabalho. Cada pequeno gesto e palavra de encorajamento não passaram despercebidos.

Este trabalho não teria sido possível sem a colaboração e apoio de todos vocês. Obrigado por fazerem parte desta jornada acadêmica.

“Sempre parece impossível, até que seja feito.”

Nelson Mandela

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.”

Albert Einstein

RESUMO

VALLEJO, R. de F. **Utilização do gás natural e do gás natural renovável no transporte público por ônibus: um estudo de caso na cidade de São Paulo**. 2023. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

A busca por soluções energéticas de baixa emissão de carbono e redução na emissão de poluentes no transporte público por ônibus vem se tornando mais relevante nos últimos anos com a chegada de novas tecnologias de força motriz, sendo as principais o biodiesel, híbrido e elétrico. Além do desafio de inserir combustíveis menos poluentes, as grandes cidades estão inseridas em um cenário de redução de passageiro pagante e maior necessidade de subsídio público para equilibrar as finanças do sistema de transporte público. Algumas cidades no mundo optaram por uma transição mais viável economicamente e com redução das emissões, principalmente os poluentes locais. A pesquisa teve como objetivo mensurar impactos financeiros no transporte público e em suas emissões com a inserção do gás natural (GN) ou gás natural renovável (GNR) em substituição ao diesel em uma das capitais brasileiras.

Palavras-chave: Gás Natural. Gás Natural Renovável. Biometano. Transporte Público. Ônibus.

ABSTRACT

VALLEJO, R. de F. **Use of natural gas and renewable natural gas in public bus transport: a case study in the city of São Paulo.** 2023. Dissertation (Master of Science) – Institute of Energy and Environment, University of São Paulo, São Paulo, 2023.

The search for low-carbon energy solutions and the reduction of pollutants in public bus transportation has become increasingly relevant in recent years with the advent of new propulsion technologies, namely biodiesel, hybrid, and electric. In addition to the challenge of incorporating less polluting fuels, large cities are facing a scenario of declining fare-paying passengers and a greater need for public subsidies to balance the finances of the public transportation system. Some cities worldwide have opted for a more economically viable transition with reduced emissions, especially of local pollutants. The research aimed to measure the financial impacts on public transportation and its emissions by introducing natural gas (NG) or renewable natural gas (RNG) to replace diesel in one of the Brazilian capitals.

Keywords: Natural Gas. Renewable Natural Gas. Biomethane. Public Transportation. Bus.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Contribuição relativa de cada categoria na emissão de poluentes na RMSP, 2021.....	16
Figura 2 - Oferta potencial de gás natural (Brasil)	17
Figura 3 - Pirâmide inversa de prioridade no trânsito	20
Figura 4 - Dimensão da mobilidade urbana sustentável.....	22
Figura 5 - Sistema nacional de transporte urbano	23
Figura 6 - Distribuição das viagens por modo de transporte.....	25
Figura 7 - Mortes e acidentes de trânsito por modo de transporte em 2019	26
Figura 8 - Lei nº 12.587 (Lei da Mobilidade Urbana).....	27
Figura 9 - Período de utilização de combustível fóssil no sistema de transporte público por ônibus na Cidade de São Paulo	36
Figura 10 - Consumo de energia por segmento no Brasil	37
Figura 11 - Consumo de energia no segmento de transporte em 2021	37
Figura 12 - Diagrama conceitual de comparação das diferentes tecnologias.....	39
Figura 13 - Potencial nacional de produção de biogás	41
Figura 14 - Emissões totais, em 2022, em milhões de toneladas de CO ₂ equivalente, Brasil.....	41
Figura 15 - Modelo de remuneração dos operadores de transporte público por ônibus na cidade de São Paulo	45
Figura 16 - Etapas de formação da tarifa.....	47
Figura 17 - Etapas sugeridas pelo PRISMA.....	50
Figura 18 - Estrutura analítica de projeto	52
Figura 19 - Redes fornecedoras de gás natural.....	58
Figura 20 - Bases operacionais registradas na SPTrans	59
Figura 21 - Horários de abastecimento.....	60
Figura 22 - Dinâmica diária.....	61
Figura 23 - Dados de emissões dos motores Euro 6, a gás natural	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados operacionais do sistema de transporte público por ônibus em São Paulo	31
Tabela 2 – Desembolso com o sistema de transporte 2020/2021/2022 (valores em R\$ Mil)	32
Tabela 3 – Proposta de redução de emissões da Lei nº 16.802	35
Tabela 4 – Especificação do biometano oriundo de aterros e estações de tratamento de esgoto	40
Tabela 5 – Estimativa de frota circulante no estado de São Paulo em 2021	43
Tabela 6 – Emissões veiculares na Região Metropolitana de São Paulo em 2021	44
Tabela 7 – Itens de custo que compõem a tarifa de transporte público urbano nas capitais brasileiras.....	46
Tabela 8 – Composição dos custos do sistema de transporte público por ônibus da cidade de São Paulo....	48
Tabela 9 – Tabela de subsídio da cidade de São Paulo	49
Tabela 10 – Passos para elaboração da pergunta de pesquisa	51
Tabela 11 – Fases de funcionamento Ciclo Otto x Ciclo Diesel.....	55
Tabela 12 – Opções de tecnologias veiculares que utilizam o GN e GNR	56
Tabela 13 – Modelos de ônibus urbanos segundo ABNT NBR 15570.....	56
Tabela 14 – Números das concessões da Comgás.....	57
Tabela 15 – Detalhamento do abastecimento	62
Tabela 16 – Custo médio do sistema	64
Tabela 17 – Modelo Padron	64
Tabela 18 – Premissas de investimentos e custos	65
Tabela 19 – Composição do custo de manutenção do compressor	65
Tabela 20 – Modelagem de cenário base e cenário proposto	67
Tabela 21 – Modelagem de cenário base e cenário proposto	68
Tabela 22 – Comparativo entre cenário proposto e cenário de sensibilidade	69
Tabela 23 – Aplicação dos dois itens de sensibilidade.....	69
Tabela 24 – Fator de emissão de veículos pesados com motores do ciclo Diesel em g/km e g/kWh.....	70
Tabela 25 – Comparativo de emissões	71
Tabela 26 – Apuração da redução de poluentes locais (NO _x e MP).....	72

LISTA DE SIGLAS

Abiogás	Associação Brasileira do Biogás
BEN	Balanco Energético Nacional
BRT	Transporte Rápido por Ônibus
Cetesb	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Conama	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Comgás	Companhia de Gás de São Paulo
CMTC	Companhia Municipal de Transportes Coletivos
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
EAP	Estrutura Analítica de Projeto
EBTU	Empresa Brasileira de Transporte Urbano
GATUSA	Viações Garagem Americanópolis de Transportes Urbanos
GN	Gás natural
GNR	Gás natural renovável
GEE	Gases de Efeito Estufa
IPK	Índice de Passageiro por Quilômetro
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
MP	material particulado
MBB	Mercedes-Benz do Brasil
MDR	Ministério de Desenvolvimento Regional
NTU	Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos
NMHC	Hidrocarbonetos não metano
NOx	Óxidos de nitrogênio
OEM	<i>Original Equipment Manufacture</i>
PAC	Plano de Alteração de Combustível
PCEA	Plano de Controle de Poluição Veicular
PCPV	Plano de Controle de Emissões Atmosféricas
PNGN	Plano Nacional de Gás Natural
PNMU	Política Nacional de Mobilidade Urbana
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel
PREFE	Plano para o Controle das Fontes Estacionárias

PROCONVE Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
REN *Renewables Now*
SVMA Secretaria do Verde e do Meio Ambiente
SPTrans Secretaria Municipal de Mobilidade e Transporte da Cidade de São Paulo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Caracterização do Problema e Justificativa.....	16
1.2 Objetivo Geral.....	18
1.3 Objetivos Específicos	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 Mobilidade Urbana Sustentável.....	19
2.2 Transporte Público Urbano por Ônibus	22
2.3 Transporte Público por Ônibus na Cidade de São Paulo	27
2.3.1 Histórico do Projeto de Ônibus a Gás Natural em São Paulo.....	32
2.3.2 Projeto Ecofrotas	34
2.3.3 Lei de Mudança Climática	35
2.4 Balanço Energético Nacional.....	36
2.4.1 Gás Natural.....	38
2.4.2 Gás Natural Renovável – Biometano (GNR).....	39
2.5 Emissões no Setor de Transporte	41
2.5.1 Emissão Específica da Cidade de São Paulo.....	43
2.5.2 Custo e Tarifas.....	44
3 METODOLOGIA.....	50
3.1 Revisão Bibliográfica.....	50
3.2 Estrutura Analítica de Processo	51
3.3 Modelagem Técnica e Financeira.....	52
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
4.1 Tecnologias e Infraestrutura a GN e GNR.....	55
4.1.1 Tecnologias Veiculares para Utilização de Gás Natural e ou Gás Natural Renovável	55
4.1.2 Infraestrutura de Distribuição de Gás Natural.	57
4.2 Análise do Custo Operacional e Impacto Financeiro no Sistema de Transporte Público por Ônibus.....	63
4.3 Análise de Sensibilidade de Cenários.....	68
4.4 Avaliação dos Números de Emissões de Poluentes Locais e GEE.....	70
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

1 INTRODUÇÃO

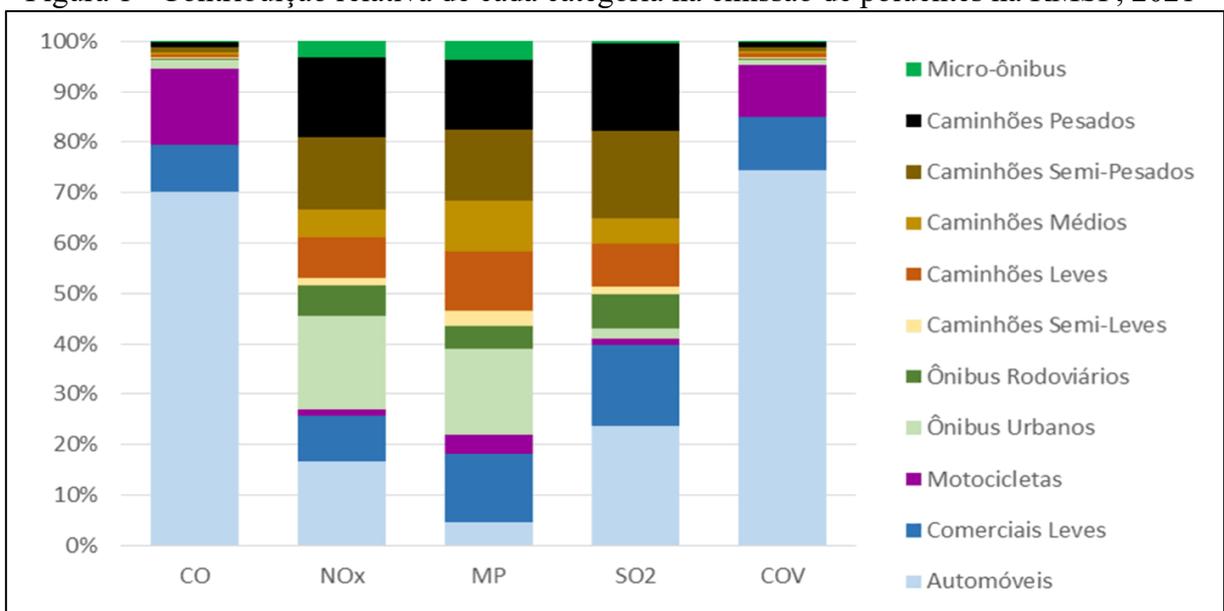
1.1 Caracterização do Problema e Justificativa

O segmento de transporte público se deparou com grandes desafios nos últimos anos relacionados a redução do número de passageiro, aumento de custos e pressões por reduções nas emissões veiculares de poluentes locais e Gases de Efeito Estufa (GEE), levando à necessidade de ampliar seu orçamento.

Segundo a Secretaria Municipal de Mobilidade e Transporte da Cidade de São Paulo (SPTrans, 2020), o sistema de transporte coletivo da cidade de São Paulo reduziu em 286 milhões o número de passageiros transportados entre o ano de 2013 e 2019, uma redução de 9,78% em 7 anos.

Em relação às emissões, embora o número absoluto de ônibus da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), de 55 mil, seja muito inferior aos números dos automóveis, 7 milhões, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2021) demonstrou, em seu Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo 2021, que uma parcela significativa de emissões de óxidos de nitrogênio (NOx), material particulado (MP) oriundas dos ônibus urbanos e rodoviários, conforme apresentado na Figura 1. Esses dados reforçam a necessidade por mudança de fontes energéticas menos poluentes, não apenas os Gases de Efeito Estufa (GEE), mas também os poluentes locais, que são nocivos à saúde da população.

Figura 1 - Contribuição relativa de cada categoria na emissão de poluentes na RMSP, 2021



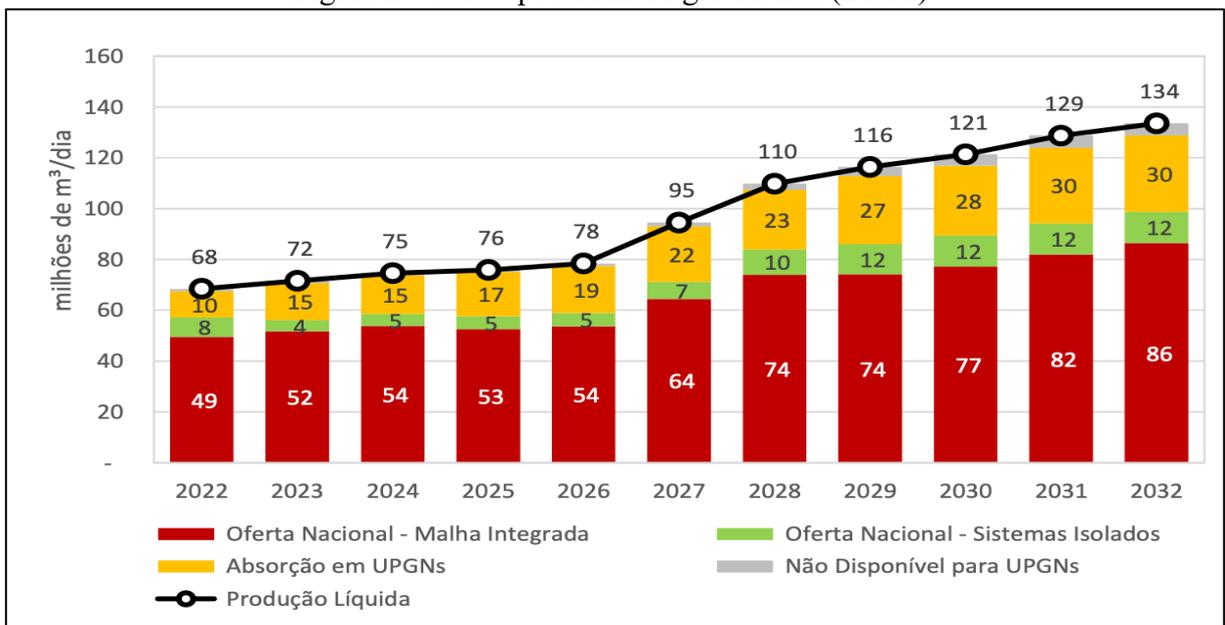
Fonte: CETESB (2021, p. 31).

Diante dos fatos relacionados, o segmento de transporte público será desafiado a elaborar planos para mitigar as emissões de poluentes locais e gás de efeito estufa (GEE) em sintonia com a viabilidade técnica e financeira do sistema de transporte. Além disso precisará direcionar esforços e investimentos para atração de novos passageiros

Como alternativa energética, o uso do gás natural (GN) e gás natural renovável (GNR), conhecido também por Biometano, pode ser uma opção de transição de baixa emissão de poluentes com custos operacionais competitivos. Essa tecnologia já é adotada por diversas cidades, como Basileia (Suíça), Cidade de Deli (Índia), Frankfurt (Alemanha), Gorna-Oryahovitsa (Bulgária), Skopje (Macedônia), Burgas (Bulgária), Laupheim (Alemanha), Atenas (Grécia) e Madri (Espanha), cuja frota de 767 ônibus urbano, representando cerca de 40% do total, é a maior da Europa e com tendência de aumentar nos próximos anos (Mouette *et al.*, 2018).

Além disso, o uso do GN e GNR no sistema de transporte público poderá desempenhar um papel econômico importante, criando um mercado consumidor para o aumento expressivo da oferta interna prevista para os próximos 10 anos, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e o Ministério de Minas e Energia (MME). O Figura 2 demonstra um crescimento de 64 milhões de m³/dia em 2022 para 136 milhões de m³/dia em 2031, ou seja, 112,5% de crescimento no período (EPE, 2021).

Figura 2 - Oferta potencial de gás natural (Brasil)



Fonte: (a) EPE (2023, p. 18).

1.2 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo principal analisar os efeitos financeiros e ambientais decorrentes da adoção de gás natural (GN) e/ou gás natural renovável (GNR) como combustível de transição no transporte público por ônibus na cidade de São Paulo. A escolha por GN e GNR decorre do aumento da projeção de oferta bem como experiências bem-sucedidas em outros países.

1.3 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos, desdobram-se da seguinte maneira:

- avaliar as tecnologias disponíveis para veículos movidos a gás natural e examinar a infraestrutura de distribuição deste combustível na cidade de São Paulo;
- analisar os impactos econômicos da transição energética no sistema de transporte público urbano, considerando aspectos como investimentos iniciais, custos operacionais e possíveis economias a longo prazo;
- desenvolver uma análise de sensibilidade para aproximar os custos da nova tecnologia de transporte movida a gás natural em comparação com a tecnologia existente movida a diesel. Isso permitirá identificar fatores críticos que influenciam a viabilidade econômica da transição;
- examinar as variações nas emissões de poluentes, tanto locais quanto GEE, decorrentes da substituição parcial do diesel por gás natural no transporte público por ônibus. Isso incluirá a avaliação dos impactos ambientais positivos e negativos associados à mudança de combustível.

Ao abordar estes objetivos específicos, o presente trabalho visa a contribuir para o conhecimento sobre a viabilidade econômica e os impactos ambientais da introdução de tecnologias movidas a GN e GNR no transporte público urbano, oferecendo dados para a tomada de decisões e políticas públicas relacionadas à sustentabilidade no setor de transporte.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Mobilidade Urbana Sustentável

O termo mobilidade não é sinônimo de transporte e apareceu nos últimos anos de maneira crescente nos meios de comunicação, possivelmente motivado pela instituição da Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU), instituída pela Lei 12.587, de 3 de janeiro de 2012, e a exigência da elaboração dos Planos de Mobilidade Urbana para cidades com mais de 20 mil habitantes, segundo artigo 24, inciso 1º e alínea (I)¹

Tendo isso em vista, Silva e Raia (2013) afirmam que a mobilidade urbana é um assunto de extrema importância e que merece ser discutido para fomentar o desenvolvimento, não apenas em relação ao meio urbano, mas também porque ela contribui significativamente para a qualidade de vida na cidade. É necessário que para o desenvolvimento das cidades haja assistência do transporte coletivo em todas as regiões da cidade, ampliando a utilização do uso e ocupação do solo (Souza, 2018).

A discussão sobre mobilidade urbana e sustentabilidade não é algo novo no Brasil e nem no mundo, principalmente em cidades globais.

Todavia, mediante a fatores históricos, no Brasil o que fica evidenciado é que com o avanço da indústria automotiva no país, os deslocamentos motorizados individuais foram os que mais cresceram nas grandes cidades brasileiras. A relação produção automobilística *versus* emprego, deixa a indústria automobilística com um forte poder de barganha frente ao governo. Por isto, tem um temor deste de adotar medidas que impactem diretamente ao setor (Carvalho, 2016).

Existe ainda, uma outra comparação entre rendas. Na classe com maior poder aquisitivo cresce exponencialmente a utilização de transporte privado. Já nas classes mais pobres são crescentes os gastos com transporte público. Porém, verifica-se que as famílias brasileiras, independentemente da classe social, têm a característica de gastar mais com transporte privado do que com transporte público (Carvalho, 2016).

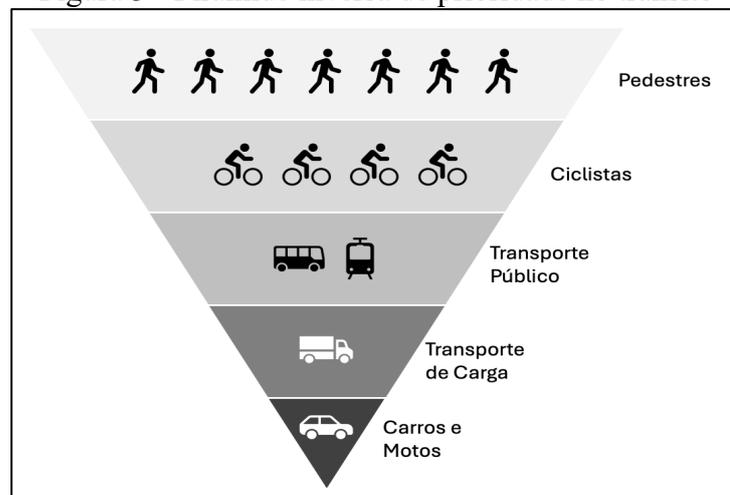
Mas qual o problema desse padrão de mobilidade estruturado nas viagens individuais motorizadas em detrimento das viagens por transporte público coletivo? Do ponto de vista do bem-estar individual não há problema, considerando que todo cidadão almeja ter condições de comprar bens duráveis, em especial os veículos privados, e a economia nos últimos anos está

¹ https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112587.htm

propiciando às classes mais baixas esse direito, com reflexos positivos sobre o setor produtivo. Mas é do ponto de vista da qualidade de vida urbana e funcionamento das cidades que residem os maiores problemas, em função das externalidades negativas que esse modelo individualista gera (Carvalho, 2016).

A Figura 3 representa a pirâmide hierárquica de mobilidade que estabelece de forma invertida as prioridades em mobilidade urbana sustentável, tendo com maior prioridade os pedestres, de acordo com Clarisse Link, em entrevista a CAU/RS (2017).

Figura 3 - Pirâmide inversa de prioridade no trânsito



Fonte: Adaptado de ITDP Brasil (2017)².

A política nacional de transportes está enquadrada conceitualmente por elementos que se destacam como essenciais e definem as áreas prioritárias para a concretização da visão.

Em primeiro lugar, o fortalecimento de todos os modos de mobilidade com o objetivo de garantir a mobilidade e estimular o desenvolvimento social com três áreas prioritárias: acesso à propriedade comum; eficiência do transporte urbano; padrões de qualidade para serviços de transporte (IUC, 2017).

Em segundo lugar, o fortalecimento da infraestrutura de transporte “para o crescimento econômico”, seguem alguns princípios segundo IUC (2017):

- Transporte público, com ênfase na acessibilidade e infraestrutura de suporte. Estabelece-se que a implementação do transporte público urbano tem prioridade sobre todos os outros modos. Para garantir sua eficiência, planeja-se alocar e fortalecer espaços dedicados ou corredores de transporte público em eixos urbanos estruturantes e densos.

² <https://www.caurs.gov.br/mobilidade-mudanca-de-comportamento-para-um-novo-paradigma/>

- Transporte não motorizado para distâncias médias e acesso a serviços de transporte público. Percursos realizados por pedestres nos centros urbanos, com acessibilidade para pessoas com mobilidade reduzida e a aplicação da bicicleta como meio de transporte.
- Restrições de acesso para veículos privados a certas regiões, enquanto protege sua liberdade de uso. Reconhecendo as externalidades negativas do automóvel para o ambiente e o congestionamento, justifica-se manter ou reduzir as viagens motorizadas em áreas urbanas.
- Cidade e meio ambiente: o planejamento do sistema de transporte como instrumento de integração e desenvolvimento harmônico da cidade, seus moradores e suas atividades.

Para Campos (2006), o tema da mobilidade sustentável pode ser abordado sob duas vertentes: uma que relaciona a mobilidade no contexto socioeconômico; e outra mais relacionada à questão ambiental, descritas a seguir.

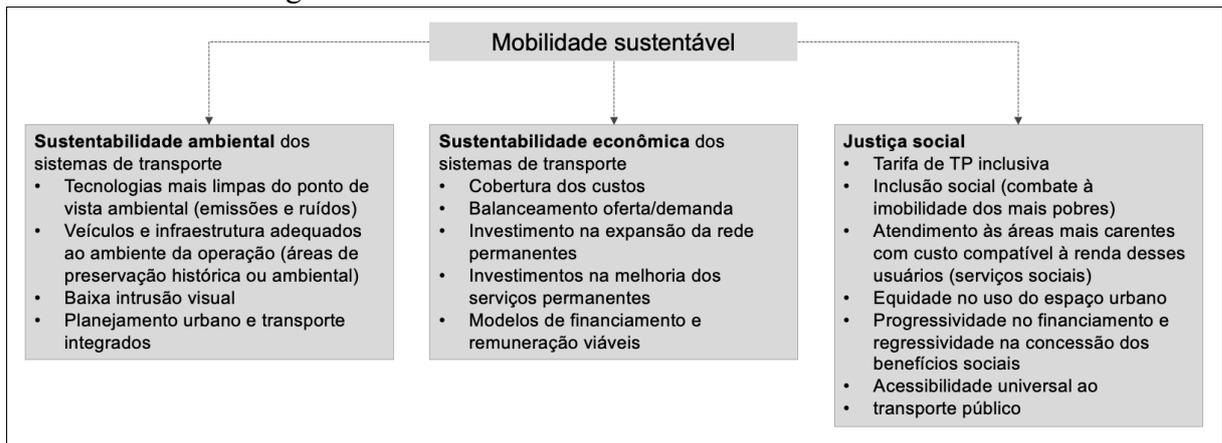
No contexto socioeconômico da área urbana pode ser vista através de ações sobre o uso e ocupação do solo e sobre a gestão dos transportes visando proporcionar acesso aos bens e serviços de uma forma eficiente para todos os habitantes, e assim, mantendo ou melhorando a qualidade de vida da população atual sem prejudicar a geração futura.

Um bom programa de políticas de atuação urbana (Campo, 2006) visando a mobilidade sustentável consiste na coordenação de ações conjuntas para produzir efeitos acumulativos de longo prazo atrelados ao balanceamento de metas ambientais, econômicas e sociais da sustentabilidade, incluindo as seguintes ações:

- Combinar políticas de tarifação de transporte público e uso de automóvel refletindo os custos externos causados e com diferenciação em relação a hora de pico e fora do pico, tanto quanto, em áreas congestionadas e não congestionadas.
- Direcionar os programas de investimento em transportes para as mudanças que possam ocorrer na demanda devido às políticas de ação anteriormente descritas e especialmente com relação ao aumento da demanda por melhores transportes públicos, ou seja, mais rápidos e com melhores serviços.
- Desenvolver um plano de uso do solo dando suporte a necessidade por novas moradias próximas as áreas centrais, em cidades satélites ou ao longo de corredores bem servidos de transporte público, além da crescente necessidade e oportunidade de utilizar o transporte público.

Muito em linha com esse pensamento, (Carvalho, 2016) sugere delinear os pressupostos básicos de uma mobilidade urbana sustentável, nos quais a proteção ambiental, a sustentabilidade econômica e a justiça social se tornam condicionantes importantes no processo de planejamento (Figura 4).

Figura 4 - Dimensão da mobilidade urbana sustentável



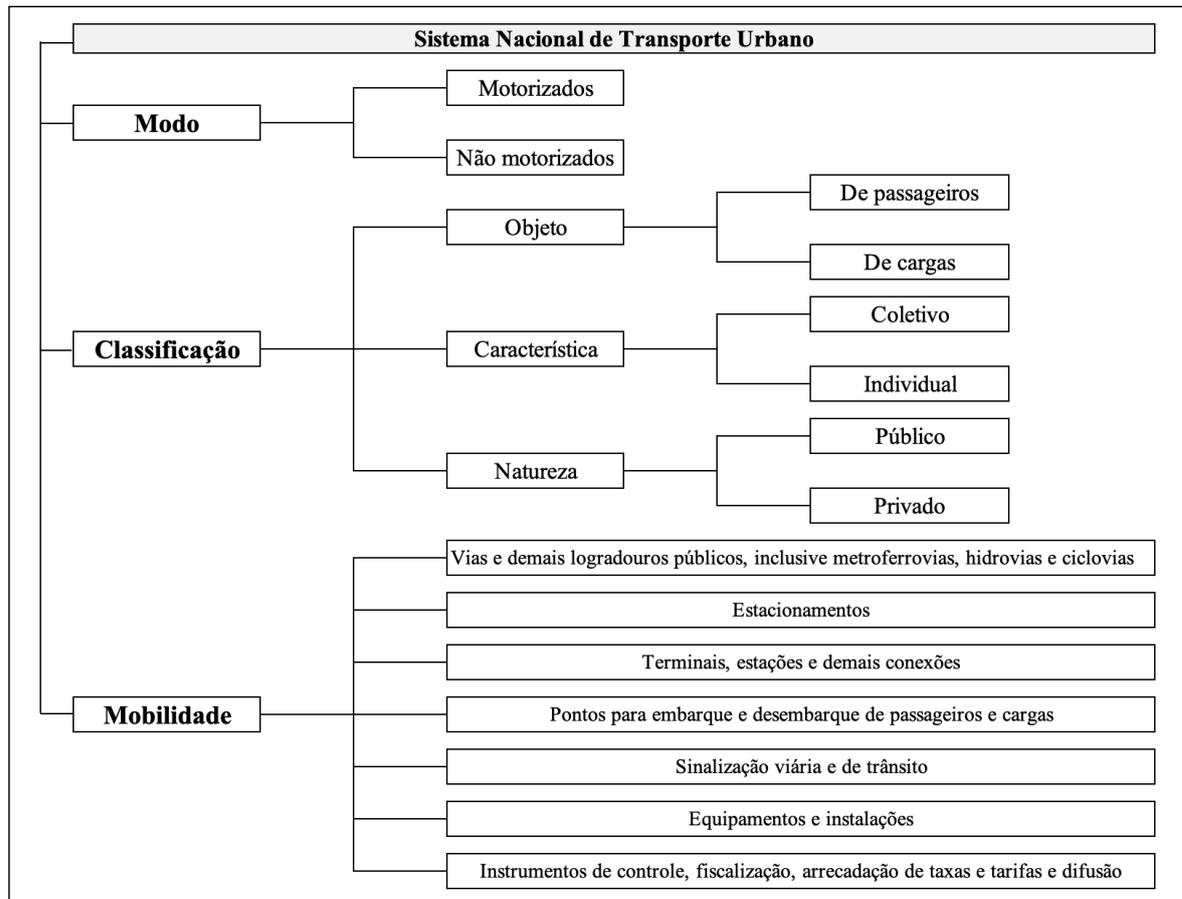
Fonte: Adaptado de Guedes *et al.* (2020).

2.2 Transporte Público Urbano por Ônibus

O sistema de transporte público abrange o transporte público coletivo, realizado em áreas urbanas, com características de deslocamento diário dos cidadãos. Este sistema é um conjunto de modais, infraestruturas e equipamentos que realizam o serviço de transporte de passageiros, devendo ser acessível à toda população, com itinerários e preços fixados pelo Poder Público. Cabe destacar que os próprios Governos Federais, Estaduais ou Municipais podem gerenciar os meios de transporte público ou realizar concessões a empresas públicas ou privadas (Santos, 2019).

De acordo com a Figura 5, o sistema de transporte, pode ser classificado em três dimensões: pelo objeto – passageiro ou carga; pela característica – coletivo ou individual; pela natureza – público ou privado.

Figura 5 - Sistema nacional de transporte urbano



Fonte: Castro *et al.* (2013, p. 6).

No caso do transporte público, coletivo de passageiro é um serviço público regular que integra o planejamento urbano e é essencial para vida das pessoas, portanto, precisa ser organizado e administrado pelo Poder Público, devendo ser provido de forma a prestar melhores serviços às pessoas com conforto, acessibilidade tarifária, segurança e qualidade.

O crescimento urbano acelerado dos últimos anos trouxe grandes desafios as cidades e à mobilidade urbana. O aumento dos congestionamentos, os acidentes de trânsito e a emissão de poluentes são alguns desses desafios. O resultado desse processo de crescimento acelerado e da falta de um sistema de transporte público coletivo capaz de atender a população, é o aumento da participação do modo de transporte individual, como carros e motocicletas, no transporte urbano (Ministério de Desenvolvimento Regional – MDR, 2021).

O aumento do uso de transporte individual motorizado amplia os desafios apontados e colabora de maneira substancial para a participação do segmento de transporte nas emissões Gases de Efeito Estufa (GEE).

Desde 2012, no Brasil, o Governo Federal, por meio da Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU) – Lei nº 12.587/2012 – busca estabelecer diretrizes para o planejamento integrado entre os diferentes modos de transportes e a melhoria da acessibilidade e mobilidade das pessoas e cargas nos municípios, conforme descrito no Capítulo I, Seção II da Seção II Dos Princípios, Diretrizes e Objetivos da Política Nacional de Mobilidade Urbana:

Art. 5º A Política Nacional de Mobilidade Urbana está fundamentada nos seguintes princípios:

- I - acessibilidade universal;
- II - desenvolvimento sustentável das cidades, nas dimensões socioeconômicas e ambientais;
- III - equidade no acesso dos cidadãos ao transporte público coletivo;
- IV - eficiência, eficácia e efetividade na prestação dos serviços de transporte urbano;
- V - gestão democrática e controle social do planejamento e avaliação da Política Nacional de Mobilidade Urbana;
- VI - segurança nos deslocamentos das pessoas;
- VII - justa distribuição dos benefícios e ônus decorrentes do uso dos diferentes modos e serviços;
- VIII - equidade no uso do espaço público de circulação, vias e logradouros; e
- IX - eficiência, eficácia e efetividade na circulação urbana.

Art. 6º A Política Nacional de Mobilidade Urbana é orientada pelas seguintes diretrizes:

- I - integração com a política de desenvolvimento urbano e respectivas políticas setoriais de habitação, saneamento básico, planejamento e gestão do uso do solo no âmbito dos entes federativos;
- II - prioridade dos modos de transportes não motorizados sobre os motorizados e dos serviços de transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado;
- III - integração entre os modos e serviços de transporte urbano;
- IV - mitigação dos custos ambientais, sociais e econômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas na cidade;
- V - incentivo ao desenvolvimento científico-tecnológico e ao uso de energias renováveis e menos poluentes;
- VI - priorização de projetos de transporte público coletivo estruturadores do território e indutores do desenvolvimento urbano integrado; e

VII - integração entre as cidades gêmeas localizadas na faixa de fronteira com outros países sobre a linha divisória internacional.

VIII - garantia de sustentabilidade econômica das redes de transporte público coletivo de passageiros, de modo a preservar a continuidade, a universalidade e a modicidade tarifária do serviço. (Incluído pela Lei nº 13.683, de 2018)

Art. 7º A Política Nacional de Mobilidade Urbana possui os seguintes objetivos:

- I - reduzir as desigualdades e promover a inclusão social;
- II - promover o acesso aos serviços básicos e equipamentos sociais;
- III - proporcionar melhoria nas condições urbanas da população no que se refere à acessibilidade e à mobilidade;
- IV - promover o desenvolvimento sustentável com a mitigação dos custos ambientais e socioeconômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas nas cidades; e
- V - consolidar a gestão democrática como instrumento e garantia da construção contínua do aprimoramento da mobilidade urbana (Brasil, 2012, art. 5-7).

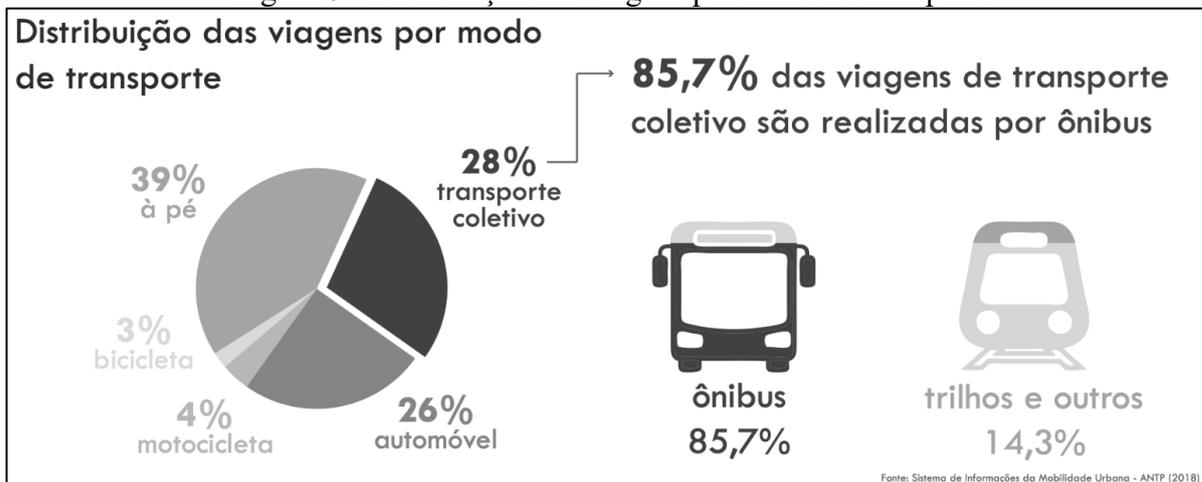
Dessa forma, o sistema de transporte coletivo urbano por ônibus, cumpre uma função primordial na movimentação diária da população nas áreas urbanas. De acordo com

Vasconcellos (2000), em países em desenvolvimento como o Brasil, o sistema de transporte mais comum no deslocamento urbano, independente da região, consiste no ônibus. Ele torna-se uma peça fundamental para uma grande parte da população, sendo o único sistema de transporte ao que alguns têm acesso.

Este mesmo ponto é reforçado por Costa (2008), que reforça que o ônibus nas cidades de médio e pequeno porte constitui o principal sistema de transporte público disponível, e nas cidades maiores funciona como um complemento importante na integração dos diferentes modais de transporte.

A Figura 6 demonstra que 28% da distribuição das viagens no Brasil é realizada por transporte coletivo, sendo 85,7% das viagens de transporte coletivo são realizadas por ônibus.

Figura 6 - Distribuição das viagens por modo de transporte



Fonte: NTU (2022, n.p).

Muitas cidades procuram um sistema de transporte público que seja eficiente e tenha um preço justo, que tenha alta adaptabilidade, integrando-se a outros sistemas existentes, de qualidade e que ajude no desenvolvimento do município.

Um sistema que vem se destacando por cumprir com essas características, além do fácil processo de implementação, é o Transporte Rápido por Ônibus (BRT) da sigla em inglês *Bus Rapid Transit* (Silva, 2005).

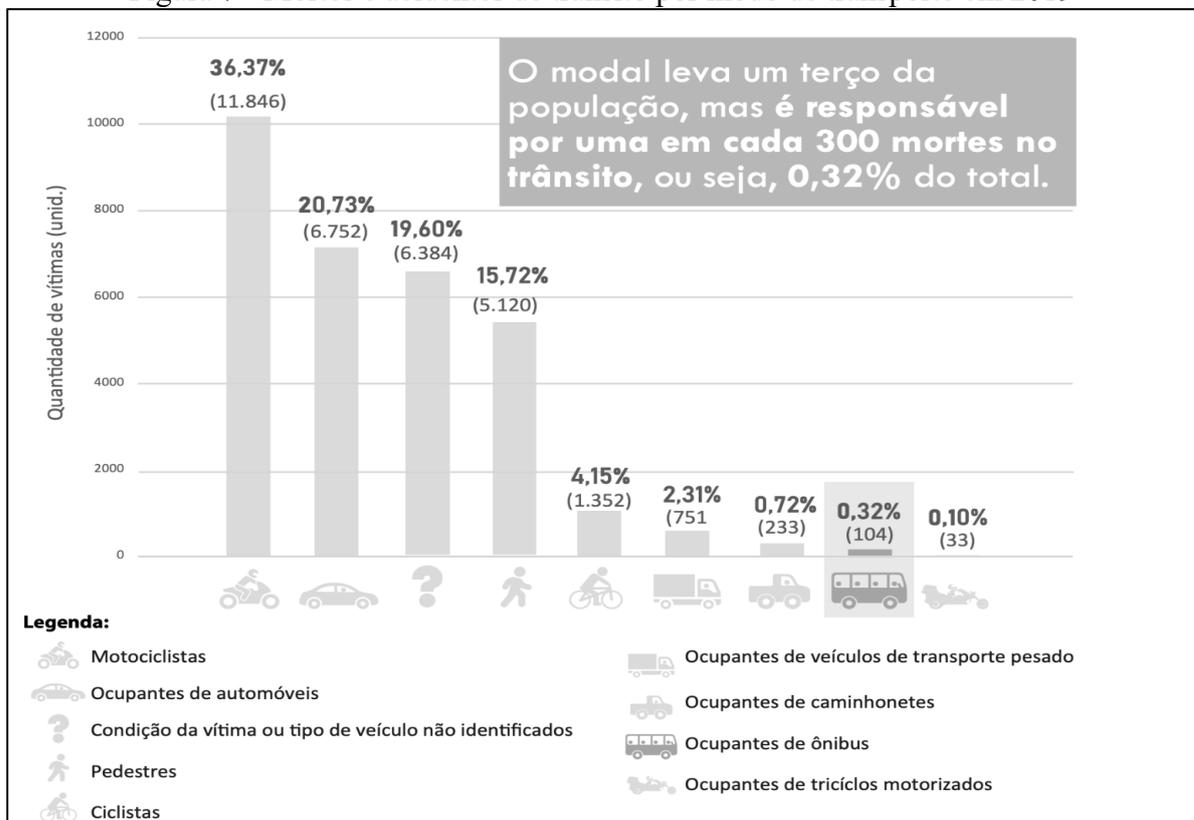
O BRT é um sistema de transporte por ônibus que possibilita mobilidade urbana de forma rápida, confortável e com um custo baixo, por meio de implantação de infraestrutura, sendo segregada ou com faixa prioritária de passagem, operação rápida e com alta frequência, distinguindo-se pelo serviço ao usuário.

Conforme Silva (2005), o BRT representa um sistema de transporte rápido sobre pneus, composto de estações exclusivas, terminais de integração, veículos articulados, vias de

rolamento segregadas ou exclusivas e com implementação de tecnologias modernas, com serviço de frequências elevadas, sistema de embarque pré-pago e integração com outros sistemas de transporte, contemplando elementos semelhantes aos dos metrô.

Em se tratando de segurança de trânsito, o ônibus urbano está entre as formas mais seguras de se viajar nas cidades, e está envolvido em uma quantidade muito pequena de acidentes, principalmente quando se consideram os acidentes com vítimas fatais, representar 0,42% do total de óbitos no trânsito, como descrito na Figura 7.

Figura 7 - Mortes e acidentes de trânsito por modo de transporte em 2019



Fonte: NTU (2023, n.p.).

Em resumo, o transporte público urbano por ônibus desempenha um papel fundamental na mobilidade das cidades, oferecendo uma solução eficiente, acessível e sustentável para o deslocamento de grande parte da população. Pode-se considerar como peça-chave na construção de cidades mais sustentáveis, acessíveis e eficientes em termos de mobilidade. Se bem planejado, implementado e mantido, esse sistema pode desempenhar um papel vital na promoção de uma qualidade de vida melhor para os habitantes urbanos.

Nesse ínterim, confirma-se legalmente a intenção do Governo Federal em promover a mobilidade urbana sustentável na recente Lei 12.587, de 3 de janeiro de 2012, que incorpora as diretrizes da PNDU e estabelece instrumentos para que os municípios possam executar um

plano de mobilidade e classifica as políticas de transporte e uso do solo, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Lei nº 12.587 (Lei da Mobilidade Urbana)

Objetivos	Reduzir as desigualdades e promover a inclusão social
	Promover o acesso aos serviços básicos e equipamentos sociais
	Proporcionar melhoria nas condições urbanas da população no que se refere a acessibilidade e a mobilidade
	Promover o desenvolvimento sustentável com a mitigação dos custos ambientais e socioeconômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas nas cidades
	Consolidar a gestão democrática como instrumento e garantia da construção contínua do aprimoramento da mobilidade urbana
Diretrizes de PNDU	Prioridade dos modos de transportes não motorizados sobre os motorizados e dos serviços de transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado;
	Integração entre os modos e serviços de transporte urbano;
	Mitigação dos custos ambientais, sociais e econômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas na cidade;
	Incentivo ao desenvolvimento científico-tecnológico e ao uso de energias renováveis e menos poluentes;
Diretrizes de PNDU	Priorização de projetos de transporte público coletivo estruturadores do território e indutores do desenvolvimento urbano integrado;
	Integração com a política de desenvolvimento urbano e respectivas políticas setoriais de habitação, saneamento básico, planejamento e gestão do uso do solo no âmbito dos entes federativos;
Uso do solo	Integração entre as cidades gêmeas localizadas na faixa fronteira com outros países sobre a linha divisória internacional.

Fonte: Seabra; Taco; Dominguez (2013, p. 120).

2.3 Transporte Público por Ônibus na Cidade de São Paulo

Segundo acervo da SPTrans, o início da história dos transportes coletivos em São Paulo remonta a 1865, quando a cidade ainda era caracterizada por poucos bairros e uma concentração populacional notável nas ruas Direita, do Rosário e São Bento, onde residiam as famílias de posses. Nesse período, bairros como Brás, Santo Amaro e Penha estavam em estágios iniciais de desenvolvimento, e alcançá-los exigia o aluguel de carros de boi. À época, não existia uma tabela ou método específico para determinar os preços das viagens. Contudo, em agosto do mesmo ano, um italiano chamado Donato Severino publicou em um jornal uma tabela de preços para carros de aluguel, estipulando valores por hora ou para destinos específicos. Começava então o transporte público tabelado.

Para resumir a evolução histórica do sistema de transporte público coletivo por ônibus da Cidade de São Paulo, destacamos a listagem que data de 1865 a 2005, extraída do Cronologia do Transporte na Cidade de São Paulo³:

- 1871: Fundação da Companhia de São Paulo.
- 1872: Início da operação dos bondes com tração animal.
- 1880: Foi construída a linha de bondes com início na rua da Liberdade, ligando a Capital à Vila de Santo Amaro.
- 1889: foi fundada a Companhia Viação Paulista. A ligação com os bairros novos, a disponibilidade de carros nas estações de trem e o serviço especial para teatro, festas e eventos, preenchiam as necessidades da população. A ampliação dos serviços exigiu outras providências e em 1893, foi regulamentada a emissão de passes pelo poder público, unificando os passes utilizados pela Companhia Carris e Viação Paulista.
- 1890: A cidade ganhou a primeira linha de bonde elétrico. Ela partia do Largo São Bento, seguia pelas ruas Líbero Badaró e São João em direção à Barra Funda, operada pela Companhia Carris de Ferro de São Paulo, inaugurada pela Light. Depois, em leilão, as empresas Carris e Viação Paulista passaram para a Light.
- 1896: Antônio Guacho, vindo do Canadá e o Comendador Antônio Augusto de Souza iniciaram entendimentos para formar uma empresa para a exploração de serviço de transporte por eletricidade.
- 1897: A Câmara Municipal liberou a concessão de operação dos serviços por 40 anos. Pelo acordo, Antônio Guacho e o Comendador deveriam construir em dois anos a ligação Centro da cidade/bairro da Penha. Guacho retornou ao Canadá e conseguiu investidores para o projeto.
- 1899: Os investidores fundaram, no Canadá, a The São Paulo Railway, Light & Power Company Ltda. No mesmo ano a empresa conseguiu autorização para atuar no Brasil.
- 1926: A capital ganhou destaque de centro urbano e, em 1926, 50 ônibus Yellow Coach importados da Europa operavam as linhas circulares até 1932.
- 1939: O Prefeito Prestes Maia criou a CETS Comissão de Estudos de Transportes Coletivos do Município de São Paulo, com o objetivo de elaborar um programa para a administração municipal assumir o controle dos transportes públicos.
- 1941: O governo federal prorroga compulsoriamente a concessão da Light para gerir os transportes públicos.
- 1946: O Prefeito Abrahão Ribeiro, por meio do Decreto Lei no. 365 de 10 de Outubro, determinou a constituição de uma empresa para prestar serviço de transportes coletivos por 30 anos - Companhia Municipal de Transportes Coletivos (CMTC).
- 1947: Os bondes ainda eram responsáveis pelo transporte de 65% da população; os outros 35% ficam para os ônibus. A CMTC recebeu o patrimônio da Light relativo ao transporte coletivo e assumiu a frota de todas as 37 empresas particulares existentes e suas 90 linhas municipais de ônibus. Mas muitos carros não tinham condições de circular e a situação se complicou ainda mais quando, um mês depois, a Companhia aumentou o valor das tarifas. A população se revoltou, alguns bondes e ônibus foram quebrados e a sigla CMTC era conhecida como "Custa Mais Trinta Centavos". Durante anos, várias tentativas foram implantadas para sanar as falhas, mas muitas não deram o resultado esperado.
- 1949: A CMTC implantou o sistema Trólebus, com 30 veículos importados dos EUA e Inglaterra. Teve início a reforma dos carros da antiga Light.

³ SPTrans. **Cronologia do Transporte na Cidade de São Paulo**. 22 abr. 2015. Disponível em: https://web.archive.org/web/20170914220848/http://www.sptrans.com.br/museu/Cronologia_Transporte.pdf. Acesso em: 02 dez. 2023.

- 1950: Chegaram 200 ônibus Twin Coach, hidramáticos. Foram necessários dois anos de estudos técnicos para a adaptação destes veículos às condições de tráfego da cidade.
- 1954: Noventa por cento da frota é operada pela CMTC. Nos anos 50, o complexo industrial da empresa realizava reforma e encarroçamento de ônibus e bondes.
- 1958: A CMTC autoriza o serviço do Companhia particulares de ônibus e, em conjunto com a Villares e Massari, fabricou os primeiros Trólebus brasileiros. O sistema de bondes não atendia mais as necessidades dos paulistanos, então foi desativado em 1968.
- 1968: O sistema de bondes não atendia mais as necessidades dos paulistanos, então foi desativado.
- 1975: O metrô começou a operar na cidade.
- 1977: Por meio de Decreto Municipal a Capital foi dividida em 23 áreas atendidas por empresas contratadas pela CMTC que operava as linhas circulares e intersetoriais.
- 1980: Foram construídos os terminais da Penha e Vila Prudente, dando início ao sistema de transferência com Trólebus pela CMTC.
- 1983: Começou a integração ônibus - ferrovia, entre os ônibus da CMTC e os trens metropolitanos da Fepasa.
- 1984: entrou em funcionamento a primeira linha operada a Gás Metano (linha CEASA-Lapa).
- 1989: A Prefeitura iniciou os estudos do Projeto de Municipalização dos transportes coletivos.
- 1990: A CMTC começou os testes com as primeiras empresas municipalizadas.
- 1991: Em 25 de julho foi assinada a Lei no 11.037 que oficializa a Municipalização dos transportes coletivos por ônibus. Foi aberta uma licitação para 42 lotes operacionais.
- 1992: A frota alcançou a 9.874 veículos e desses 2.881 eram da CMTC. Começou a circular onze linhas de ônibus para pessoas portadoras de necessidades especiais com frota de 21 veículos e em agosto entrou em operação o primeiro posto de abastecimento a gás natural exclusivo para ônibus. Eram 70 veículos a gás natural em cinco linhas.
- 1993: Início da Privatização da CMTC. Transferência de garagens e da frota.
- 1994: O sistema passou para 47 empresas privadas.
- 1995: A SPTrans foi criada em 8 de março de 1995, em substituição à antiga CMTC. A empresa assumiu o planejamento e a programação de linhas e frota, fiscalização, arrecadação, contratação e remuneração das empresas operadoras. A empresa iniciou o Programa de Implantação de Corredores e Terminais de Integração, com o objetivo de reverter o processo de decadência do sistema paulistano, que apresentava queda na velocidade comercial dos ônibus urbanos nas vias públicas. Para facilitar os deslocamentos da população para todas as regiões com o pagamento de uma única tarifa foi criado o Serviço Circular Central, ligação entre os três terminais no centro da cidade.
- 1996: O Serviço ATENDE, transporte especial e gratuito para pessoas portadoras de deficiência física com alto grau de dependência foi instituído pelo Decreto Municipal 36.071.
- 1997: Início da construção da primeira linha do VLP- Veículo Leve sobre Pneus, com trajeto de 8,5 km para ligar o Sacomã ao Centro. Começou a implantação da Cobrança Automática de Tarifa e foram instaladas catracas eletrônicas em parte da frota da zona Sul. Os passageiros utilizavam bilhetes para pagamento da tarifa.
- 1999: Aprovada a lei para regulamentação de 4.042 lotações. O processo de regulamentação não foi concluído e com a migração dos usuários para o serviço clandestino, as empresas de ônibus perderam parte significativa do mercado. A falta de investimentos e de qualidade comprometeram ainda mais o transporte legalizado. As obras do VLP foram paralisadas e a velocidade comercial dos ônibus era cada vez menor.
- 2001: A Secretaria Municipal de Transportes tem como proposta a prioridade para o transporte coletivo. Para tanto, aproximou os trabalhos desenvolvidos pela SPTrans e CET - Companhia de Engenharia de Tráfego e, o primeiro resultado foi

a implantação da Operação Via Livre. O serviço ATENDE teve novo regulamento e aumentou de forma significativa o número de usuários. O projeto de Bilhetagem Eletrônica ganhou força com o Bilhete único/ Cartão do Idoso Especial. Também em 2001 teve início o processo de renovação da frota municipal.

- 2003: A proposta do novo sistema de transporte estabeleceu a operação em redes: local, estrutural e central, contemplando em um mesmo sistema operadores do serviço de lotação, modalidade bairro a bairro e empresas de ônibus. Para participar do processo de licitação os condutores de lotações formaram cooperativas de transporte e saíram da clandestinidade. A cidade foi dividida em oito áreas e cada uma delas ganhou uma cor, para identificar a frota, 4 terminais e estações de transferência, abrigos e pontos de parada. Em 17 de maio teve início a implantação da 1ª etapa do Novo Sistema de transporte do município. O Sistema Interligado chegou com uma proposta diferenciada de atendimento e para tornar o transporte cada vez mais cidadão, a SMT e SPTrans desenvolveram o Programa Permanente de Requalificação Profissional para Operadores.
- 2004: A Prefeitura de São Paulo promoveu o lançamento oficial do Bilhete Único. Um cartão de plástico no tamanho de um cartão de crédito, denominado "cartão inteligente". Ele é dotado de chip processador e memória que recebe, armazena e transmite informações, com precisão e agilidade. O Bilhete Único permite ao passageiro utilizar quantas conduções sejam necessárias para cumprir seu trajeto, dentro de um período de até duas horas, com o pagamento de apenas uma tarifa.
- 2005: Em 8 de março a São Paulo Transporte completa dez anos. As administrações municipal e estadual intensificam estudos para viabilizar a integração tarifária entre as modalidades de transporte sobre pneus e trilhos. Em dezembro o Bilhete Único é aceito nas estações da Linha - 2 do Metrô (Paulista) e Linha - C da CPTM (Osasco/Jurubatuba). Em 16 de setembro, concluída a integração total do Bilhete Único no sistema metroferroviário (SPTrans, 2015, n.p).

Desde 1995, a SPTrans atua na gestão do sistema de transporte público por ônibus na cidade de São Paulo e promove o planejamento do sistema e a programação de linhas e frota, fiscalização, arrecadação, contratação e remuneração das empresas operadoras. E atua, ainda, na área de desenvolvimento tecnológico com estudos e pesquisas sobre novas soluções para adaptação de combustíveis não poluentes na frota existente e outros mecanismos, visando aperfeiçoar as condições de segurança, conforto, acessibilidade, rapidez, economia de combustível e menor impacto ambiental (SPTrans, 2023)⁴.

O Transporte Coletivo Público de passageiros é serviço público essencial e a organização e prestação competem ao município, conforme disposto na Constituição Federal (artigo 30, inciso V) e na Lei Orgânica do Município de São Paulo (artigo 172). A organização desse serviço na cidade de São Paulo está descrita na Lei Nº. 13.241, de 12 de dezembro de 2001, que considera que o poder público está representado pela Prefeitura do Município de São Paulo, por meio da Secretaria Municipal de Transportes, e que a São Paulo Transporte S/A – SPTrans, empresa de economia mista cujo acionista majoritário é a Prefeitura do Município de São Paulo, é contratada pelo poder público para: (i) elaborar estudos para a realização do

⁴ Disponível em: <https://www.sptrans.com.br/sptrans/>. Acesso em: 10 ago. 2022.

planejamento do Sistema; (ii) executar a fiscalização da prestação de serviços; e (iii) gerenciar o Sistema de acordo com as diretrizes e políticas estabelecidas.

Atualmente, a cidade possui um dos maiores sistemas de transporte público do mundo. De acordo com a Tabela 1, sobre dados operacionais, a frota está estimada em 14 mil ônibus.

Tabela 1 – Dados operacionais do sistema de transporte público por ônibus em São Paulo

1. Frota operacional programada	12.719	Quantidade máxima de veículos programada para operação do horário média de pico da manhã e da tarde de um dia útil
2. Frota de reserva técnica	1.359	Reserva técnica de veículos para eventualidades na operação e rodizio na manutenção
3. Frota total (1. + 2.)	14.077	Quantidade total de veículos (operacional + frota de reserva)
4. Quilometragem mensal programada	77.121.734	Quilometragem programada para um mês padrão considerando ano com 246 dias úteis, 54 sábados e 66 domingos/feriados; valores em quilômetros
5. Quantidade de linhas	1.343	Total de linhas, incluindo linhas base (trajeto principal) e atendimentos (derivação da linha base com pequena diferenciação em parte do trajeto e em horários específicos)
6. Número de viagens	4.973.159	Número de viagens programadas para um mês padrão considerando ano com 246 dias úteis, 54 sábados e 66 domingos/feriados
7. Extensão do sistema viário da cidade	17.750	Soma da extensão de todas as vias da cidade, em quilômetros
8. Extensão do viário utilizado pelo sistema	4.353	Soma da extensão de todas as vias em que trafegam veículos do sistema de ônibus municipal, em quilômetros
9. Percentual (%) do viário utilizado pelo sistema (8./7.)	24,5%	Percentual do viário em que trafegam veículos do sistema, em relação ao total da extensão do viário
12. Passageiro por Veículo Dia (PVD)	661	Passageiros transportados no mês (projeção), dividido pela frota operacional programada (pico manhã do dia útil) e por 26 dias úteis equivalentes em 1 mês
13. Passageiro Equivalente por Veículo Dia (PVD - equivalente)	312	Passageiros equivalentes no mês (projeção), dividido pela frota operacional programada (pico manhã do dia útil) e por 26 dias úteis equivalentes em 1 mês
14. Percurso Médio Mensal (PMM) (4./1.)	6.064	Percurso médio mensal programado por veículo (frota operacional programada), em quilômetros
15. Índice de Passageiro por Km (IPK)	2,84	Passageiros transportados projetados para um mês, divididos pela quilometragem programada para um mês padrão
16. Índice de Passageiro Equivalente por km (IPK equivalente)	1,34	Passageiros equivalentes projetados para um mês, divididos pela quilometragem programada para um mês padrão
17. Índice de integração	54,74%	Quantidade de passageiros com integração ônibus-ônibus dividida pela quantidade de passageiros pagantes
18. Índice de gratuidade	36,76%	quantidade de gratuidades (estudantes, idosos e pessoas com deficiência) dividida pela quantidade de passageiros pagantes
19. Extensão média das linhas	16	em quilômetros
20. Investimento em frota e equiptos - R\$	R\$ 3.496.474.152	Valor atual da frota e equiptos. (preço de aquisição - depreciação acumulada)

Fonte: SPTrans (valores das tarifas vigentes a partir de 01/01/2020)⁵.

Além disso, a dimensão financeira do sistema está expressa na Tabela 2, onde mostra que em 2022, o sistema custou R\$ 10,3 bilhões, com crescimento de 32,5% em relação os custos de 2021.

⁵ Disponível em:

https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/mobilidade/institucional/sptrans/aceso_a_informacao/index.php?p=227887. Acesso em: 10 ago. 2022.

Tabela 2 – Desembolso com o sistema de transporte 2020/2021/2022 (valores em R\$ Mil)

SISTEMA DE TRANSPORTE (R\$ mil)	2020 %		2021 %		2022 %	
Frota Contratada	7.202.888	96,4%	7.573.957	97,0%	10.012.229	96,8%
Sistema PAESE	35.868	0,5%	6.463	0,1%	5.293	0,1%
Serviço ATENDE	105.148	1,4%	107.591	1,4%	142.118	1,4%
Serviço Complementar	230	0,0%		0,0%	688	0,0%
SPTrans	20.741	0,3%	20.722	0,3%	24.141	0,2%
SPTrans - LEI 13.241/01 (Ger. 3,5%)		0,0%		0,0%	-	0,0%
Gerenc. Créditos Eletr.	19.333	0,3%	18.606	0,2%	22.248	0,2%
Comercialização	2.762	0,0%	7.590	0,1%	9.775	0,1%
Despesas gerais	69.843	0,9%	76.747	1,0%	106.757	1,0%
Operação de bilheterias	2.933	0,0%		0,0%		0,0%
Operação de terminais	14.335	0,2%		0,0%	23.540	0,2%
DESEMBOLSO TOTAL	7.474.083	100,0%	7.811.678	100,0%	10.346.789	100,0%
Varição Anual ((Ano/Ano-1)-1)			4,5%		32,5%	

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados extraídos da SPTrans (2022)⁶.

2.3.1 Histórico do Projeto de Ônibus a Gás Natural em São Paulo

Desde o primeiro choque do petróleo, a auto-suficiência tem sido uma meta que sempre mobilizou a atenção das políticas macro econômicas nacionais. Ressalta-se que os combustíveis considerados “gargalos” da economia eram a gasolina, inicialmente (porém o álcool deslocou este consumo) e o diesel, posteriormente.

O plano nacional de gás natural (PNGN) – teve início em 1987 com o objetivo de substituir ou deslocar o consumo de diesel. Neste período o Brasil importava cerca de 52% do petróleo refinado, tendo como gargalo o diesel – combustível que alimenta grande parte do transporte rodoviário brasileiro. Diante deste cenário, foram realizados experimentos em 150 ônibus nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro (Cavalcanti, 2005).

A história do ônibus a gás em São Paulo iniciou-se em meados da década de 1980 por meio de um convênio de cooperação técnica firmado entre a Companhia Municipal de Transporte Coletivo (CMTC), a Mercedes Benz do Brasil (MBB), o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), prevendo a utilização experimental do biogás extraído do lixo urbano (Oliveira Filho, 2006).

Os testes foram realizados até 1986, mas com o arrefecimento dos preços do Petróleo no mercado internacional não se vislumbrou (de forma equivocada) um maior interesse em se continuar desenvolvendo uma tecnologia de ônibus a gás natural. Em 1989, a CMTC realizou novos testes com uma pequena frota, os quais foram suficientes para constatar que motores dedicados possuíam um desempenho superior a motores convertidos. Esses testes direcionaram o desenvolvimento tecnológico da Mercedes-Benz, que posteriormente (1991/1992) vendeu 60 ônibus à CMTC. Nessa época, iniciaram-se as obras do posto de abastecimento de gás situado

⁶ <https://www.sptrans.com.br/relatorio-integrado-da-administracao-2022/>

no bairro da Água Branca, um marco na história do gás natural veicular (GNV) na Cidade de São Paulo (Oliveira Filho, 2006).

Essa época foi o período inicial do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), tendo-se estabelecidos limites de emissões de mais fácil atendimento com o gás natural, dando novo ânimo à cadeia produtiva desse setor. Esse processo culminou na aprovação da Lei Municipal nº 10.950 de 24/01/1991, que estabelecia que as empresas concessionárias ou permissionárias de transporte coletivo na capital deveriam substituir seus ônibus ou motores a óleo diesel por outros movidos a gás natural num prazo de 10 anos, não estabelecendo, no entanto, níveis intermediários para o alcance de meta tão ousada, parecendo ter sido aprovada sem nenhuma consulta prévia ou estudo das condições do mercado, já que existiam os mesmos obstáculos que haviam dificultado (ou mesmo impedido) a viabilização do ônibus a gás no passado (Granville, 2014), quais sejam:

- Tecnologia embrionária relativa a motores e equipamentos acessórios necessários para o abastecimento do gás;
- Dificuldades logísticas (a ausência de postos e redes de distribuição de gás);
- Ausência de garantia no suprimento de gás (em quantidade e qualidade adequadas);
- Abrangência limitada da iniciativa, restrita ao âmbito exclusivamente municipal (Granville, 2014, p. 82).

Cinco anos após a promulgação da Lei, cerca de 100 veículos eram tracionados por gás natural, por meio de motores de 1ª geração, que ainda apresentavam muitos problemas. Em 5 de julho de 1996, foi promulgada a Lei Municipal nº 12.140, a Segunda Lei do Ônibus a Gás da cidade de São Paulo, alterando de 2001 (10 anos após 1991) para 2007 o prazo de substituição total da frota, bem como prevendo um programa escalonado para a realização de tal substituição (Oliveira Filho, 2006).

Essa nova Lei do Ônibus a Gás atribuiu à SPTrans a responsabilidade pela elaboração e implementação do Plano de Alteração de Combustível (PAC), a qual por sua vez, criou um comitê gestor para estabelecer os critérios de introdução do PAC. Tal comitê não realizou uma boa gestão em termos de estruturar, principalmente do ponto de vista financeiro, a transição da barata tecnologia diesel para a dispendiosa tecnologia a gás (mais cara devido aos vários motivos já expostos), o que levou a maioria dos empresários a buscar formas jurídicas para o não cumprimento do Programa. No final de 1999, operavam no município de São Paulo – por meio de quatro empresas – cerca de 250 ônibus a gás, que incluíam as frotas das Viações Garagem Americanópolis de Transportes Urbanos (GATUSA); Santa Madalena, posteriormente Oak Tree; bem como os ônibus antigos das empresas CCTC e da Viação

Jaraguá, que adquiriram os ônibus de primeira geração anteriores ao PAC (Oliveira Filho, 2006).

A partir de 2000, o PAC estagnou definitivamente, assim como os projetos públicos para desenvolvimento do transporte urbano a gás natural. Algumas iniciativas ainda foram tentadas como a criação da tarifa de gás natural para o transporte público em 2004. No entanto, a frota de ônibus a gás na cidade de São Paulo seguiu declinando ano a ano até a sua extinção (Oliveira Filho, 2006).

2.3.2 Projeto Ecofrotas

O Programa Ecofrota foi implantado na gestão de Gilberto Kassab (PSD), em 2009, a partir da Lei 14.933/09, que trata das mudanças climáticas na cidade de São Paulo. Com isso, a frota da cidade seria trocada gradativamente por veículos movidos por combustíveis menos poluidores até o ano de 2018, onde 100% dos ônibus seriam “limpos”. Por ano, a proposta era substituir 10% da frota, de modo que em 2018 o diesel comum seria totalmente abolido.

As tecnologias utilizadas seriam os trólebus (ônibus movido a energia elétrica), biodiesel, etanol e diesel da cana-de-açúcar. Além dessas tecnologias, outras, em testes, fariam parte do sistema, como o dual combustível, híbrido, hidrogênio e a bateria.

O programa chegou em seu auge nos anos de 2011 e 2012 tendo mais que 1600 veículos movidos por combustíveis menos poluidores, sendo que os mais utilizados foram o biodiesel, através da empresa VIP Transportes Urbanos, e os trólebus, através da empresa Ambiental Trans. Todos os veículos que usavam algum tipo de combustível menos poluidor, levavam um adesivo colado na lateral com a descrição de qual tipo de combustível se tratava. Porém, durante a gestão de Fernando Haddad (PT), o programa foi completamente paralisado e, com exceção dos trólebus, todas as outras tecnologias foram extintas ou tiveram forte redução. Na época, o secretário municipal de transporte, Jilmar Tatto, alegou que os custos eram inviáveis e que a prefeitura não tinha como arcar (PLAMURB, 2017).

2.3.3 Lei de Mudança Climática

Chegando em 2018, prazo final do artigo 50 da Lei nº 14.933⁷, o mesmo foi alterado pela nova Lei nº 16.802⁸, em 17 de janeiro de 2018, que agora prevê a redução de 50% das emissões de CO₂ em 10 anos e 100% em 20 anos (Segantin; Ramos, 2018). Essa Lei traz, em seu artigo 50, § 3º, o seguinte texto:

O processo de substituição por veículos e tecnologias mais limpas dar-se-á de modo gradual, e ocorrerá naturalmente no momento da substituição dos lotes de veículos mais velhos que são retirados da frota, conforme as regras contratuais de idade máxima permitida dos veículos (São Paulo, 2009, art. 50, §3).

Outro ponto importante dessa legislação é o artigo 6º, que menciona as escolhas de combustíveis e novas tecnologias que serão realizadas por um Programa de Acompanhamento da Substituição de Frota por Alternativas Mais Limpas, instituído pela lei no momento de sua promulgação. Ainda no inciso II, descreve:

O Comitê Gestor do Programa de Acompanhamento da Substituição de Frota por Alternativas Mais Limpas será criado e regulamentado pela Administração Municipal, em até 180 (cento e oitenta) dias após o início da vigência desta lei, e será integrado, no mínimo, por representantes das Secretarias de Mobilidade e Transportes, Verde e Meio Ambiente, Obras e Serviços, Fazenda e Relações Internacionais do Município de São Paulo, bem como pelos operadores de transporte coletivo, empresas de coleta de lixo e representantes de organizações da sociedade civil que compõem o Comitê Municipal de Mudança do Clima e Ecoeconomia (São Paulo, 2009, art. 6, inc. II).

A Lei ainda propõe uma redução das emissões dos gases totais, conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3 – Proposta de redução de emissões da Lei nº 16.802

Parâmetro	Ao final de 10 anos	Ao final de 20 anos
CO ₂ de origem fóssil	50%	100%
MP	90%	95%
NO _x (expresso como NO ₂)	80%	95%

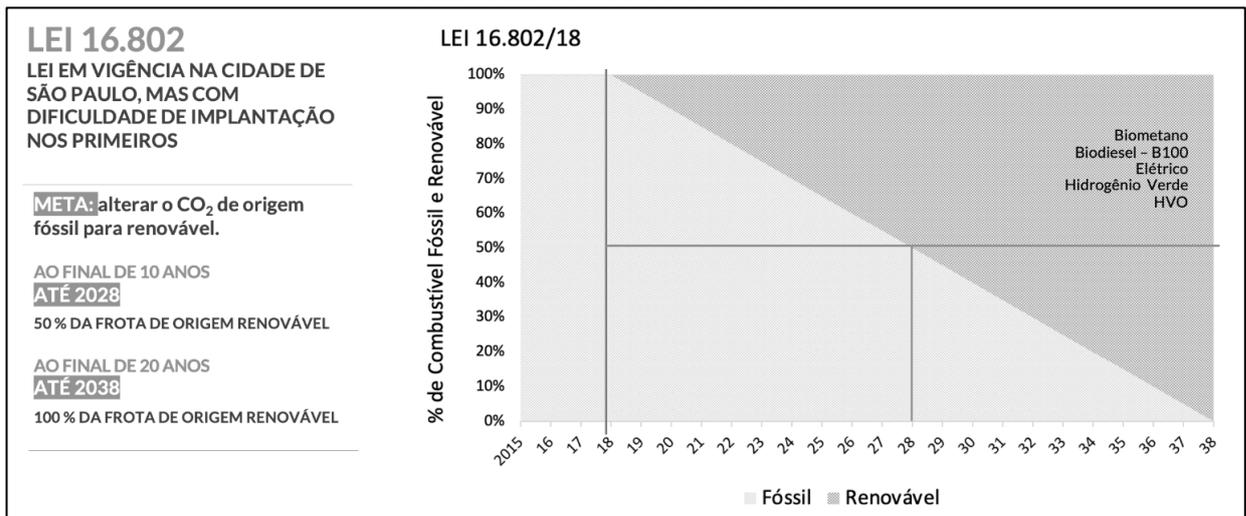
Fonte: Elaboração própria de acordo com a Lei nº 16.802/2018⁸.

⁷ SÃO PAULO. **Lei nº 14.933, de 05 de junho de 2009**. Institui a Política de Mudança do Clima no Município de São Paulo. 2009. Disponível em: <http://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/leis/lei-14933-de-05-de-junho-de-2009>. Acesso em: 6 out. 2023.

⁸ SÃO PAULO. **Lei nº 16.802, de 17 de janeiro de 2018**. Dá nova redação ao art. 50 da Lei nº 14.933/2009, que dispõe sobre o uso de fontes motrizes de energia menos poluentes e menos geradoras de gases do efeito estufa na frota de transporte coletivo urbano do Município de São Paulo e dá outras providências. Disponível em: <http://documentacao.camara.sp.gov.br/iah/fulltext/leis/L16802.pdf>. Acesso em: 6 out. 2023.

De acordo com a Lei 16.802⁸, a cidade de São Paulo estabelece uma meta para os próximos 20 anos a partir de sua publicação, em 2018, para substituição de CO₂ fóssil para CO₂ renovável, nos seguintes prazos: até 2028 – substituição de 50% da frota para combustíveis renováveis; até 2038 – substituição de 100% da frota para combustíveis renováveis, conforme detalhado na Figura 9.

Figura 9 - Período de utilização de combustível fóssil no sistema de transporte público por ônibus na Cidade de São Paulo

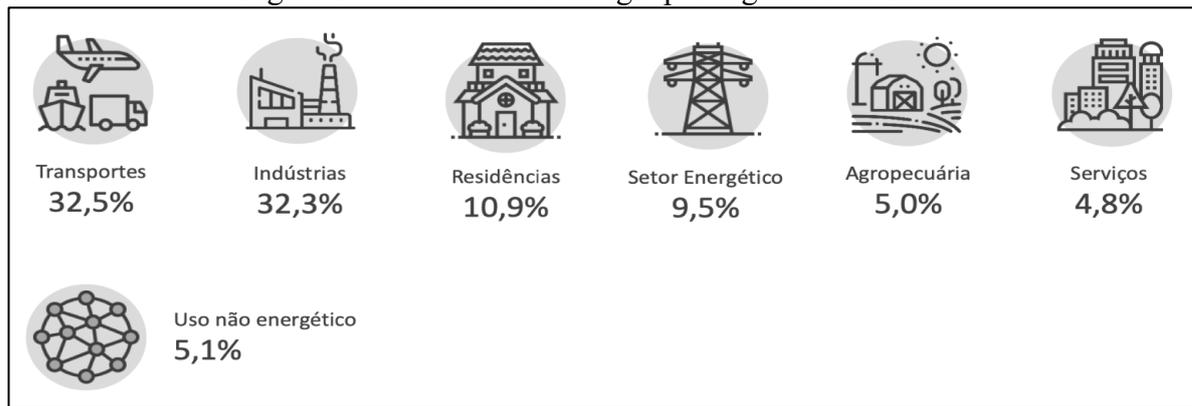


Fonte: Elaboração própria de acordo com a Lei nº 16.802/2018⁸.

2.4 Balanço Energético Nacional

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN), demonstrado na Figura 10, o segmento de transporte lidera com maior consumidor de energia no Brasil, com 33% de toda a energia do país, seguido da indústria. Esse número é similar no consumo mundial, com cerca de 28,6% de toda a energia mundial, segundo *Renewables Now* (REN21, 2022).

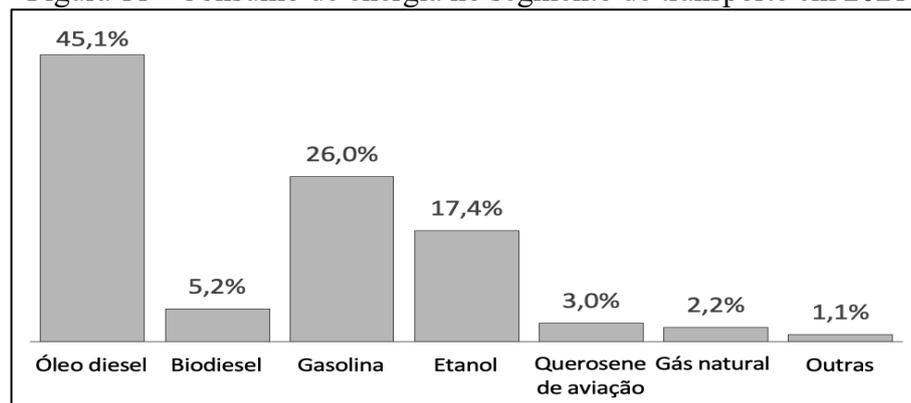
Figura 10 - Consumo de energia por segmento no Brasil



Fonte: EPE (2022, p. 23).

Nesse contexto, o Brasil é um dos países que mais consome combustíveis renováveis no segmento de transporte por meio de seus biocombustíveis, etanol e biodiesel.

Figura 11 - Consumo de energia no segmento de transporte em 2021



Fonte: EPE (2022, p 27).

Atualmente, 23% de combustíveis renováveis são aplicados no segmento de transporte, impulsionado pelo consumo representativo de etanol em 17,4%, seguido de biodiesel em 5,2% (Figura 11). Ao compararmos os percentuais de consumo de combustíveis de óleo diesel (45,1%) e biodiesel (5,2%) demonstrados na Figura 11, constatamos que existe uma distância de 40,1 pontos percentuais entre eles, sendo um intervalo de oportunidade para o desenvolvimento e complemento de combustíveis de menor emissão de poluentes, em veículos pesados (caminhões e ônibus), destacando entre os combustíveis substitutos o biodiesel, o gás natural (GN) e o gás natural renovável (GNR), também conhecido como biometano.

2.4.1 Gás Natural

O gás natural é considerado por diversos países como combustível de transição energética por suas reduções nas faixas de emissões de CO₂, Material Particulado e NOx.

Segundo (Mouette *et al.*, 2019), além de ser uma fonte energética relevante para a transição rumo a uma economia de baixo carbono, trata-se de um combustível disponível a preço acessível e menos poluente que o diesel. Sua maior adoção pode oferecer benefícios ao meio ambiente e à saúde pública, especialmente em ambientes urbanos de grande concentração. Em comparação com os veículos a diesel, os veículos movidos a gás natural emitem até 85% menos poluentes tóxicos e podem gerar uma redução de 10% nas emissões de gases de efeito estufa (Mouette *et al.*, 2019).

Ao contrário do diesel, que é uma mistura de muitos hidrocarbonetos diferentes compostos, o gás natural é um combustível fóssil de hidrocarboneto simples que normalmente contém 85% a 99% de metano (CH₄) e enxofre quase nulo. É naturalmente uma queima limpa e, em muitos países, relativamente abundante e barato. Vários fabricantes de ônibus oferecem ônibus a gás natural de alta qualidade e muitos ônibus passaram por conversões de diesel para GNV em várias cidades, embora com um registro misto de desempenho.

Contudo, o gás natural tem aumentado seu papel estratégico como fonte de energia para o mundo, principalmente em razão de seu menor impacto ambiental em comparação com as demais fontes fósseis. A utilização do gás natural em equipamentos adequados tende a ser menos poluente, por exemplo, que a queima de óleo diesel. A combustão de gases combustíveis adequadamente processados e em equipamentos corretos é praticamente isenta de poluentes como óxidos de enxofre, partículas sólidas e outros produtos tóxicos, permitindo, assim, que o consumidor utilize o gás de forma direta (Santos *et al.*, 2007).

A versatilidade de utilização é uma das grandes vantagens do gás natural. Santos *et al.* (2002), descrevem com detalhes os melhores usos e as principais vantagens de se utilizar o gás natural em diversos segmentos da atividade econômica, incluindo a indústria, o comércio, o setor residencial e o de transporte, bem como o próprio setor energético, que pode utilizar o gás como um combustível primário para seus processos de transformação. Além disso, o gás natural pode ser usado como matéria-prima da indústria química, sendo usado na fabricação de produtos com muito maior valor agregado como plásticos e lubrificantes.

De acordo com a Figura 12, extraída do relatório do BNDES, Gás para Desenvolvimento (2021) ilustra conceitualmente o posicionamento do gás natural comparativamente à tecnologia dominante (diesel) e à fronteira tecnológica mais próxima (elétricos a bateria).

Figura 12 - Diagrama conceitual de comparação das diferentes tecnologias

Vantagens		Diesel	GNV	Elétrico
Ambientais	Menor emissão de material particulado	*	***	***
	Menor emissão de CO ₂	*	**	***
	Menor emissão de ruídos	*	**	***
Financeiras	Menor custo de aquisição	***	**	*
	Maturidade tecnológica	***	**	*
	Mercado desenvolvido	***	*	*

Fonte: BNDES (2021, p. 63).

As três primeiras dimensões (material particulado, dióxido de carbono e ruído), que levam em conta os impactos ambientais, dão vantagem aos elétricos. Em contrapartida, pendem para o diesel as variáveis seguintes (custo, maturidade tecnológica e mercado secundário), que impactam financeiramente o negócio em virtude da facilidade de manutenção e operação, financiabilidade da aquisição e revenda do veículo, entre outras. A decisão pelo gás natural pode ser considerada um caminho intermediário, tanto do ponto de vista ambiental quanto financeiro, entre o diesel e o elétrico, reforçando sua importância na transição energética.

2.4.2 Gás Natural Renovável – Biometano (GNR)

O biogás é obtido a partir da digestão da matéria orgânica, este ocorre essencialmente durante a decomposição da matéria viva por bactérias, as bactérias retiram da biomassa parte da qual elas precisam permanecer vivo e o biogás na atmosfera, que são os gases e o calor liberados.

Inicialmente, as bactérias liberam enzimas para promover a hidrólise das partículas e degradar os mais sólidos em suspensão em moléculas menores, solúveis no meio; na segunda etapa, as bactérias produzem ácidos transformando moléculas de proteínas, gorduras e carboidratos existentes na biomassa, em ácidos orgânicos, etanol, amônia, dióxido de carbono, entre outros. Finalmente, as bactérias metanogênicas agem sobre o hidrogênio e o dióxido de carbono, transformando-os em metano (Galinkin *et al.*, 2009). Já o GNR, é obtido no refinamento e processamento de biogás. Esse biogás é originado a partir da digestão anaeróbica (sem oxigênio) de matérias orgânica. Ao purificar o biogás, é retirado o gás sulfídrico, dióxido de carbono e a umidade, aumentando a pressão e comprimindo-o, resultando no GNR. Dessa forma, o biocombustível poderá ser utilizado em substituição aos combustíveis fósseis.

As especificações do GNR no Brasil são regulamentadas pela resolução ANP n° 685/2017, revogada pela Resolução n° 886/2022, que estabelece as regras para aprovação do controle da qualidade e a especificação do GNR oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular e as instalações residenciais, industriais e comerciais, a ser comercializado em todo território nacional.

Já o Biogás, que é a matéria-prima para se conseguir o GNR, não possui regulamentação quanto a qualidade, pois este parâmetro varia de acordo com a biomassa usada no sistema de biodigestão e por isso a qualidade não varia.

De acordo com Silva (2017), a composição final do GNR depende principalmente do tipo de matéria-prima utilizada na produção de biogás na metanização. De acordo com a resolução ANP n° 886/2022, o GNR deve ter concentrações limitadas de componentes potencialmente corrosivos, como apresenta na Tabela 4.

Com o grande potencial agroindustrial do Brasil, a implantação do processo de produção de GNR contribui para a adequação ambiental no setor, ganhando reconhecimento de práticas sustentáveis no cenário nacional e internacional.

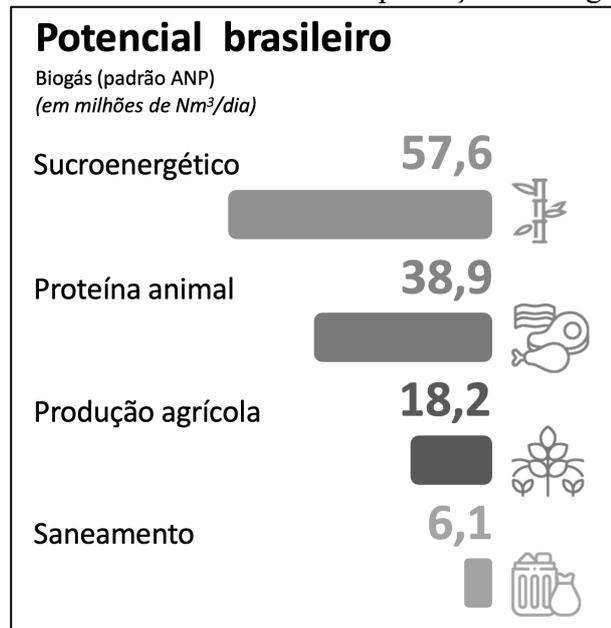
Tabela 4 – Especificação do biometano oriundo de aterros e estações de tratamento de esgoto

Característica	Unidade	Limite (1)			Método (2)			
		Norte	Nordeste	Centro-Oeste, Sudeste e Sul	NBR	ASTM D	ISO	EN/NF
Poder Calorífico Superior	kJ/m ³	34.000 a 38.400	35.000 a 43.000	35.000 a 43.000	15213	3588	6976	-
	kWh/m ³	9,47 a 10,67	9,72 a 11,94	9,72 a 11,94	15213	3588	6976	-
Índice de Wobbe	kJ/m ³	40.500 a 45.000	46.500 a 53.500	46.500 a 53.500	15213	-	6976	-
Metano, mín.	% mol	90	90	90	14903	1945	6974	-
Etano (3)	% mol	anotar	anotar	anotar	14903	1945	6974	-
Propano (3)	% mol	anotar	anotar	anotar	14903	1945	6974	-
Butanos e mais pesados (3)	% mol	anotar	anotar	anotar	14903	1945	6974	-
Oxigênio, máx.	% mol	0,8	0,8	0,8	14903	1945	6974	-
CO ₂ , máx.	% mol	3	3	3	14903	1945	6974	-
CO ₂ + O ₂ + N ₂ , máx.	% mol	10	10	10	14903	1945	6974	-
Enxofre Total, máx.(4,5)	mg/m ³	70	70	70	15631	5504	6326-3, 6326-5, 19739	-
Gás Sulfídrico (H ₂ S), máx.	mg/m ³	10	10	10	15631	4084-07, 4323-15, 5504, 6228	6326-3, 19739	-
Ponto de orvalho de água a 1atm, máx. (6)	°C	-	-39	-45	15765	5454	6327, 10101-2, 10101-3, 11541	-
Ponto de orvalho de hidrocarbonetos (7,8,9,10)	°C	15	15	0	16338	-	23874	-
Teor de siloxanos, máx.	mgSi/m ³	0,3	0,3	0,3	16560, 16561	-	-	-
Clorados, máx.	mgCl/m ³	5	5	5	16562	-	-	EN 1911
Fluorados, máx.	mgF/m ³	5	5	5	16562	-	15713	X43-304

Fonte: ANP n° 886/2022 (2022, Anexo I).

Para a Associação Brasileira do Biogás (Abiogás, 2023)⁹, o potencial nacional de produção de biogás é 120 milhões m³/dia e até 2030 uma previsão de 30 milhões de m³/dia, sendo um potencial representativo de GNR para atendimento aos mercados industriais, veiculares, comerciais e residenciais. A Figura 13, ilustra a origem e quantidade de potencial técnico divulgado pela Abiogás.

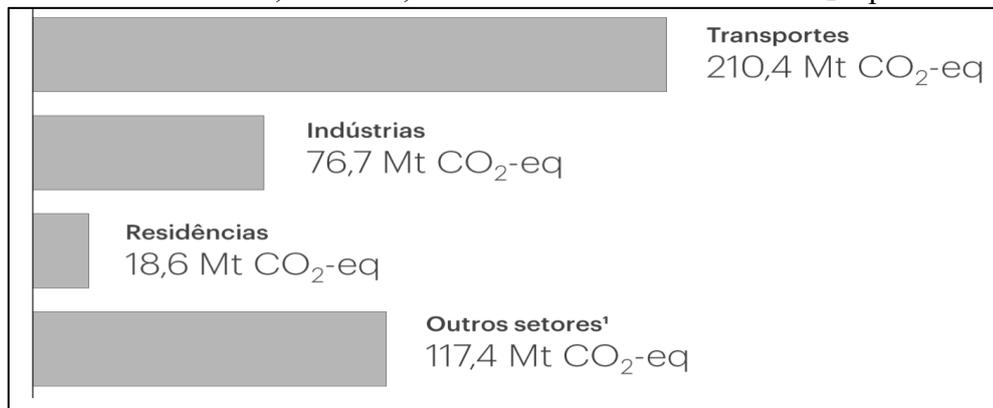
Figura 13 - Potencial nacional de produção de biogás



Fonte: Abiogás (2023)⁹.

2.5 Emissões no Setor de Transporte

Segundo a relatório anual da EPE, Balanço Energético Nacional (BEN) de 2023, o total de emissões de CO₂ antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiram 423 milhões de toneladas de CO₂ equivalente. O setor de Transporte representou 49,6%, com 210,4 milhões de toneladas de CO₂ equivalente, liderando largamente o primeiro lugar do *ranking*, conforme demonstrado na Figura 14.

Figura 14 - Emissões totais, em 2022, em milhões de toneladas de CO₂ equivalente, Brasil

Fonte: BEN (2022)¹⁰.

⁹ Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/apresentacoes-palestras/2023/arquivos/3-seminario-sbq/27-03-2023-tema2-abiogas.pdf>. Acesso em: 6 out. 2023.

¹⁰ Balanço Energético Nacional, Empresa Pesquisa Energética. **Relatório Síntese**, 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-681/BEN_Síntese_2023_PT.pdf. Acesso em: 6 out. 2023.

Com essa representatividade a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) nº 418/2009 (1) estabeleceu a obrigatoriedade da elaboração do Plano de Controle de Poluição Veicular (PCPV) pelos órgãos ambientais estaduais com revisões periódicas a cada três anos. De acordo com a Resolução, o PCPV é instrumento para gestão da qualidade do ar e indica ações para o controle da emissão de poluentes e a redução do consumo de combustíveis por veículos, em especial nas áreas comprometidas pela emissão de poluentes atmosféricos.

Conforme prevê o Decreto Estadual (SP) nº 59.113/2013 (2), o PCPV é parte de um Plano de Controle de Emissões Atmosféricas (PCEA), elaborado pela CETESB e que contempla ainda um Plano para o Controle das Fontes Estacionárias (PREFE). O PCPV pauta-se pelo diagnóstico da qualidade do ar resultante do monitoramento e da classificação atual das regiões do estado.

O PCPV está em consonância com a Lei Estadual nº 13.798/2009 (3), que instituiu a Política Estadual de Mudanças Climáticas, e propõe políticas públicas e recomendações visando minimizar a emissão dos Gases de Efeito Estufa (GEE) e incrementar a eficiência energética do segmento. O PCPV 2020-2022 é a continuidade dos planos apresentados nos anos de 2011, 2014 e 2017. Adota a metodologia utilizada na última revisão, com a adoção de metas e indicadores para o acompanhamento de cada ação proposta. Em função da pandemia em 2020, algumas metas foram alteradas pela impossibilidade de se realizar ações de campo que implicam em aglomeração.

Da mesma forma, decidiu-se pela publicação do plano em 2021, de forma que já fosse contemplado com dados mais atualizados. Utiliza como ferramentas de diagnóstico a caracterização da frota circulante e o impacto da sua emissão na região de interesse, utilizando a metodologia já consolidada e constante no relatório Emissões Veiculares no Estado de São Paulo – 2019 e a análise da qualidade do ar constante no relatório Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2019.

A frota circulante de veículos no estado de São Paulo utilizada como base para as propostas do PCPV é a que consta no relatório Emissões Veiculares no Estado de São Paulo 2019. Comparada à frota registrada no órgão de trânsito é menor, pois não considera a parcela que deixou de circular por sucateamento ou outro motivo. A frota estimada é de 15,4 milhões de veículos (CETESB, 2021).

A Tabela 5 apresenta a estimativa da frota dos veículos que circulavam no estado de São Paulo e regiões em 2021, segregada por tipo e combustível. Os números apresentados mostram a grande participação da frota do município de São Paulo, com cerca de 30%. Destaca-se, ainda, a Macrometrópole Paulista, que concentra 75% dos veículos de todo o estado (CETESB, 2021).

Tabela 5 – Estimativa de frota circulante no estado de São Paulo em 2021

Categoria	Combustível	Estado de São Paulo	Município de São Paulo	RMSP	RMC	RMBS	RMVP	RMSO	RMRP	RMSJRP	RMPI	RMJU
Automóveis	Gasolina C	2.159.950	782.869	1.199.981	166.281	53.621	99.672	92.594	61.945	37.142	64.949	41.022
	Etanol Hid.	139.026	37.447	56.355	9.961	1.538	5.568	5.804	7.791	4.215	5.675	2.006
	Flex-fuel	7.916.311	2.424.476	3.883.801	671.093	244.726	404.861	376.911	287.894	171.107	265.060	169.592
Comerciais Leves	Gasolina C	306.944	115.303	173.613	22.462	9.582	15.036	12.139	8.857	4.751	8.986	5.806
	Etanol Hid.	13.070	3.321	4.981	912	225	526	579	851	424	602	177
	Flex-fuel	797.266	222.681	352.837	65.893	20.640	40.119	39.065	34.059	22.055	30.235	16.505
	Diesel	544.131	152.782	234.878	43.756	11.225	23.964	23.946	27.156	17.711	20.408	11.157
Semileves		28.941	5.963	11.269	2.282	930	1.139	1.587	1.440	794	1.289	672
Leves		97.848	20.231	38.105	7.785	3.061	3.767	5.277	5.040	2.730	4.328	2.375
Caminhões	Médios	56.665	11.718	22.134	4.438	1.790	2.194	3.118	2.850	1.538	2.514	1.385
	Semipesados	116.194	24.202	45.616	9.434	3.515	4.307	6.258	6.029	3.288	5.043	3.107
Pesados		147.153	30.514	57.749	12.003	4.293	5.182	8.031	7.777	4.168	6.282	4.348
Ônibus	Urbanos	61.460	20.049	32.090	5.159	1.544	2.640	2.465	2.267	1.111	1.823	994
	Micro-ônibus	16.042	5.344	8.501	1.324	424	674	636	607	523	822	437
	Rodoviários	28.190	9.328	14.746	2.276	748	1.159	1.111	1.080	291	458	258
Motocicletas	Gasolina C	1.667.979	396.701	680.325	117.473	83.560	88.893	91.956	66.091	41.846	66.336	29.886
	Flex-fuel	921.653	155.355	277.010	70.390	54.728	54.074	57.436	52.313	29.139	43.232	16.083

Fonte: CETESB (2021, p.19).

2.5.1 Emissão Específica da Cidade de São Paulo

O problema da poluição do ar é agravado pelo modelo de transporte comum nessas cidades, que utilizam ônibus convencionais movidos a diesel como o principal modal para o transporte público de passageiros. Para o transporte individual, as opções são o automóvel e a motocicleta movidos a gasolina e/ou etanol. De acordo com a Pesquisa Origem e Destino 2017, realizada pela Companhia do Metropolitano de São Paulo (Metrô), o número de viagens motorizadas por modal coletivo e por modal individual é distribuída em 54% e 46% respectivamente. Dessa forma, mesmo os automóveis e motocicletas equipados com sistemas de controle de poluição mais sofisticados acabam, por seu uso intensivo, se tornando grande fonte de poluição. Outro aspecto importante é a baixa eficiência de transporte individual. Em média, cada automóvel transporta apenas 1,5 passageiros, de acordo com a Associação Nacional de Transportes Públicos (CETESB, 2021). O inventário de poluentes emitidos pelos veículos rodoviários baseia-se na estimativa feita a partir dos dados da frota circulante, dos fatores de emissão, da intensidade de uso (rodagem) e do consumo de combustível. As estimativas de emissão utilizadas como base deste Plano estão publicadas no relatório Emissões Veiculares 2019.

Tabela 6 – Emissões veiculares na Região Metropolitana de São Paulo em 2021

Categoria	Combustível	Emissão por poluente (t)				
		CO	NO _x	MP (1)	SO ₂ (2)	COV
Automóveis	Gasolina C	17.950	2.490	13	36	4.070
	Etanol Hidratado	8.463	675	nd	nd	1.619
	Flex -gasolina C	16.794	1.613	30	82	5.743
	Flex -etanol hidratado	20.976	1.607	nd	nd	5.111
Comerciais Leves	Gasolina C	3.037	322	2	7	885
	Etanol Hidratado	646	56	nd	nd	156
	Flex -gasolina C	1.766	195	3	11	653
	Flex -etanol hidratado	2.346	192	nd	nd	540
	Diesel	624	2.741	121	61	155
Caminhões	Semileves	119	644	27	8	36
	Leves	567	3.105	111	42	153
	Médios	376	2.097	93	25	111
	Semipesados	885	5.484	132	85	184
	Pesados	957	6.163	129	86	208
Ônibus	Urbanos	1.399	7.088	161	10	242
	Micro-ônibus	215	1.193	36	2	48
	Rodoviários	370	2.307	44	33	77
Motocicletas	Gasolina C	11.729	436	29	5	1.847
	Flex -gasolina C	1.095	54	5	1	173
	Flex -etanol hidratado	1.114	56	nd	nd	241
Total		91.426	38.518	937	495	22.253

Nota: nd - não disponível

(1) MP calculado para veículos flex-fuel utilizando Gasolina C.

(2) Emissões calculadas pelo método top-down.

Fonte: CETESB (2023, p.23)¹¹.

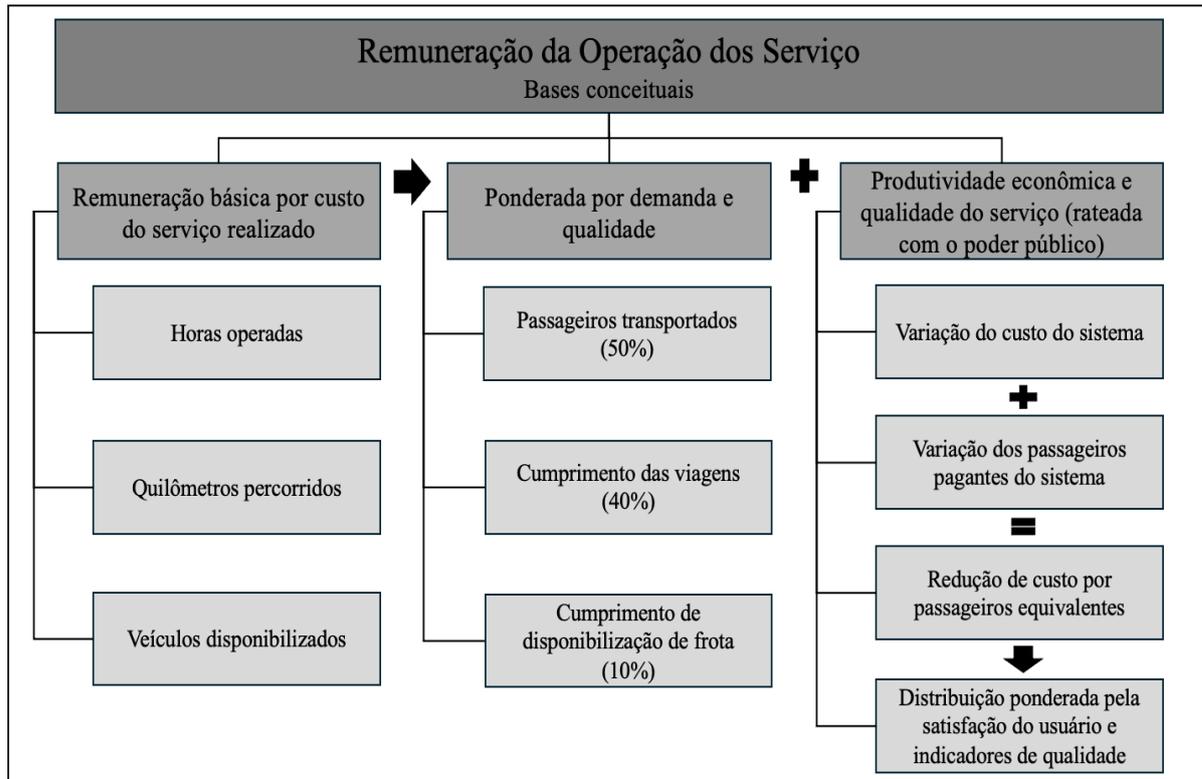
A Tabela 6 apresenta, respectivamente, a estimativa de emissão de poluentes na Região Metropolitana de São Paulo. A coluna COV (compostos orgânicos voláteis) representa a emissão de hidrocarbonetos não metano (NMHC) provenientes do processo de combustão, da evaporação e do abastecimento dos veículos somada com a emissão de aldeídos (RCHO). Os COV são poluentes que, em conjunto com os NO_x, são os principais formadores do ozônio.

2.5.2 Custo e Tarifas

A metodologia de cálculo das tarifas de transporte público no Brasil, em geral, foi desenvolvida pela extinta Empresa Brasileira de Transporte Urbano (EBTU), atualizada pelo extinto Ministério dos Transportes. Os gestores locais podem introduzir algumas especificidades; no caso da cidade de São Paulo, utiliza-se cesta de índice de preços para reajustar suas tarifas conforme Figura 15, porém a base de cálculo se mantém.

¹¹ Disponível: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2023/04/Plano-de-Controle-de-Prevencao-Veicular-2023-2025.pdf>. Acesso em: 20 out. 2023.

Figura 15 - Modelo de remuneração dos operadores de transporte público por ônibus na cidade de São Paulo



Fonte: SPTrans (2020, n.p.).

Esse modelo de cálculo é baseado na fórmula de custo médio, no qual o custo por quilômetro do sistema é dividido pelo Índice de Passageiros por Quilômetro (IPK). A Equação 1 mostra a fórmula de cálculo da tarifa de ônibus traduzindo que os custos de produção do transporte são repartidos entre os usuários pagantes (Carvalho *et al.*, 2013). Vale ressaltar que o número de usuários pagantes adota um critério de equivalência em que o volume de passageiros pagantes é ponderado pela proporção do seu desconto em relação à tarifa integral. Assim, dois estudantes com 50% de desconto correspondem a um passageiro equivalente.

$$\uparrow Tar = \frac{C_{km}}{IPK_e} = \frac{\frac{CT}{km}}{\frac{Pe}{km}} = \frac{CT \uparrow}{Pe \downarrow} \quad (1)$$

onde:

CT = Custo total do sistema;

Pe = Número de passageiros pagantes equivalentes do sistema.

O cálculo da tarifa através do IPK pode identificar as falhas no planejamento e na política do transporte público coletivo. O índice pode mensurar os custos diretos com o transporte, pois o cálculo é feito com os dados brutos de passageiros pagantes e a média de quilômetro por mês, sendo contabilizados pelo valor gasto por quilômetro (Tartaroti, 2012).

Os componentes considerados para o custo por quilômetro refletem custos diretos e tangíveis. Já os componentes indiretos ao custo, como congestionamentos e obstáculos não são visíveis no IPK, mas fazem parte e elevam o custo global do sistema. Estes são fatores da política de mobilidade urbana e de uso e ocupação do solo, e devem ser considerados para a redução da tarifa municipal, pois impactam diretamente nos gastos do sistema.

Assim, um aumento de tarifa pode ser explicado de duas formas: pelo aumento dos custos e/ou pela redução da demanda. De fato, um dos componentes tem contribuído para o aumento da tarifa dos transportes públicos no Brasil nos últimos anos. A maior incidência sobre a estrutura tarifária está relacionada a custos com pessoal e encargos, combustível, seguido de impostos e taxas, como pode ser observado na Tabela 7.

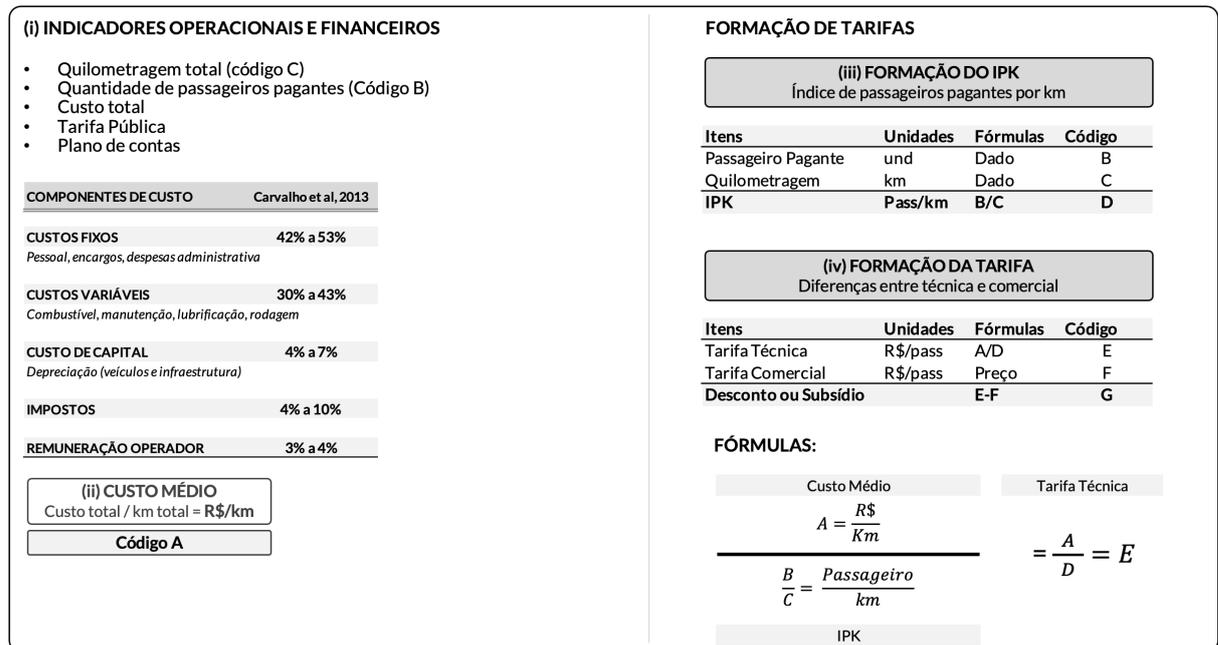
Tabela 7 – Itens de custo que compõem a tarifa de transporte público urbano nas capitais brasileiras

Componente de custo	Incidência sobre a tarifa (%)
Pessoal e encargos	40 a 50
Combustível	22 a 30
Impostos e taxas	4 a 10
Despesas administrativas	2 a 3
Depreciação	4 a 7
Remuneração	3 a 4
Rodagem	3 a 5
Lubrificantes	2 a 3
Peças e acessórios	3 a 5

Fonte: Carvalho *et al.* (2013).

Para detalhar melhor a compreensão da formação da tarifa, a Figura 16 detalha as etapas, iniciando pelo (i) indicadores operacionais e financeiros, (ii) custo médio, representado pelo código A, (iii) formação do IPK (índice de passageiro pagante por quilometro), representado pelo código D e (iv) formação da tarifa técnica.

Figura 16 - Etapas de formação da tarifa



Fonte: Adaptado de Carvalho *et al.* (2013).

A SPTrans divulga amplamente em seu *site* a composição do custo. O apurado mensal, em 2019, foi de R\$ 682,5 milhões, identificada na Tabela 8, linha 7. Já a representatividade do custo com combustível, chega a 19%, muito em linha com a referência de Carvalho *et al.* (2013).

Tabela 8 – Composição dos custos do sistema de transporte público por ônibus da cidade de São Paulo

SISTEMA DE TRANSPORTE COLETIVO URBANO DE PASSAGEIROS NA CIDADE DE SÃO PAULO

QUANTO CUSTA O SISTEMA DE TRANSPORTE ⁽¹⁾ - CUSTO DE OPERAÇÃO

DISCRIMINAÇÃO	R\$/Mês	R\$/veículo/mês	R\$/Passageiro	% relativo
1. CUSTOS FIXOS	368.312.844	28.959	3,57	54,0%
1.1. Pessoal Operacional	301.250.512	23.686	2,92	44,1%
1.1.1. Salários	177.015.173	13.918	1,72	25,9%
1.1.2. Encargos Sociais	74.334.572	5.845	0,72	10,9%
1.1.3. Benefícios	47.666.990	3.748	0,46	7,0%
1.2. Manutenção de Validadores	425.829	33	0,00	0,1%
1.3. Manutenção de Equipos. de Monitoramento	422.310	33	0,00	0,1%
1.4. Despesas Administrativas	55.168.631	3.919	0,54	8,1%
1.5. Aluguel de garagem	11.045.561	785	0,11	1,6%
2. DEPRECIAÇÃO	56.984.513	4.480	0,55	8,4%
2.1. Veículos	55.214.544	4.341	0,54	8,1%
2.2. Validadores Eletrônicos	1.290.392	101	0,01	0,2%
2.3. AVLS	439.906	35	0,00	0,1%
2.4. Equipamentos de garagem	39.671	3	0,00	0,0%
3. CUSTOS VARIÁVEIS	199.638.318	15.697	1,94	29,3%
3.1. Diesel / Energia	135.110.627	10.623	1,31	19,8%
3.2. Rodagem	10.539.176	829	0,10	1,5%
3.3. Lubrificantes	2.052.971	161	0,02	0,3%
3.4. Consumo de Peças e Acessórios	51.935.544	4.083	0,50	7,6%
4. TOTAL ANTES DE INSS (1. + 2. + 3.)	624.935.675	49.136	6,06	91,6%
5. CONTRIBUIÇÃO SOBRE RECEITA (LEI FEDERAL Nº 12.546/1)	13.647.210	1.073	0,13	2,0%
6. CUSTO DE OPERAÇÃO (4. + 5.)	638.582.885	50.209	6,20	93,6%
7. REMUNERAÇÃO ESTIMADA DOS OPERADORES	682.360.485	53.651	6,62	100,0%
8. LUCRO BRUTO DA OPERAÇÃO (7. - 6.)	43.777.600	3.442	0,42	6,4%
9. IMPOSTO DE RENDA E CSSL	14.884.384	1.170	0,14	2,2%
10. LUCRO DO OPERADOR (8. - 9.)	28.893.216	2.272	0,28	4,2%
Dados operacionais				
FROTA PATRIMONIAL	14.077			
FROTA OPERACIONAL	12.719			
KM	77.121.734			
PASSAGEIROS TRANSPORTADOS	218.658.428			
PASSAGEIROS PAGANTES	108.361.485			
PASSAGEIROS EQUIVALENTES	103.051.031			

Fonte: SPTrans (2021, n.p.).

Mas nem todo esse custo é coberto pela tarifa. A estrutura de financiamento de São Paulo foge da regra brasileira com subvenções pagas pelo conjunto da sociedade. Segundo dados da SPTrans (2021), o orçamento geral do município e do estado cobriu cerca de 38% dos custos de operação do sistema, cerca de R\$ 263,9 milhões por mês (R\$ 3,16 bilhões/ano 2019) como demonstrado na Tabela 9.

Tabela 9 – Tabela de subsídio da cidade de São Paulo

SISTEMA DE TRANSPORTE COLETIVO URBANO DE PASSAGEIROS NA CIDADE DE SÃO PAULO		
QUEM PAGA A CONTA DO TRANSPORTE - SUBSÍDIO ECONÔMICO		
DISCRIMINAÇÃO	R\$/mês	%
1. SUBSÍDIO ECONÔMICO (1.1 + 1.2)	263.930.990	100,00%
1.1. SUBSÍDIO PARA TARIFA - OPERAÇÃO DO SISTEMA	213.549.873	80,91%
1.1.1. Política de transporte (integração ônibus-ônibus sem acréscimo tarifário e ônibus-trilho)	36.293.949	13,75%
1.1.2. Política educacional (desconto aos estudantes)	62.630.433	23,73%
<i>1.1.2.1. Pagantes</i>	<i>11.169.860</i>	<i>4,23%</i>
<i>1.1.2.2. Gratuidade</i>	<i>51.460.573</i>	<i>19,50%</i>
1.1.3. Políticas sociais	114.625.491	43,43%
<i>1.1.3.1. Gratuidade aos idosos e pessoas com deficiência</i>	<i>114.625.491</i>	<i>43,43%</i>
1.2. SUBSÍDIO PARA OPERAÇÃO DA INFRAESTRUTURA	50.381.118	19,09%

Fonte: SPTrans (2021, n.p.).

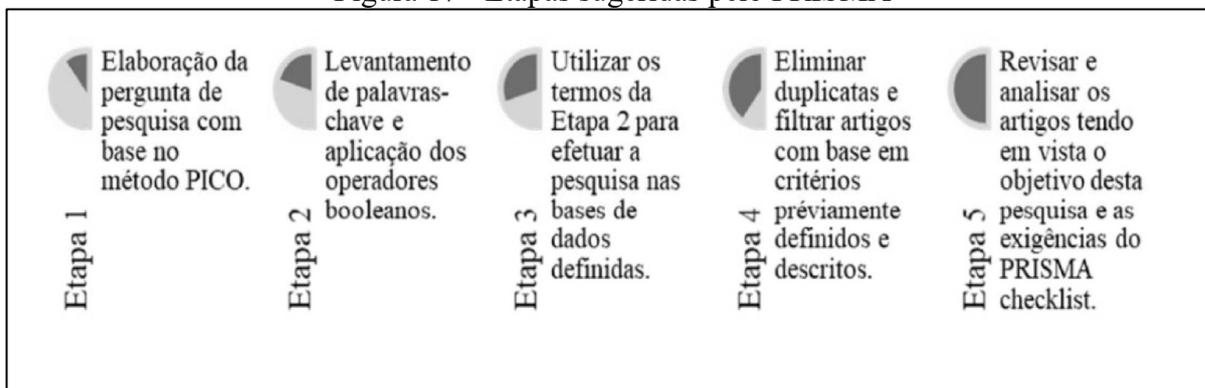
3 METODOLOGIA

3.1 Revisão Bibliográfica

A pesquisa busca uma estruturação e compreensão, com subsídios analíticos para exposição, avaliação e potenciais soluções para o problema apresentado. Galvão, Pluye e Ricarte (2017) apontam que a realização de uma revisão de literatura evita a duplicação de pesquisas ou, quando for de interesse, o reaproveitamento e a aplicação de pesquisas em diferentes escalas e contextos. Podendo observar possíveis lacunas nos estudos realizados; reconhecer oportunidades para a construção de um estudo com características específicas; desenvolver estudos que cubram brechas na literatura trazendo real contribuição para um campo científico; propor temas, problemas, hipóteses e metodologias inovadoras de pesquisa; otimizar recursos disponíveis em prol da sociedade, do campo científico, das instituições e dos governos que subsidiam a ciência (Galvão; Pluye; Ricarte, 2017).

Apesar de não termos a pretensão de realizar uma revisão sistemática da literatura, utilizamos as ferramentas metodológica disponíveis, buscando fornecer uma visão abrangente e atualizada do conhecimento disponível sobre o tema. Galvão, Pluye e Ricarte (2017) cita quais são elementos essenciais na revisão de literatura: (1) formulação de uma questão que embase a revisão; (2) modos de identificação de estudos relevantes e potenciais que possam integrar a revisão; (3) modos de seleção de estudos relevantes para compor a revisão; (4) análise crítica da qualidade da metodologia de pesquisa dos estudos selecionados para compor a revisão; e (5) a síntese dos resultados presente nos estudos selecionados para compor a revisão.

Figura 17 - Etapas sugeridas pelo PRISMA



Fonte: Elaboração própria a partir do PRISMA (2021).

Segundo Santos, Pimenta e Nobre (2007), essa etapa está baseada no anagrama PICO, que apresenta pontos essenciais a serem delimitados pela questão de pesquisa, sendo: 'P' para população ou problema, 'I' para intervenção, 'C' para comparação, 'O' para resultado (*outcome*) e 'S' para tipo de documentos ou estudos (*study*) a serem analisados. Pergunta de pesquisa adequada, ou seja, construída de forma a produzir subsídios, possibilita a definição correta de que informações, evidências necessárias para a resolução da questão clínica de pesquisa, maximiza a recuperação de indicativos nas bases de dados, foca o escopo da pesquisa e evita a realização de buscas desnecessárias. Com base nesse anagrama (PICO), a Tabela 10 apresenta a pergunta de pesquisa e busca respostas para a pesquisa.

Tabela 10 – Passos para elaboração da pergunta de pesquisa

REVISÃO	P	I	C	O	S/D
Pergunta de pesquisa	Quem é a população? Qual é o problema?	Qual intervenção será executada? Qual a exposição identificada?	Há alguma ação ou situação que possa ser comparada? Ou quem será o grupo controle?	O que se espera como resultado? outcome	Que tipos de estudos (sta serão analisados?)
Quais são as alternativas para o transporte público com menores emissões de GEE?	Diminuir as emissões de GEE	Substituir o diesel por GN	Substituição por elétrico	Viabilidade financeira	Artigos, estudos, dados

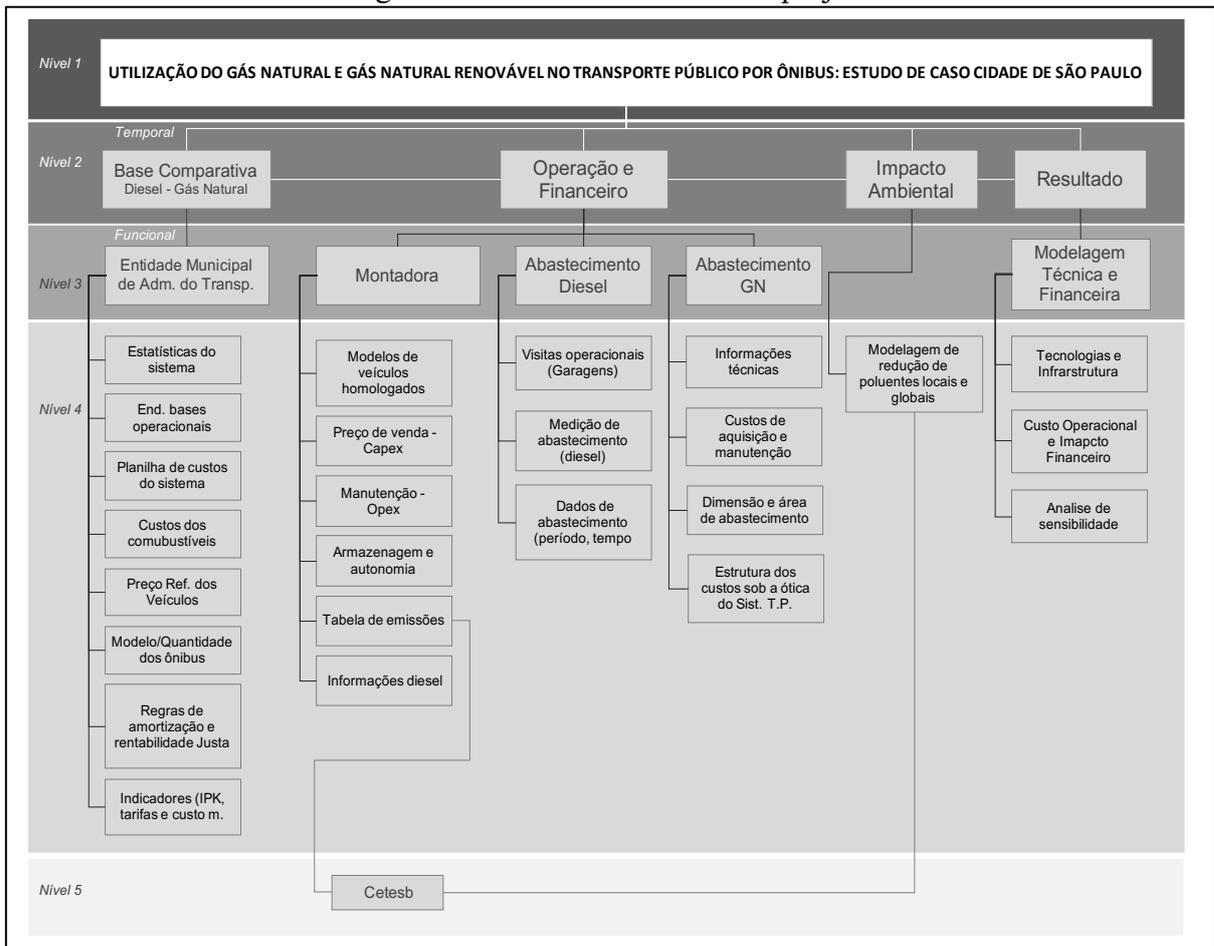
Fonte: Elaboração própria a partir Galvão, Pluye e Ricarte (2017).

3.2 Estrutura Analítica de Processo

A Estrutura Analítica de Projeto (EAP) é uma ferramenta relevante na metodologia de pesquisa, desempenhando um papel essencial na organização e delimitação das atividades. Trata-se de uma representação visual hierárquica que decompõe o projeto em partes menores, proporcionando uma visão detalhada e organizada das tarefas necessárias para a condução da pesquisa. Ao ser integrada à metodologia, a EAP oferece uma estrutura lógica para orientar as diferentes fases ou níveis do projeto, desde a definição dos objetivos até a conclusão, permitindo um planejamento, gerenciamento e avaliação eficazes.

A Figura 18 apresenta a EAP com uma estrutura de cinco níveis, a partir dos quais pode ser observado claramente todas as partes que envolvem o presente trabalho para atingir os objetivos específicos.

Figura 18 - Estrutura analítica de projeto



Fonte: Elaboração própria.

3.3 Modelagem Técnica e Financeira

Além da EAP, a metodologia se divide em quatro partes: (i) avaliar as tecnologias veiculares e infraestrutura de distribuição de gás natural, (ii) analisar o custo operacional e impacto financeiro no sistema de transporte público por ônibus, (iii) desenvolver uma análise de sensibilidade de cenários e (iv) examinar os impactos numéricos das emissões de poluentes locais e . Em todas as quatro partes a área de estudo se restringe na cidade de São Paulo.

(i) Avaliar as tecnologias veiculares e infraestrutura de distribuição de gás natural

Na parte de tecnologia, existem duas tecnologias para avaliação:

- Tecnologia de conversão de Diesel para Diesel-Gás;
- Tecnologia de ciclo otto, motor dedicado ao combustível GN e GNR.

Em se tratando de infraestrutura, serão necessárias as consultas de:

- Endereços das bases operacionais, conhecida popularmente por garagens;
- Desenho da infraestrutura de gás natural na cidade de São Paulo e as proximidades com os endereços das bases operacionais;
- Coletar dados sobre o sistema de compressão e abastecimento de GN e GNR, em relação a capacidade e custos.

(ii) Analisar o custo operacional e impacto financeiro no sistema de transporte público por ônibus.

A avaliação de custos e impactos financeiro será a parte de maior demanda de informações, com uma pesquisa abrangente no Sistema Tarifário da Cidade de São Paulo e dados da indústria automobilística, sendo em destaques:

- Composição do custo do transporte público;
- Premissas regulatórias de TIR (taxa interna de retorno), Período de Depreciação e Valor Residual dos ativos (ônibus e sistema de abastecimento);
- Custo de aquisição dos veículos Diesel, GN e GNR;
- Custo de manutenção dos veículos a GN e GNR;
- Custo de aquisição do sistema de compressão e abastecimento de GN e GNR;
- Custo e competitividade do Diesel e GN;
- Modelagem financeira de comparação de custos, considerando a renovação de parte da frota com substituição do Diesel por GN e GNR.

(iii) Análise de sensibilidade de cenários

Tendo como base a modelagem financeira do item anterior, serão realizados ajustes de sensibilidade de custos, tais como:

- Redução o ICMS do GN e GNR;
- Aumento do Período de Depreciação dos ativos de 10 para 12 anos.

(iv) Avaliação dos números de emissões de poluentes locais e GEE

- Consulta dos níveis de emissões de ônibus na Cidade de São Paulo;
- Dados da emissão dos veículos a Diesel, GN e GNR;
- Equação de redução de emissões de poluentes locais e GEE, considerando a média de atividade, ou seja, quilometro percorrido, na cidade de São Paulo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Tecnologias e Infraestrutura a GN e GNR

4.1.1 Tecnologias Veiculares para Utilização de Gás Natural e ou Gás Natural Renovável

Atualmente, em termos comerciais, há duas abordagens tecnológicas diferentes para a incorporação do gás natural como fonte de combustível em veículos pesados: (i) o motor de ciclo Otto, concebido com tecnologia especializada para empregar exclusivamente o gás natural; e (ii) a adaptação do motor de ciclo Diesel para funcionar com uma combinação diesel-gás, em proporções variadas. Vale frisar que na opção de ciclo Otto, podemos encontrar duas rotas: a original de fábrica, ou seja, a comercialização de veículos novos movidos 100% a GN e GNR e a opção de conversão por organismos credenciado no Inmetro, onde altera o ciclo diesel para ciclo otto. Destacando que essa mudança requer uma grande alteração no motor e perda da garantia do veículo, caso esteja no período. A Tabela 11 ilustra as fases de funcionamento das duas tecnologias entre os dois motores

Tabela 11 – Fases de funcionamento Ciclo Otto x Ciclo Diesel

Etapa	Motor Ciclo Otto	Motor Ciclo Diesel
Admissão	Admite e comprime a mistura ar/combustível	Comprime somente o ar
Rotação	Controle de rotação feito pela válvula borboleta de aceleração	Controle de rotação feito pela bomba injetora
Taxa de Compressão	Taxa de compressão e temperatura dentro do cilindro menor	Taxa de compressão e temperatura dentro do cilindro maior
Centelha	Centelha para inflamar a mistura	Não exige centelha
Injeção	Injeção do combustível no tempo de admissão	Injeção do combustível no tempo de compressão
Expansão	Forte expansão do motor, com pouca duração	Expansão do motor com menos força, porém mais longa

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Nota: Com base em dados disponíveis em: <https://embarcados.com.br/motores-de-combustao-interna-ciclo-otto/>. Acesso em: 18 jun. 2019.

Em relação a tecnologia Diesel-Gás, existem vantagens importantes, tais como: projeto do motor não sofre alterações; aumento da autonomia; utilização do veículo em regiões onde não exista rede de distribuição de gás, uma vez que o motor pode funcionar normalmente utilizando somente diesel.

Já em relação a tecnologia de Ciclo Otto, as vantagens são: melhor rendimento, já que o motor foi projetado para o GN e GNR (quando for *original equipment manufacture* – OEM); aproveitamento das emissões de poluentes evitadas, já que consome apenas o GN e GNR; funcionamento mais silencioso (Tabela 12).

Tabela 12 – Opções de tecnologias veiculares que utilizam o GN e GNR

Tecnologia	Solução	Fornecedores	Taxa Média de Utilização
Diesel-Gás	Fábrica (OEM)	Não encontrado	-
	Kit de Conversão	Diversos (fornecedores de Kit GNV)	30% a 40%
Ciclo Otto	Fábrica (OEM)	Scania - Iveco	100%
	Conversão	Não encontrado	100%

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Nota: Coletados em: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social B213g Gás para o desenvolvimento / Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Rio de Janeiro: BNDES, 2020. 273 p.

Diante das duas tecnologias apresentadas, distribuídas em quatro soluções, a escolha considerada para este estudo é a de Ciclo Otto (OEM), visto que é a opção de motor dedicado, ou seja, que utiliza somente GN e ou GNR,

Atualmente, temos uma fabricante de veículos pesados que oferece comercialmente essa solução, no modelo Padron, descrito na Tabela 13. As principais razões para eleger a tecnologia Ciclo Otto (OEM) para este trabalho são: tecnologia disponível por um dos maiores fabricantes; motores dedicados, 100% a GN e GNR; maior potencial para evitar poluentes frente a opção Diesel-Gás; e por ser de fábrica, possui garantia do veículo e do motor;

Tabela 13 – Modelos de ônibus urbanos segundo ABNT NBR 15570

Classe	Capacidade	Peso Bruto Mín (Ton)	Comprimento Total Máx (m)	Figura
Microônibus	Entre 10 e 20 passageiros, exclusivamente sentados, incluindo área reservada para acomodação de cadeira de rodas ou cão-guia	5	7,4	
Miniônibus	Mínimo de 30 passageiros, sentados e em pé, incluindo área reservada para acomodação de cadeira de rodas ou cão-guia	8	9,6	
Midiônibus	Mínimo de 40 passageiros, sentados e em pé, incluindo área reservada para acomodação de cadeira de rodas ou cão-guia	10	11,5	
Ônibus Básico	Mínimo de 70 passageiros, sentados e em pé, incluindo área reservada para acomodação de cadeira de rodas ou cão-guia	16	14	
Ônibus Padron *	Mínimo de 80 passageiros, sentados e em pé, incluindo área reservada para acomodação de cadeira de rodas ou cão-guia	16	14	
Ônibus Articulado	Mínimo de 100 passageiros, sentados e em pé, incluindo área reservada para acomodação de cadeira de rodas ou cão-guia	26	18,6	
Ônibus Biarticulado	Mínimo de 160 passageiros, sentados e em pé, incluindo área reservada para acomodação de cadeira de rodas ou cão-guia	36	30	

*Admite-se o comprimento do ônibus Padron de até 15 m, desde que o veículo seja dotado de terceiro eixo de apoio direcional.

Fonte: ABNT (2021, p. 7).

4.1.2 Infraestrutura de Distribuição de Gás Natural.

Na etapa de infraestrutura, foram avaliadas três frentes, a saber: (i) rede de gás natural; (ii) bases operacionais e cobertura pela rede de gás natural; e (iii) sistema de abastecimento e compressão.

4.1.2.1 Rede de Gás Natural

Forma mais tradicional de distribuir o gás natural é por um sistema de infraestrutura composto por gasodutos e outros equipamentos que possibilitam o transporte seguro e eficiente do gás natural das instalações de produção até a entrada para os consumidores finais. Além das redes de distribuição, existem mais outras duas formas: (a) Gás Natural Comprimido (GNC), quando o gás natural é comprimido a altas pressões e armazenado em cilindros ou tanques de GNC. Esses cilindros são então transportados por caminhões ou navios para locais de consumo ou armazenamento temporário; e (b) Gás Natural Liquefeito (GNL), obtido através do processo de liquefação do gás natural, processo conhecido por criogênia, reduzindo seu volume para facilitar o transporte e o armazenamento. O GNL é transportado em navios ou caminhões, ambos com tanques especiais e, no local de destino, é regaseificado para ser injetado na rede de distribuição ou diretamente no cliente consumidor.

Em relação à cidade de São Paulo, a distribuição por rede é a mais relevante, com uma extensa e bem-estabelecida rede de distribuição de gás natural.

Municípios concedidos:	177
Municípios atendidos:	94
Rede de distribuição instalada:	19.443 km
Número de usuários:	2.472.374
Consumo médio diário/mês:	14,13 MM m ³ /dia

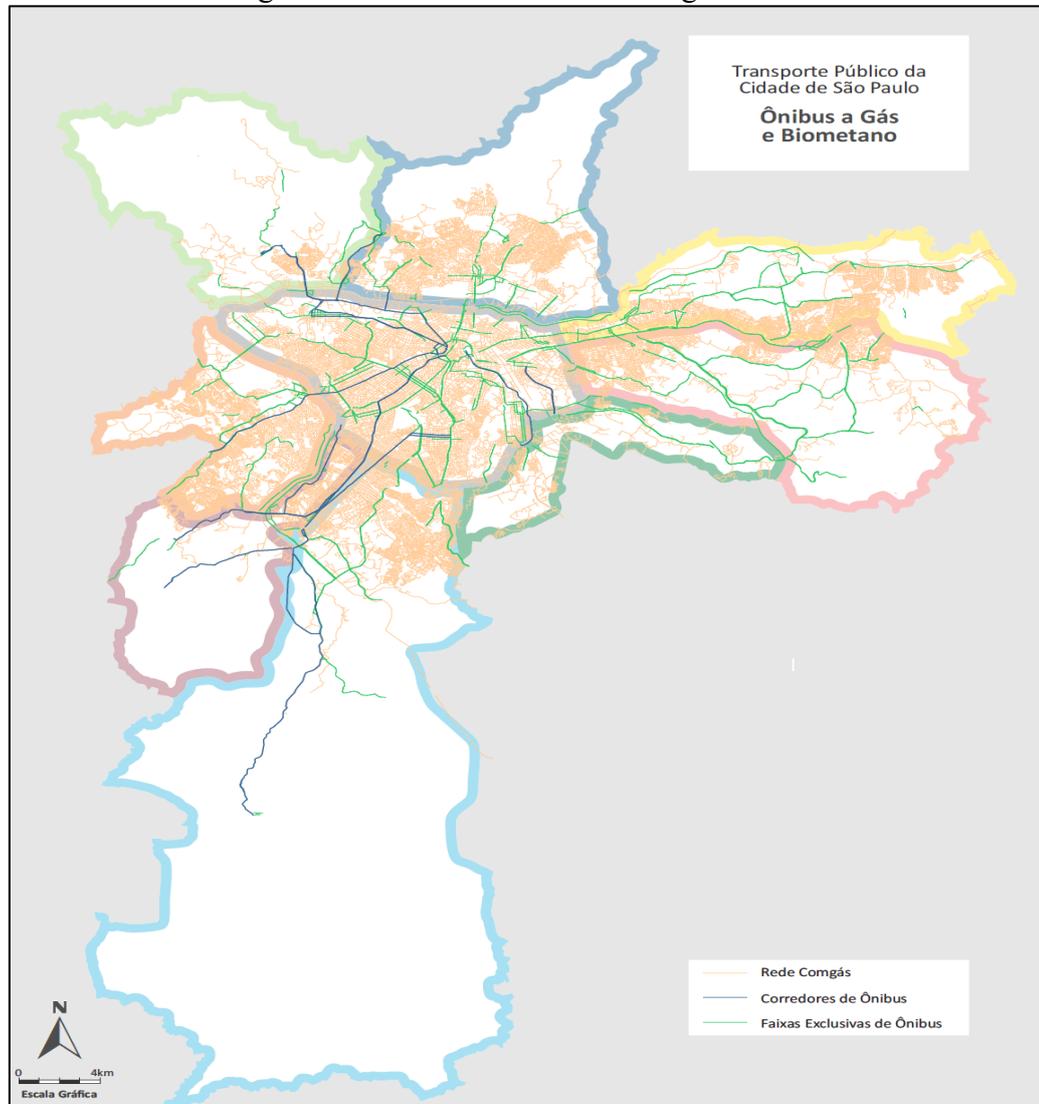
Fonte: Dados de 2023 da Arsesp.

Nota: Dados coletados em <http://www.arsesp.sp.gov.br/Paginas/gas/gas-canalizado.aspx>

A principal concessionária responsável pela distribuição de gás natural na região metropolitana de São Paulo é a Companhia de Gás de São Paulo (Comgás), Tabela 14, que desempenha um papel crucial no fornecimento desse recurso para residências, indústria, estabelecimentos comerciais e postos de GNV (gás natural veicular). Atualmente, são mais de 19,4 mil km de redes, boa parte instalada da Região Metropolitana de São Paulo, como podemos

identificar de forma visual na Figura 19, na qual a rede de gás natural está representada pela cor laranja.

Figura 19 - Redes fornecedoras de gás natural



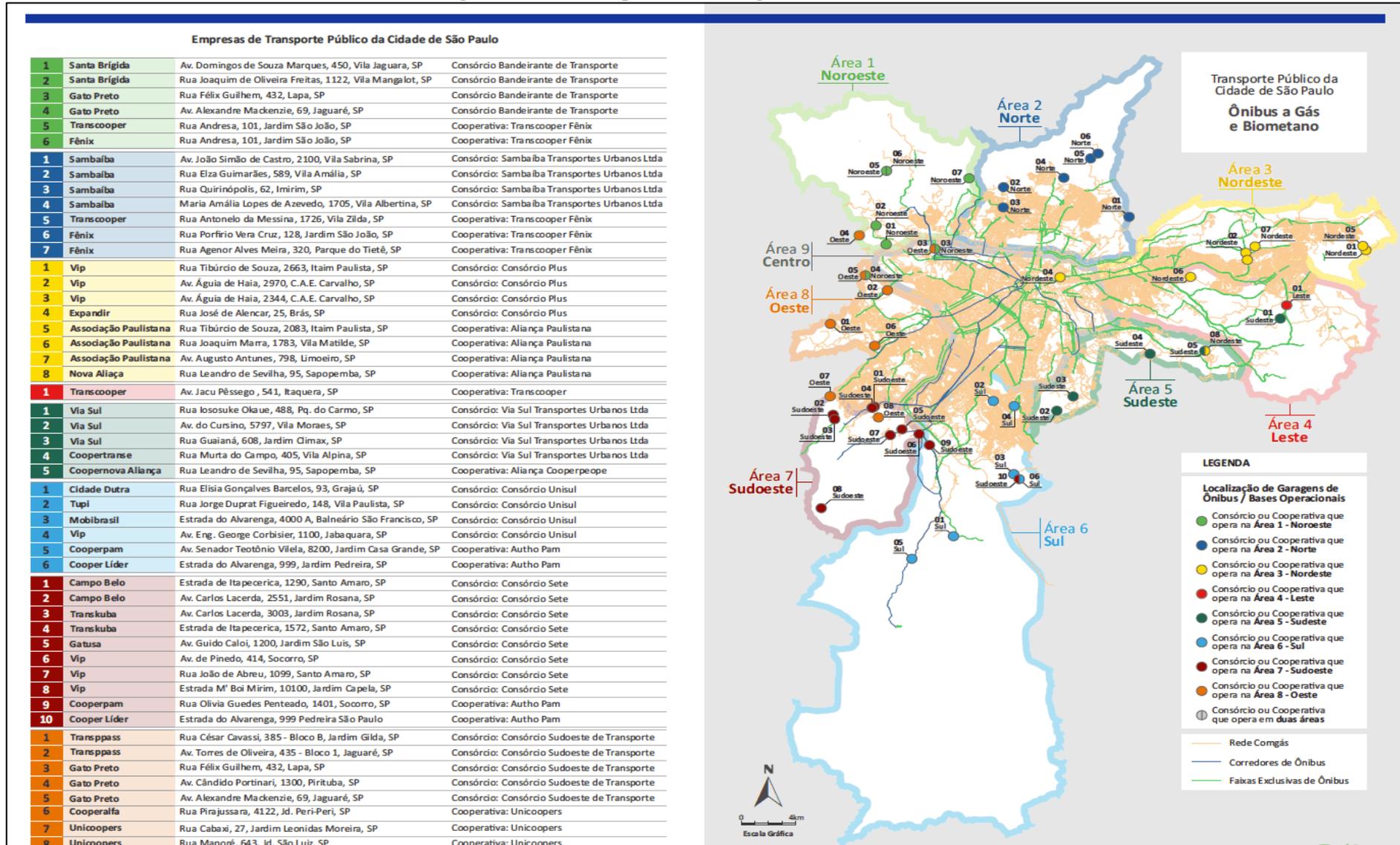
Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Nota: Dados da Rede de Distribuição da Comgás, extraída em 2021.

4.1.2.2 Bases Operacionais e Cobertura pela Rede de Gás Natural

Em relação as bases operacionais, mais conhecidas como “garagens de ônibus”, a cidade de São Paulo, dispõe de 51 unidades devidamente registradas na SPTrans, como podemos verificar na Figura 20.

Figura 20 - Bases operacionais registradas na SPTrans



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

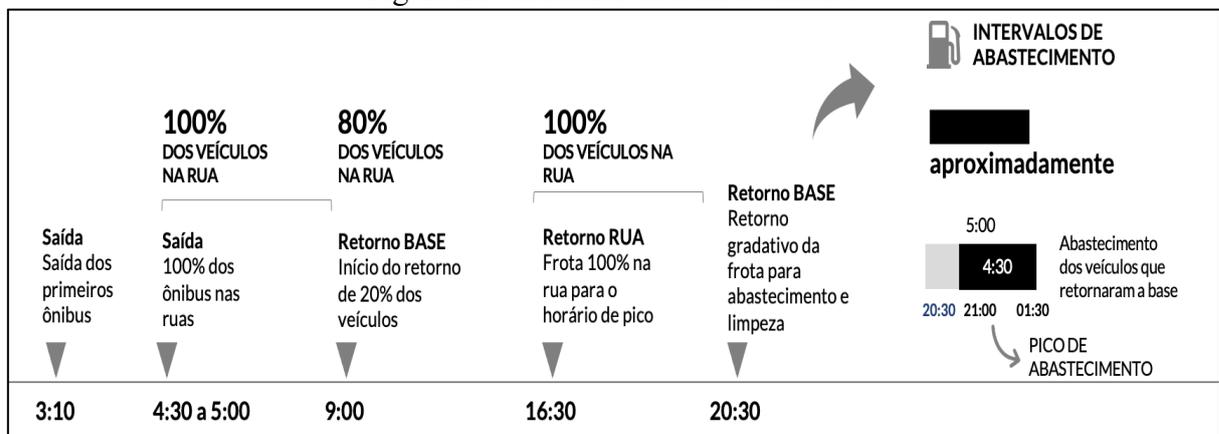
Ao compilar as informações das 51 bases operacionais e a cobertura da rede de gás natural da concessionária Comgás, temos 32 bases (62%) com redes de gás natural disponíveis e 19 bases com até 1 km de distância. O número de cobertura de 62% dos endereços para a dimensão da Cidade de São Paulo, pode ser considerado positivo. Outra confirmação que poderá ser feita em outros estudos é a viabilidade financeira para dimensionar a rede nas 19 bases sem rede na “porta”, considerando que uma garagem tem um perfil potencial de consumo elevado.

4.1.2.3 Sistema de Abastecimento e Compressão

Para dimensionar o sistema de abastecimento neste estudo, foi necessário realizar uma visita técnica na base operacional, Santa Brígida, considerada uma das maiores do sistema SPTrans, com aproximadamente 700 ônibus. A visita técnica ajudou a compreender os movimentos e tempos necessários para o abastecimento a Diesel e qual a janela de tempo disponível.

Além disso, houve consulta com a SPUrbanuss e garagens de outras cidades, com Viação Sorisso em Curitiba, para confirmar uma similaridade nos horários. A conclusão que chegamos pode ser expressa de forma resumida na Figura 21, onde a informação mais necessária para a modelagem deste estudo é o intervalo de disposição para abastecimento, que no caso visitado e nas consultas, foi entre 20:30 hs e 01:30 hs, totalizando 5:00 hs disponíveis para o abastecimento. Os dados foram coletados em visita técnica na viação Santa Brígida (SP) e Viação Sorriso (Curitiba), em 2020.

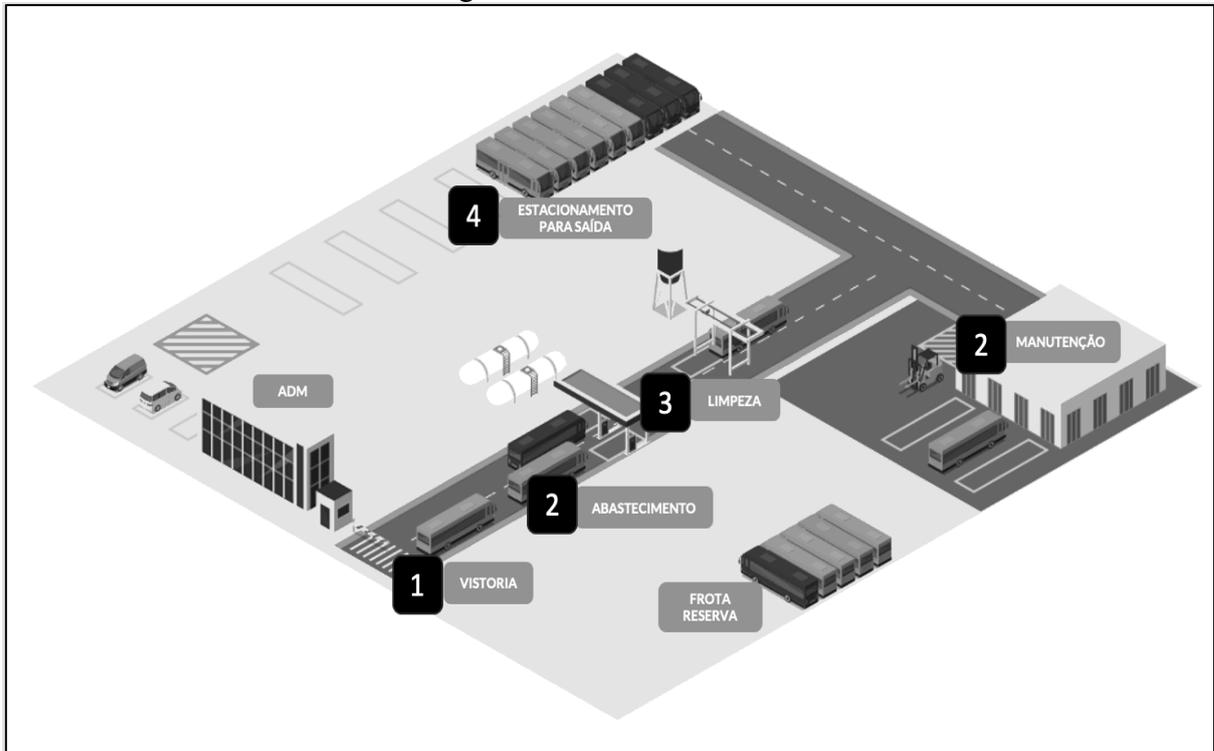
Figura 21 - Horários de abastecimento



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Além dos tempos medidos, apurou-se os principais movimentos (Figura 22).

Figura 22 - Dinâmica diária



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Nota: 1: Vistoria de entrada: apura com o motorista avarias ou problemas percebidos; 2: Abastecimento: em caso de veículo aprovado na vistoria segue diretor para o abastecimento, já em caso de avaria, o veículo segue para a manutenção; 3: Limpeza: lavagem interna e externa; 4: Estacionamento: o veículo é posicionado no pátio de forma organizada para a saída.

Exposto a compreensão da janela de abastecimento, de 5 horas, o estudo buscou novas informações do sistema SPTrans para estabelecer a capacidade diária de abastecimento em quantidade de ônibus.

Nesse sentido, a Tabela 15 detalha cinco tópicos, quais sejam:

- (1) Premissa de consumo: foram selecionados os dados do tipo de veículo que possui tecnologia a GN e GNR disponível no mercado, o modelo Padron. Na sequência o consumo específico no sistema SPTrans (base 2019).
- (2) Informações do veículo modelo Padron: em materiais de divulgação da montadora/fabricante foram extraídos a capacidade de armazenagem e o rendimento equivalente ao consumo do item acima, foi capturado em testes divulgados, considerando o rendimento em 85% do rendimento do diesel.
- (3) Dados do compressor: coletadas informações do fabricante de compressor, detentor da marca Aspro. As informações destacadas foram vazão e área ocupada.

- (4) Tempo de abastecimento: diante da janela de 5 horas, foram consideradas a vazão, os cálculos de manobra do veículo (chegada e saída) e calculado a capacidade máxima de quantidade de veículos abastecidos.
- (5) Consumo de GN e GNR: a combinação dos quatro itens acima, possibilitou calcular a capacidade de consumo diário e mensal em GN e GNR.

Tabela 15 – Detalhamento do abastecimento

(1) Premissas de consumo ônibus Padron (SPtrans, 2019)	
Rendimento do Ônibus Padron (com ar condicionado)	
Diesel (km/l)	1,58
Km/dia (consumo dia útil)	214,3
(2) Informações extraídas da Scania e testes divulgados	
Rendimento do GN (km/m ³) - Veículo Padron (85% do diesel)	1,66
Capacidade Ônibus Padron (m ³)	240,0
Autonomia/Dia	398,4
Abastecimento/dia (m ³ /dia)	129,1
(3) Dados do Compressor	
Compressor - Fabricante Gas Futuro - Aspro	
Vazão (m ³ /h)	900,0
Quantidade de Bico de Abast.	1,0
Vazão/Bico (em h)	900,0
Vazão/Bico (em min) (A)	15,0
Área ocupada pelo compressor (em m ²)	200,0
(4) Tempo de Abastecimento	
Abastecimento (m ³ /ônibus) (B)	129,1
Abastecimento (em minutos) (B/A = C)	8,6
Tempo de Chegada/Saída do veículo (em minutos) (D)	2,5
Tempo Total (em minutos) (C+D)	11,1
Janela de Abastecimento (em horas)	5,0
Janela de Abastecimento (em minutos)	300,0
Capacidade Diária de Abastecimento (quant ônibus)	27
(5) Consumo de GN e GNR	
Quantidade de veículos premissado	27,0
Consumo diário por ônibus (m ³ /d)	3.485,6
Consumo mensal por ônibus (m³/m)	104.568,1

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Em relação a informação de investimento e custos operacionais de compressão, serão considerados na modelagem financeira.

4.2 Análise do Custo Operacional e Impacto Financeiro no Sistema de Transporte Público por Ônibus

Um dos objetivos deste trabalho é analisar os efeitos financeiros decorrentes da adoção de gás natural (GN) e/ou gás natural renovável (GNR) como combustível de transição no transporte público por ônibus na cidade de São Paulo. Para o desenvolvimento desta avaliação foi necessário a consolidação de alguns indicadores e a construção de uma modelagem financeira, seguindo algumas etapas de construção:

- 1) apuração dos custos;
- 2) definição do modelo do veículo e a quantidade de substituição a ser considerada no estudo, além dos indicadores operacionais;
- 3) premissas de investimentos (capital expenditure = CapEx) e custos (operational expenditure = OpEx);
- 4) modelagem financeira de comparação de custos, considerando a renovação parcial da frota movida a Diesel por GN e GNR.

Na primeira etapa foi apurado o custo de operação mensal do sistema SPTrans. Em consulta aos dados da SPTrans dispostos no site, o último detalhamento que embasa a tarifa atual é datado de 01 de janeiro de 2020. A Tabela 16 faz parte das informações das planilhas de custos da SPTrans, em que o custo médio por quilometro rodado foi de R\$ 8,85; traduzindo o custo para passageiros em R\$ 6,62, foi aquém da tarifa técnica de R\$ 4,40.

Tabela 16 – Custo médio do sistema

DESCRIPTIVO	RS/Mês	RS/Veic/mês	RS/Passg	RS/KM	% relativo	
1. CUSTOS FIXOS	368.312.844	28.959	3,57	4,78	54,0%	
1.1. Pessoal Operacional	301.250.512	23.686	2,92	3,91	44,1%	
1.1.1. Salários	177.015.173	13.918	1,72	2,30	25,9%	
1.1.2. Encargos Sociais	74.334.572	5.845	0,72	0,96	10,9%	
1.1.3. Benefícios	47.666.990	3.748	0,46	0,62	7,0%	
1.2. Manutenção de Validadores	425.829	33	0,00	0,01	0,1%	
1.3. Manutenção de Equipos. de Monitoramento	422.310	33	0,00	0,01	0,1%	
1.4. Despesas Administrativas	55.168.631	4.338	0,54	0,72	8,1%	
1.5. Aluguel de garagem	11.045.561	868	0,11	0,14	1,6%	
		0				
2. DEPRECIÇÃO	56.984.513	4.480	0,55	0,74	8,4%	
2.1. Veículos	55.214.544	4.341	0,54	0,72	8,1%	
2.2. Validadores Eletrônicos	1.290.392	101	0,01	0,02	0,2%	
2.3. AVLS	439.906	35	0,00	0,01	0,1%	
2.4. Equipamentos de garagem	39.671	3	0,00	0,00	0,0%	
(novo) 2.5. Compressor		0				
3. CUSTOS VARIÁVEIS	199.638.318	15.697	1,94	2,59	29,3%	
3.1. Diesel / Energia	135.110.627	10.623	1,31	1,75	19,8%	
3.2. Rodagem	10.539.176	829	0,10	0,14	1,5%	
3.3. Lubrificantes	2.052.971	161	0,02	0,03	0,3%	
3.4. Consumo de Peças e Acessórios	51.935.544	4.083	0,50	0,67	7,6%	
4. TOTAL ANTES DE INSS (1. + 2. + 3.)	624.935.675	49.136	6,06	8,10	91,6%	
5. CONTRIBUIÇÃO SOBRE RECEITA (LEI FEDERAL Nº 12.546/11)	2,18%	13.647.210	1.073	0,13	0,18	2,0%
6. CUSTO DE OPERAÇÃO (4. + 5.)	638.582.885	50.209	6,20	8,28	93,6%	
7. REMUNERAÇÃO ESTIMADA DOS OPERADORES	682.360.485	53.651	6,62	8,85	100,0%	
8. LUCRO BRUTO DA OPERAÇÃO (7. - 6.)	6,86%	43.777.600	3.442	0,42	0,57	6,4%
9. IMPOSTO DE RENDA E CSSL	34,00%	14.884.384	1.170	0,14	0,19	2,2%
10. LUCRO DO OPERADOR (8. - 9.)	66,00%	28.893.216	2.272	0,28	0,37	4,2%
TOTAL	682.360.485	53.651,02	6,62	8,85	100,0%	

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Nota: Coletados de SPTrans, Planilha de Custo, Quadro 9 – Quanto custa o sistema de transporte “Custo de Operação”

Na segunda etapa, em consonância com a disponibilidade comercial, estabelecemos o modelo Padron da marca disponível, onde a cidade de São Paulo, possui em operação 3.730 veículos, conforme demonstrado na Tabela 17. Esse modelo possui uma excelente representação de 26,5% de toda a frota da cidade de São Paulo.

Para o estudo iremos estabelecer um percentual de substituição de 50% do modelo Padron, deixando uma reserva dos outros 50%, para novos combustíveis de baixa emissão.

Tabela 17 – Modelo Padron

Indicador	Padron	Referência
Quantidade de Ônibus Padron	3.730	SPTrans (2019)
Quilometragem mensal modelo Padron (km/m)	21.434.727	SPTrans (2019)
Km médio mensal (km por mês)	5.747	SPTrans (2019)
Rendimento do diesel (km/l)	1,66	SPTrans (2019)

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Na terceira etapa (premissas de investimentos e custos), considerada uma das mais críticas pela natureza de coleta de dados, que envolveu uma aproximação do mercado de fornecedores de veículos e sistemas de abastecimento para pesquisar seus produtos e preços (Tabela 18).

Tabela 18 – Premissas de investimentos e custos

Preço dos Veículos Padron (CapEx)		Padron	Referência			
Veículo Diesel - Marca MB - Traseiro - O 500 U 1826/59 entt. baixa	R\$	1.137.500	Consulta mercado (2022)			
Veículo a Gás Natural/Biometano - Marca Scania -K280C IB 4x2	R\$	1.560.000	Consulta mercado (2022)			
Preço Compressor (CapEx)		Padron	Referência			
Compressor - Marca - Aspro Gás Futuro - 900 m³/h	R\$	1.700.000	Consulta mercado (2022)			
Custo de lubrificante		R\$/und	Und	Referência		
Adicional no modelo de veículo a GN-GNR	R\$	0,25	R\$/m³	Fabricante Scania		
Preço dos Combustíveis (OpEx)		R\$/und	Und	Referência	Rendimento (km/und)	Custo R\$/km
Preço Diesel S10 Distribuidor (R\$/litro)	R\$	5,23	litro	ANP	1,66	3,15
Preço do Gás Natural (R\$/m³)	R\$	2,98	m³		1,44	2,06
Tarifa de Gás Natural Comgás (R\$/m³)	R\$	2,74	m³	Comgás	x	x
Energia Elétrica para compressão (R\$/m³)	R\$	0,18	m³	Fabricante compressor	x	x
Custo de manutenção com reposição de peça (R\$/m³)	R\$	0,06	m³	Fabricante compressor	x	x
Economia						-35%

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Na parte de rendimento, o número 1,66 km por litro de diesel, foi extraído dos controles da SPTrans, exposto na Tabela 17, enquanto o rendimento do gás natural de 1,44 km por m³, foi apurado com operadores logísticos, que possuem uma amostra de 100 veículos a gás natural, apontando a média de 85% do rendimento do motor a diesel, nas mesmas condições de utilização e motorização. Contudo, a última linha da Tabela 18, Economia, chamou a atenção pelo percentual de 35% de economia em relação ao diesel.

No quesito preço do gás natural, foi necessário esclarecer as três parcelas que compõem o custo do gás natural, sendo elas: (i) tarifa de gás natural, (ii) custo de energia elétrica para operar o compressor e (iii) custo de manutenção com reposição de peça. Nesse último, a Tabela 19, detalha os indicadores considerados para apurar o custo de R\$ 0,06/m³, demonstrado na Tabela 17 e na Tabela 18.

Tabela 19 – Composição do custo de manutenção do compressor

Composição do Custo de Manutenção do Compressor	Número	Unidade
Quantidade de ônibus atendido (und)	27	ônibus
Quantidade de km mensal por ônibus (km/m)	5747	km mensal/ônibus
Quantidade de km total (km/m)	155158	km mensal total
Volume mensal por ônibus (m³/m)	3462	m³ mensal/ônibus
Volume total por ônibus (m³/m)	93468	m³ mensal total
Custo mensal de manutenção com reposição de peça	5500	R\$/mês
Custo de manutenção com reposição de peça (R\$/m³)	0,06	R\$/m³

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

A quarta e última etapa, que trata da modelagem, considerou regras, dados e premissas na sua construção, destacando-se:

- tempo máximo de utilização dos ativos: 10 anos (SPTrans);
- valor residual dos ativos: 10% (SPTrans);
- tir: 9,1% (SPTrans);
- período de depreciação: 10 anos (SPTrans);
- modelo de depreciação: Cole, mas iremos considerar o linear que é a média do Cole, para facilitar a visualização do custo (R\$/km);
- planilha de custo médio do sistema. (SPTrans);
- dados da Tabela 16, Tabela 17 e Tabela 18; e
- custo de conexão do gás natural: zero, na hipótese da concessionária considerar em sua avaliação financeira, um volume que se assemelha ao segmento industrial.

Contendo, ainda, as alterações nas linhas de custo de depreciação de veículos, de depreciação do sistema de abastecimento, de custo do combustível, impostos e remuneração dos operadores, definimos três cenários, expressos numericamente na Tabela 20.

- Média do Sistema: custo calculado pela SPTrans, considerando todos os modelos de veículos aplicados na cidade de São Paulo.
- Cenário Base: cenário de comparação que considera o veículo Padron, movido a diesel, com os valores de veículo e combustível, atualizados.
- Cenário Proposto: cenário pretendido, que considera o veículo Padron, movido a GN e GNR, com os valores de veículo e combustível, atualizados.

Tabela 20 – Modelagem de cenário base e cenário proposto

Descritivo	Média do Sistema (Diesel)	Cenário Base (Padron - Diesel)	Cenário Proposto (Padron - GN e GNR)
1. CUSTOS FIXOS	4,78	4,78	4,78
1.1. Pessoal Operacional	3,91	3,91	3,91
1.1.1. Salários	2,30	2,30	2,30
1.1.2. Encargos Sociais	0,96	0,96	0,96
1.1.3. Benefícios	0,62	0,62	0,62
1.2. Manutenção de Validadores	0,01	0,01	0,01
1.3. Manutenção de Equipos. de Monitoramento	0,01	0,01	0,01
1.4. Despesas Administrativas	0,72	0,72	0,72
1.5. Aluguel de garagem	0,14	0,14	0,14
		0,00	0,00
2. DEPRECIAÇÃO	0,74	1,51	2,14
2.1. Veículos	0,72	1,48	2,04
2.2. Validadores Eletrônicos	0,02	0,02	0,02
2.3. AVLS	0,01	0,01	0,01
2.4. Equipamentos de garagem	0,00	0,00	0,00
(novo) 2.5. Compressor		0,00	0,08
3. CUSTOS VARIÁVEIS	2,59	3,99	3,15
3.1. Combustível	1,75	3,15	2,06
3.2. Rodagem	0,14	0,14	0,14
3.3. Lubrificantes	0,03	0,03	0,28
3.4. Consumo de Peças e Acessórios	0,67	0,67	0,67
4. TOTAL ANTES DE INSS (1. + 2. + 3.)	8,10	10,27	10,07
5. CONTRIBUIÇÃO SOBRE RECEITA (LEI FEDERAL Nº 12.546/11)	0,18	0,22	0,22
6. CUSTO DE OPERAÇÃO (4. + 5.)	8,28	10,50	10,29
7. REMUNERAÇÃO ESTIMADA DOS OPERADORES	8,85	11,2	11,0
8. LUCRO BRUTO DA OPERAÇÃO (7. - 6.)	0,57	0,72	0,71
9. IMPOSTO DE RENDA E CSSL	0,19	0,25	0,24
10. LUCRO DO OPERADOR (8. - 9.)	0,37	0,48	0,47
TOTAL	8,85	11,22	11,00

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Sendo assim, no cenário proposto, o GN em termos de custo de combustível ficou 35% mais barato que o diesel, e ao considerar todos os custos envolvidos (veículo, infraestrutura de abastecimento) o GN ficou em R\$ 11,00/km, enquanto o diesel em R\$ 11,22, tendo um desconto de custo no cenário proposto de R\$0,23/km. Considerando a mudança de 50% da frota modelo Padron para o GN, o reflexo do custo descontado de R\$0,23/km, será de -R\$ 29,1 milhões anuais, com retratado na Tabela 21. Esse valor somado ao subsídio alocado, em 2022, de R\$ 5,26 bilhões, traria um impacto irrisório de desconto de 0,55%. Também divulgamos o valor de adicional de investimento no sistema de R\$ 905 milhões, a ser amortizado no período de 10 anos.

Tabela 21 – Modelagem de cenário base e cenário proposto

Cenário Base	Números	Unidade	Referência
Total Veículo Padron Diesel	3.730	veículos	A (dado)
Total de km mensais - Padron Diesel	21.434.727	km mensal	B (dado)
Cenário Proposto	Números	Unidade	Referência
% de Veículo movido a GN e GNR	50%	% a GN	C
Total Veículo Padron GN e GNR	1.865	veículos	A x C
Total de km mensais - Padron	10.717.363	km mensal - GN	D
Comparação de Custo	Números	Unidade	Referência
Custo Total Padron Diesel	11,22	R\$/km	E (Cenário Base)
Custo Total Padron GN	11,00	R\$/km	F (Cenário Proposto)
Δ GN (-) Diesel	-0,23	R\$/km	(F-E) = G
Δ GN/Diesel	-2,0%	%	F/E-1
Desconto Mensal - Adicional ao Diesel	-2.426.828	R\$/mês	G x D = H
Desconto Anual - Adicional ao Diesel	-29.121.933	R\$/ano	H x 12

Comparação Consolidada - Aplicando 50% da frota Padron a GN-GNR

Cenário Proposto	RS
Desconto Mensal - Adicional ao Diesel	-2.426.828
Desconto Anual - Adicional ao Diesel	-29.121.933
Subsídio Anual Total (Base 2022)	5.263.088.000
Subsídio Anual Total + Cenário Proposto	5.233.966.067
Desconto Anual ao Subsídio (Base 2022)	-0,55%

Nível adicional de investimento para atender 50% da frota Padron a GN-GNR

Cenário Proposto	RS	Unidade
Total	905.262.500	
Capex - Compressor	117.300.000	69 unidades de compressão
Delta de Capex em Veículos	787.962.500	1.865 veículos
<i>Capex - Veículos a GN-GNR</i>	<i>2.909.400.000</i>	
<i>Capex - Veículo a Diesel</i>	<i>2.121.437.500</i>	

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

4.3 Análise de Sensibilidade de Cenários

Os combustíveis alternativos normalmente possuem características mais onerosas no início de sua aplicação devido ao papel inovador e baixa escala de comercialização. No caso do GN, que desempenha neste estudo a função de combustível alternativo, apresentou uma vantagem competitiva por conta do valor da sua molécula e pelo perfil de utilização do modelo Padron, com altas quilometragens. Essa combinação foi suficiente para amenizar o impacto de aumento do custo dos veículos (+37%) e sistema de abastecimento de alta pressão.

Como o item combustível é uma linha de custo que sofre muitas oscilações e que comprometam a competitividade, o estudo propõe analisar dois cenários de sensibilidade acumulativos de forma assegurar uma vantagem competitiva, quais sejam:

- isenção do ICMS: justifica-se por causar impactos nos indicadores inflacionários. O diesel recebeu alguns subsídios nos últimos meses, como: defasagem no preço de refino, redução dos impostos federais e alíquota de ICMS menor que o gás natural. Para equilibrar as condições e promover combustíveis alternativos, a sugestão é isentar o ICMS do GN, trazendo melhores condições para os usuários e a população de São Paulo. Redução de 15,3% para 0%.

- aumentar o período de depreciação de 10 para 12 anos: novas tecnologias apresentam característica de preços elevados nos primeiros anos de lançamento.

O resultado dessa aplicação está exposto na Tabela 22, demonstrando um potencial de redução no custo do combustível de 14%, além da redução de depreciação, impostos e remuneração, que juntos totalizam R\$0,70/km, ou redução de 6% no geral, saindo do cenário proposto de R\$ 11,00/km para R\$10,30/km, ambos abaixo do cenário base de R\$11,22/km com o diesel.

Tabela 22 – Comparativo entre cenário proposto e cenário de sensibilidade

Linha de Custo	Descrição dos Custos	Und	Cenário Proposto (A)	Cenário de Sensibilidade (B)	Varição (B-A)	Varição % (B/A-1)
Combustível	Tarifa do GN	R\$/m³	R\$ 2,74	R\$ 2,33	-R\$ 0,41	-15%
	Preço do GN	R\$/m³	R\$ 2,98	R\$ 2,57	-R\$ 0,41	-14%
	Custo do GN	R\$/km	R\$ 2,06	R\$ 1,78	-R\$ 0,28	-14%
Depreciação	Veículo	R\$/km	R\$ 2,04	R\$ 1,70	-R\$ 0,34	-17%
	Compressor	R\$/km	R\$ 0,08	R\$ 0,07	-R\$ 0,01	-17%
Outros	Impostos	R\$/km	R\$ 0,22	R\$ 0,21	-R\$ 0,01	-6%
	Remuneração	R\$/km	R\$ 0,71	R\$ 0,66	-R\$ 0,04	-6%
Cuto Total		R\$/km	R\$ 10,995	R\$ 10,30	-R\$ 0,70	-6%

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

No geral, a aplicação dos dois itens de sensibilidade contribuiu para aumentar o desconto anual para R\$ 118,7 milhões e redução de 2,6% no subsídio anual, conforme descrito na Tabela 23.

Tabela 23 – Aplicação dos dois itens de sensibilidade

Cenário Base	Números	Unidade	Referência
Total Veículo Padron Diesel	3.730	veículos	A (dado)
Total de km mensais - Padron Diesel	21.434.727	km mensal	B (dado)
Cenário Proposto	Números	Unidade	Referência
% de Veículo movido a GN e GNR	50%	% a GN	C
Total Veículo Padron GN e GNR	1.865	veículos	A x C
Total de km mensais - Padron	10.717.363	km mensal - GN	D
Comparação de Custo no Cenário de Sensibilidade	Números	Unidade	Referência
Custo Total Padron Diesel	11,22	R\$/km	E (Cenário Base)
Custo Total Padron GN	10,30	R\$/km	F (Cenário Proposto)
Δ GN (-) Diesel	-0,92	R\$/km	(F-E) = G
Δ GN/Diesel	-8,2%	%	F/E-1
Desconto Mensal - Adicional ao Diesel	-9.891.590	R\$/mês	G x D = H
Desconto Anual - Adicional ao Diesel	-118.699.075	R\$/ano	H x 12

Comparação Consolidada - Aplicando 50% da frota Padron a GN-GNR

Cenário Proposto	RS
Desconto Mensal - Adicional ao Diesel	-9.891.590
Desconto Anual - Adicional ao Diesel	-118.699.075
Subsídio Anual Total (Base 2022)	5.263.088.000
Subsídio Anual Total + Cenário Proposto	5.144.388.925
Desconto Anual ao Subsídio (Base 2022)	-2,26%

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

4.4 Avaliação dos Números de Emissões de Poluentes Locais e GEE

A avaliação dos impactos numéricos das emissões de poluentes, tanto locais quanto GEE, é crucial para entender e mitigar os efeitos adversos sobre o meio ambiente e a saúde humana. No âmbito deste estudo, vamos avaliar o potencial de redução sobre duas categorias; GEE, avaliando o impacto das emissões de dióxido de carbono (CO₂) e os poluentes locais, que avaliam gases prejudiciais à saúde humana, como o óxido de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP).

Segundo (Mouette et al., 2019), a emissão de CO₂ equivalente ao utilizar o GN em detrimento do diesel, alcança uma redução -5,2% já considerando o aumento das emissões de metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). Esse potencial pode ser ampliado à medida que novas fontes de GNR forem disponibilizadas ao mercado, tornando parte do GN em renovável.

Nos poluentes locais, a CETESB disponibiliza em seu inventário anual o peso das emissões de poluentes GEE por categoria de veículo e ano de fabricação, como mostra a Tabela 24.

Tabela 24 – Fator de emissão de veículos pesados com motores do ciclo Diesel em g/km e g/kWh

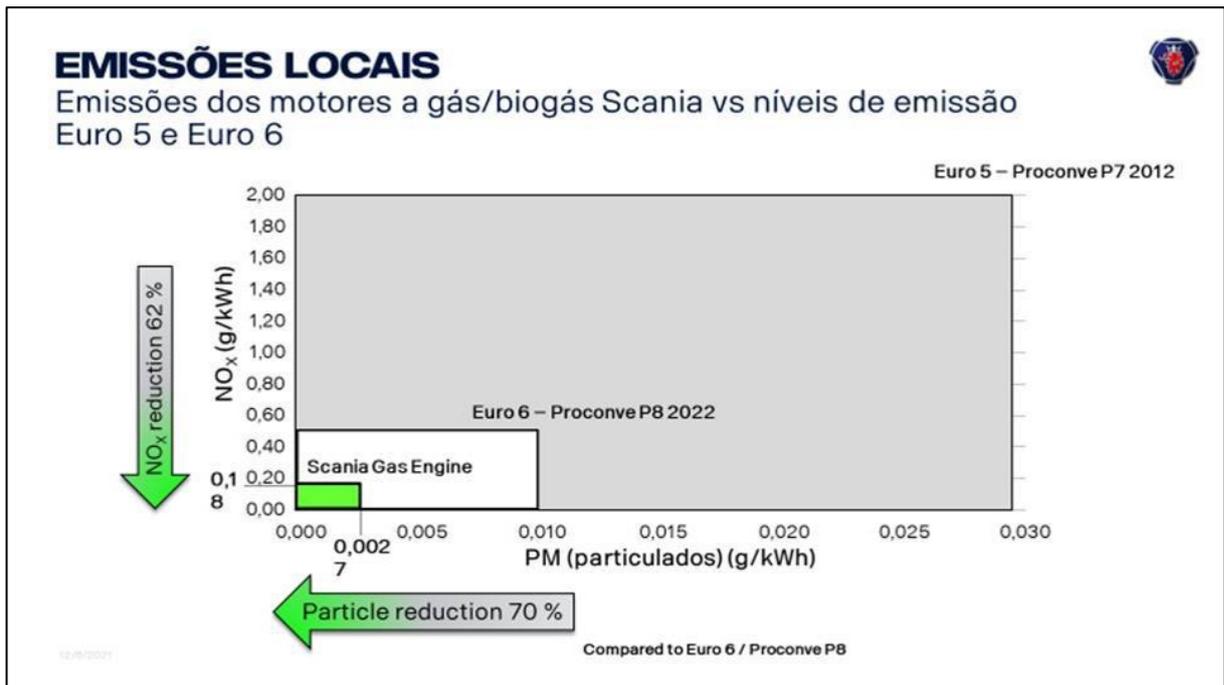
Ano	Fase Proconve	Categoria	CO (g/km)	HC (g/km)	CH ₄ (g/km)	NO _x (g/km)	MP (g/km)	N ₂ O (g/km)	Autonomia (km/l)	
2013	P7	Semileves	0,011	0,005	0,06	0,484	0,003	0,03	9,1	
		Leves	0,116	0,007	0,06	0,957	0,008	0,03	5,6	
		Caminhões	Médios	0,087	0,010	0,06	1,086	0,009	0,03	5,8
			Semipesados	0,106	0,017	0,06	1,602	0,016	0,03	3,6
			Pesados	0,281	0,029	0,06	1,542	0,016	0,03	3,6
		Ônibus	Urbanos	0,528	0,018	0,06	2,683	0,021	0,03	2,1
			Micro-ônibus	0,128	0,031	0,06	1,211	0,011	0,03	3,4
			Rodoviários	0,400	0,046	0,06	1,702	0,017	0,03	3,4

Ano	Fase Proconve	Categoria	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	MP (g/kWh)	CO ₂ (g/kWh)	NH ₃ (ppm)	Consumo (l) (gdiesel/kWh)	
2013	P7	Semileves	0,028	0,013	1,24	0,009	605,00	4,50	236,00	
		Leves	0,170	0,011	1,41	0,011	607,00	6,20	222,00	
		Caminhões	Médios	0,131	0,014	1,63	0,013	692,00	7,70	217,00
			Semipesados	0,099	0,016	1,49	0,015	690,00	5,60	217,00
			Pesados	0,254	0,026	1,39	0,015	670,00	5,00	210,00
		Ônibus	Urbanos	0,288	0,010	1,46	0,012	720,00	9,50	218,00
			Micro-ônibus	0,121	0,029	1,15	0,011	635,00	4,50	234,00
			Rodoviários	0,339	0,039	1,45	0,014	660,00	5,10	211,00

Fonte: CETESB (2022, n.p.).

Já as emissões dos veículos movidos a GN, foi realizado uma consulta ao fabricante para detalhar os níveis de emissões dos poluentes locais NO_x e MP, como mostra a Figura 23, com níveis de 0,18 g/kWh de NO_x e 0,0027 g/kWh de MP.

Figura 23 - Dados de emissões dos motores Euro 6, a gás natural



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

As informações da Tabela 24 e da Figura 23, permitem calcular a relação de emissões entre um veículo de 2013 a diesel, categoria ônibus Urbano, com as emissões dos recém lançados motores a gás natural. A redução foi de -88% de NO_x e -83% de MP, como mostra a Tabela 25. A escolha pelo ano base 2013 se justifica pelo cenário proposto de substituição, considerando a troca de um veículo em idade máxima de 10 anos por um zero quilometro.

Tabela 25 – Comparativo de emissões

Fonte	Ano	Fase Proconve	Categoria	NO _x (g/kWh)	MP (g/kWh)
Cetesb	2013	P7	Ônibus Urbanos	1,462	0,012
Scania	2022	P8	Ônibus Urbanos	0,180	0,002
Redução Scania (P8 vs P7)				-88%	-83%

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Dado as premissas acima, juntamente com a premissas de quilômetros rodados anualmente (128 milhões de km) e a quantidade de veículos substituídos por GN ou GNR no cenário proposto (1.865 unidades), temos uma redução de 88% de NO_x, o que corresponde a - 293.323 Kg. Em relação ao MP, a redução ficaria em 83%, correspondente a - 2.320 kg, como demonstrado na Tabela 26.

Tabela 26 – Apuração da redução de poluentes locais (NO_x e MP)

Dados de emissões de poluentes locais			
		g/km	
Referência	Indicador	NOX	MP
Ônibus Urbano - P7 - 2013	g/km	2,683	0,021
Indicador Scania	redução % com GN	-88%	-83%

Parâmetros de Rodagem			
Descrição	Nº	Und	
Quilometro por mês por ônibus (km/m/ônibus)	10.717.363	km	
Quantidade de Ônibus (und)	1.865,0	und	
Total de Quilometros Anuais (Total km/ano)	128.608.360	km	
Total Acumulado em 10 anos	1.286.083.600	km	

Emissão/Ano	km anual	NOX (kg/ano)	MP (kg/ano)
Diesel	128.608.360	345.085	2.740
GN	128.608.360	51.763	411
Redução		293.323	2.329

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cidade de São Paulo destaca-se como uma das metrópoles globais com uma das maiores frotas de transporte público do mundo. Entretanto, essa grandiosidade traz consigo uma série de desafios, particularmente no que diz respeito ao equilíbrio de custos, acessibilidade ao transporte e a crescente necessidade de reduzir a emissão de poluentes para enfrentar problemas de qualidade do ar. No contexto urbano complexo e dinâmico de São Paulo, encontrar soluções sustentáveis que atendam a esses desafios torna-se uma prioridade essencial para melhorar a qualidade de vida dos cidadãos e garantir a eficiência do sistema de transporte.

A demanda crescente por inovações tecnológicas adiciona uma camada de complexidade a essa equação. Embora novas tecnologias possam oferecer avanços significativos, é importante reconhecer que sua implementação muitas vezes acarreta custos adicionais. A cidade enfrenta, assim, o desafio de equilibrar a busca por tecnologias avançadas com a necessidade de manter custos operacionais acessíveis e viáveis para o sistema de transporte público. Nem sempre a solução mais moderna e inovadora é a resposta direta para os desafios enfrentados, sendo necessário considerar cuidadosamente as implicações financeiras e operacionais de qualquer mudança significativa.

Nesse contexto, o estudo avaliou quatro tópicos para o considerar o Gás Natural como uma das alternativas para o transporte público em São Paulo, sendo eles:

1. Tecnologia e infraestrutura a GN e GNR;
2. Análise do custo operacional e impacto financeiro no sistema de transporte público por ônibus;
3. Análise de sensibilidade dos cenários (base e proposto);
4. Avaliação dos números de emissões de poluentes locais e GEE.

Em termos de tecnologia, houve muito avanço tecnológico, e atualmente uma fabricante possui uma linha de veículos pesados movidos a GN e GNR, incluindo modelos de ônibus Padron e Rodoviário. Já em relação à infraestrutura de distribuição de gás natural em São Paulo, liderada pela Companhia de Gás de São Paulo (Comgás), apresenta uma cobertura extensa, proporcionando condições favoráveis para a implementação eficiente dessa tecnologia na maioria das bases operacionais (garagens).

Na análise financeira, o estudo revelou uma economia considerável no custo do combustível, tornando o GN 35% mais econômico do que o diesel. A modelagem financeira cuidadosamente elaborada considerou diversos fatores, incluindo custo de veículos,

infraestrutura, impostos e depreciação, proporcionando uma visão abrangente dos impactos econômicos, onde o GN apresentou redução ao modelo atual, movido a diesel.

A análise de sensibilidade demonstrou que a isenção do ICMS e o aumento do período de depreciação podem contribuir ainda mais para a competitividade econômica do gás natural em comparação com o diesel. Essas considerações adicionais podem fortalecer o caso para a adoção dessa tecnologia, incentivando uma transição mais ampla no setor de transporte público.

No âmbito ambiental, a redução das emissões de NOx e material particulado é notável, e muito promissora para redução de CO₂ equivalente quando aplicado o GNR, destacando o potencial para reduções ainda maiores nas emissões de gases de efeito estufa.

Recomenda-se que futuros estudos explorem a viabilidade de fontes mais sustentáveis de GNR, promovendo uma transição completa para combustíveis renováveis. Além disso, é crucial envolver partes interessadas, como autoridades de transporte, fabricantes, operadores e concessionárias de gás natural, para garantir uma transição suave e bem coordenada.

Este estudo não apenas destaca os benefícios econômicos da transição para o gás natural no transporte público, mas também ressalta seu papel fundamental na mitigação das mudanças climáticas e na melhoria da qualidade do ar nas áreas urbanas. São Paulo pode se posicionar como líder nessa transição, fornecendo um exemplo inspirador para outras cidades que enfrentam desafios semelhantes em todo o mundo. A adoção de tecnologias mais limpas no transporte público não é apenas uma decisão estratégica, mas uma contribuição significativa para um futuro mais sustentável e resiliente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15570, Transporte**. Especificações técnicas para fabricação de veículos de característica urbanas para transporte coletivo de passageiros, 2021.

ABIOGÁS. Associação Brasileira de Biogás. **Apresentação**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/apresentacoes-palestras/2023/arquivos/3-seminario-sbq/27-03-2023-tema2-abiogas.pdf>. Acesso em: 1 out. 2023.

ANP. **Resolução ANP nº 886, de 29 de setembro de 2022**. Estabelece a especificação e as regras para aprovação do controle da qualidade do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular e às instalações residenciais, industriais e comerciais, a ser comercializado no território nacional. 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-anp-n-886-de-29-de-setembro-de-2022-432620215>. Acesso em: 1 out. 2023.

BARBOSA, R.; CARMO, K. M.; BORGES, F.; BARBOSA, V. L. A. C.; FONTANA, C. F.; SAKURAI, C. A.; SENGER, H. Considerations on the quality of life at work of drivers of Bus Rapid Transit (BRT). **International Journal of Transportation Systems**, v. 1, 2016. ISSN: 2534-8876.

BARCELOS, T. M. **Não são só 20 centavos**: efeitos sobre o tráfego da Região Metropolitana de São Paulo devido a redução na tarifa de ônibus financiada pelo aumento da CIDE nos combustíveis da cidade de São Paulo. 2014. Dissertação (Mestrado em Economia) – Departamento de Economia, Universidade de São Paulo. 2014.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Gás para o desenvolvimento**. Perspectivas de oferta e demanda no mercado de gás natural do Brasil. 2021. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/20581/1/Relatorio_Gas_Developimento%20Final.pdf. Acesso em: 03 ago. 2022.

BRASIL. **Lei nº 12.587, de 03 de janeiro de 2012**. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana; revoga dispositivos dos Decretos-Leis nºs 3.326, de 3 de junho de 1941, e 5.405, de 13 de abril de 1943, da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), aprovada pelo Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943, e das Leis nºs 5.917, de 10 de setembro de 1973, e 6.261, de 14 de novembro de 1975; e dá outras providências. 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112587.htm. Acesso em: 20 out. 2022.

BUDZIANOWSKI, W. M.; BRODACKA, M. Biomethane storage: Evaluation of technologies, end uses, business models, and sustainability. **Energy Conversion and Management**, v. 1, p. 254-273, 2017.

CAMPOS, V. B. G. Uma visão da mobilidade urbana sustentável. **Revista dos Transportes Públicos**, v. 28, n. 110, p. 99-106, abr./jun. 2006.

CARVALHO, M. A. S. **Avaliação de um motor de combustão interna ciclo Otto utilizando diferentes tipos de combustíveis**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Programação de Pós-graduação em Engenharia Industrial da Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

CARVALHO, C. H.; GOMIDE, A.; PEREIRA, R. H. M.; MATION, L. F.; BALBIM, R.; LIMA NETO, V. C.; GALINDO, E. P.; KRAUSE, C.; GUEDES, E. P. **Tarifação e financiamento do transporte público urbano**. Brasília: IPEA, 2013.

Disponível em:

https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1365/1/Nota_Tecnica_Tarifacao_e_financiamento_do_transporte_publico_urbano.pdf. Acesso em: 20 out. 2022.

CARVALHO, C. O Estatuto da Cidade e a Habitat III: um balanço de quinze anos da política urbana no Brasil e a Nova Agenda Urbana. COSTA, M. A. (Org.). *In: Mobilidade urbana: avanços, desafios e perspectivas*. Brasília, DF: Ipea, 2016. 361p.

CASTRO, C.; SILVA, C. N.; LIMA, J.; SOMBRA, D. Geografia e Transportes: uma abordagem do transporte público a partir das linhas com conexões com a UFPA. *In: Urbanização & meio ambiente*. Unama: 2013.

CAU/RS. Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Rio Grande do Sul. **Mobilidade: mudança de comportamento para um novo paradigma**. 11 abr. 2017. Disponível em: <https://www.cauris.gov.br/mobilidade-mudanca-de-comportamento-para-um-novo-paradigma/> Acesso em: 03 ago. 2022

CAVALCANTI, M. C. B. Ascensão do gás natural no mercado de combustíveis automotivos no Brasil. *In: Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás*, 3., 2004, Salvador. Anais... Rio de Janeiro: ABPv, 2004.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **PCPV: Plano de controle de poluição veicular 2017-2019**. São Paulo: CETESB, 2017. ISBN 978-85-9467-043-4.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo**. 2021. Disponível em:

<https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2023/01/Relatorio-Emissoes-2021-completo.pdf>. Acesso em: 03 dez. 2023.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo**. 2022. Disponível em:

<https://cetesb.sp.gov.br/veicular/relatorios-e-publicacoes/>. Acesso: 30 ago. 2023.

COSTA, M. S. **Um índice de mobilidade urbana sustentável**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Área de Concentração Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Paulo, 2008.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2031 – Gás Natural**. 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-607/topico-591/Caderno%20de%20Gás%20Natural%20-%20PDE%202031%2030nov21.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2022.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2032**. 2023. Disponível: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-689/topico-640/Caderno%20de%20Gás%20Natural%20-%20PDE%202032%20-%20rev1.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2023.

FREITAS, E. B.; MACIEL, J. S. C.; PENZ, C. M. Utilização do gás natural no transporte coletivo de Manaus: uma análise econômica e socioambiental. *In: Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade*, 7. 2018, São Paulo. **Anais[...]** São Paulo, 2018.

GALINKIN, M. et al. **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais**. 2ª ed. rev. - Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, 65 Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, Techno Politik Editora, 2009.

GALVÃO, M. C. B.; PLUYE, P.; RICARTE, I. L. M. Métodos de pesquisa mistos e revisões de literaturas mistas: conceitos, construção e critérios de avaliação. **Revista de Ciência da Informação e Documentação**, v. 8, n. 2, p. 4-24, 2017. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/incid/article/view/121879>. Acesso em: 1 out. 2023.

GRANVILLE, A. **Estudo comparativo entre combustíveis utilizados na frota de ônibus urbanos da cidade de São Paulo**. 2014. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

GUEDES, A. L. A.; SOARES, C. A. P; RODRIGUEZ, M.; CAPELLI, C. **Smart Cities Cidades Inteligentes nas Dimensões: Planejamento, Governança, Mobilidade, Educação e Saúde**, 2020. (Livro Digital). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/343239596_Smart_Cities_Cidades_Inteligentes_nas_Dimensoes_Planejamento_Governanca_Mobilidade_Educacao_e_Saude__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em: 03 ago. 2022.

ITDP. Institute for Transportation and Development Policy. **Análise das iniciativas municipais de mobilidade urbana em Fortaleza sob a ótica da Política Nacional de Mobilidade Urbana**. 2015. Disponível em: https://itdpbrasil.org/relatorio_mobilidade_fortaleza/. Acesso em: 03 ago. 2022.

IUC. International Urban Cooperation. **Transporte Sustentável**. 2017. Disponível em: https://iuc.eu/fileadmin/user_upload/Regions/iuc_lac/user_upload/TS_3_Sector_3__Transport_e_e_mobilidade_sustent%C3%A1veis.pdf. Acesso em: 08 de agosto de 2022.

MDB. Mobilidade Urbana de Baixo Carbono. Qualificação do sistema de transporte público coletivo por ônibus no Brasil. Brasília, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/mobilidade-e-servicos-urbanos/CTRSTPCOFinal_Diagramado_compressed.pdf. Acesso em: 03 ago. 2022.

MOUETTE, D.; BRITO, T. L. F.; GALBIERI, R.; MACHADO, P. G.; MOUTINHO DOS SANTOS, E.; FAGA, M. T. W.; SIMOES, A. F. **Perspectivas do Uso de Gás Natural e Biocombustível no Transporte Coletivo Urbano: uma avaliação sob a ótica ambiental**. 1. ed. Rio de Janeiro: Synergia, 2018. v. 1. 160p.

MOUETTE, D.; MACHADO, P. G.; FRAGA, D.; PEYERL, D.; BORGES, R.; BRITO, T. L. F.; SHIMOMAEBARA, L.A.; MOUTINHO DOS SANTOS, E. A. F. **Costs and emissions assessment of a Blue Corridor in a Brazilian reality: The use of liquefied natural gas in the transport sector**. 2019, Science of The Total Environment. Vol. 668, p. 1104-1116.

NTU. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. **Cenário Nacional**. 2022. Disponível em: <https://www.ntu.org.br/novo/AreasInternas.aspx?idArea=7>. Acesso em: 08 ago. 2022.

NTU. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. **Os grandes números da mobilidade urbana**. Cenário Nacional. 2023. Disponível em: https://www.ntu.org.br/novo/ckfinder/userfiles/files/NTU-Grandes%20números%20do%20setor%20v12_2.pdf. Acesso em: 08 ago. 2022.

OLIVEIRA FILHO, A. D. de. **Substituição de diesel por gás natural em ônibus de transporte público urbano**. 144 f. 2006. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

OLIVEIRA NETO, F.M.O. **Priorização passiva do transporte coletivo por ônibus em sistemas centralizados de controle de tráfego**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Cariri, Fortaleza, 2004. Disponível: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/4872/1/2004_dis_fmoliveiraneo.pdf. Acesso em: 08 ago. 2022

ORLANDO, A. F.; NEWSOM, J. Conversão de Motores Diesel para Operação com combustível Dual Diesel Gás Natural: Avaliação de Desempenho de Ônibus Urbanos. *In: Brazilian Congress of Engineering and Thermal Sciences – ENCIT, 7th. Anais[...]*. Rio de Janeiro, Brasil, 1998.

ORLANDO, A. L. Utilização do Diesel – Gás nos Ônibus de São Paulo, Insight Trading, **Relatório Técnico**, 2000.

PARRA, F. R. Aportes para a melhoria da gestão do transporte público por ônibus de Bogotá, a partir das experiências de Belo Horizonte e Curitiba. *Papel político*, v. 11, n. 2, p. 557-594, 2006.

PLAMURB. **O Programa Ecofrotas**. Blog. 5 maio 2017. Disponível em: <https://plamurblog.wordpress.com/2017/05/05/o-programa-ecofrota/>. Acesso em: 1 out. 2023.

PNMU. Política Nacional de Mobilidade Urbana. **Ministério das Cidades**. 2013. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSEMOB/cartilha_lei_12587.pdf. Acesso em: 08 ago. 2022.

RAMOS, L. P.; KOTHE, V.; César-Oliveira. M. A. F.; MUNIZ-WYPYCH, A. S.; NAKAGAKI, S.; KRIEGER, N.; WYPYCH, F.; CORDEIRO, C. S. Biodiesel: Matérias-Primas, Tecnologias de Produção e Propriedades Combustíveis. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 1, 2017, ISSN 1984-6835.

REN 21. **Lauch of the renewables global status report 2023 collection (GSR): Renewables in Energy Supply**. Disponível: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/230607_REN21_GSR2023_Supply_Presentation.pdf. Acesso em: 15 jul. 2023.

RODRIGUES, J. M. **Mobilidade urbana no Brasil: crise e desafios para as políticas públicas**. Disponível em: https://www.observatoriodasmetroles.net.br/wp-content/uploads/2020/05/Mobilidade-urbana_Juciano-Rodrigues.pdf. Acesso em: 03 ago. 2022.

SÃO PAULO. **Lei nº 13.798, de 09 de novembro de 2009**. Institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas - PEMC. 2009. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2009/lei-13798-09.11.2009.html>. Acesso em: 03 set. 2023.

SÃO PAULO. **Decreto nº 59.113, de 23 de abril de 2013**. Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas. 2013. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2013/decreto-59113-23.04.2013.html>. Acesso em: 03 set. 2023.

SANTOS, S. S. **Qualidade da mobilidade urbana no Distrito Federal: uma análise da percepção do usuário do transporte coletivo**. 2019. Monografia (Especialização em Gestão Pública Municipal) – Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

SANTOS, E. M.; ZAMALLOA, G. C.; VILLANUEVA, L. D.; FAGÁ, M. T. W. **Gás natural: estratégias para uma energia nova no Brasil**. Fapesp. Petrobras. São Paulo: Annablume, 2002.

SANTOS, E. M.; FAGÁ, M. T. W.; BARUFI, C. B.; POULALLION, P. L. **Gás natural: a construção de uma nova civilização**. Dossiê Energia. Estudos Avançados, n. 21, p. 67-90, 2007.

SANTOS, C. M. C.; PIMENTA, C. A. M.; NOBRE, M. R. C. A estratégia PICO para a construção da pergunta de pesquisa e busca de evidências. *Rev Latino-am Enfermagem*, v. 15, n. 3, 2007.

SEABRA, L. O.; TACO, P. W. G., DOMINGUEZ, E. M. Sustentabilidade em transportes: do conceito às políticas públicas de mobilidade urbana. **Revista dos Transportes Públicos, ANTP**. Ano 35, 2º quadrimestre, 2013.

SEGANTIN, C. C.; RAMOS, H. R. Implantação de Soluções de Transporte de Baixo Carbono na cidade de São Paulo. Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 14, n. 2, p. ?, 2018.

SILVA, C. **Abordagem teórica do processo de geração de Biometano a partir de resíduos agroindustriais**. 2017. Dissertação de mestrado (Pós-graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

SILVA, G. A. **Considerações sobre as características de vias exclusivas para o ônibus urbano**: uma contribuição para estudos de implantação. 2005. Dissertação (Mestrado em Transportes) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

SILVA FILHO, N. G.; RAIÁ JÚNIOR, A. A. A mobilidade urbana e seu caráter sociogeográfico: desmistificando consensos-o caso brasileiro. *In: Safety, Health and Environment World Congress*, 13, 2013, Porto. [Anais...]. Porto: COPEC. 2013. p. 146-151.

SILVA, O. V. da; PARRA, C. de S. A importância do transporte aéreo para o turismo e a economia mundial. **Revista Científica Eletrônica de Turismo**, ano V, n. 9, 2008.

SOUZA, L. de. **Transporte ferroviário de passageiros: análise da implantação do modo nas cidades**. 2018. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018.

SPTrans. São Paulo Transporte. **Sistema de transportes**. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/mobilidade/institucional/sptrans/aceso_a_informacao/index.php?p=295718. Acesso em: 30 out. 2020.

SPTrans. São Paulo Transporte. **Passageiros Transportados**. Secretaria Municipal de Mobilidade e Transporte, São Paulo, 09 out. 2020. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/transportes/institucional/sptrans/aceso_a_informacao/index.php?p=245234. Acesso em: 30 out. 2020.

TARTAROTI, R. **O transporte público coletivo na cidade de São Paulo**: uma análise dos custos e das prioridades do ônibus na gestão pública municipal. 2012. Monografia (Especialização em Administração Pública) – Escola Superior de Gestão e Contas Públicas Conselheiro Eurípedes Sales. São Paulo, 2012.

TEIXEIRA, C.; MENDES, A.; COSTA, R.; ROCIO, M.; PRATES, H. **Gás natural**: um combustível-chave para uma economia de baixo carbono. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/20802/1/PR_Gas%20natural_215277_P_BD.pdf. Acesso em: 05 ago. 2022.

VASCONCELLOS, E. A. **Transporte urbano nos países em desenvolvimento**: reflexões e propostas, 3. ed. São Paulo, SP: Annablume, 2000.