

Avaliação dos Impactos na
Saúde Pública e sua Valoração
Devido à Implementação do
Gás Natural Veicular
na Matriz Energética de
Transporte Público - Ônibus e
Veículos Leves em Seis Regiões
Metropolitanas no Brasil



São Paulo
2018

PROGRAMA ANUAL DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO
TECNOLÓGICO E DE CONSERVAÇÃO E RACIONALIZAÇÃO
DO USO DO GÁS NATURAL NO ESTADO DE SÃO PAULO –
2016/2017

Título: Avaliação dos impactos na saúde pública e sua valoração devido à implementação do gás natural veicular na matriz energética de transporte público – ônibus e veículos leves em seis regiões metropolitanas no Brasil.

Grupo de projeto: Conservação e Racionalização do Uso do Gás Natural (C&R)

Área de interesse prioritário: Interesse Socioambiental; Mobilidade Urbana

The logo for Comgas features the word "comgas" in a lowercase, sans-serif font. The letters "com" are blue, "gas" is green, and the "a" is a lighter shade of green.The logo for Arsesp consists of a stylized graphic on the left, resembling a flame or a drop, with colors transitioning from blue at the bottom to orange and green at the top. To the right of the graphic, the word "arsesp" is written in a bold, lowercase, sans-serif font. Below "arsesp", the text "agência reguladora de saneamento e energia do estado de São Paulo" is written in a smaller, lowercase, sans-serif font.

AUTORES

Paulo Afonso de André

Evangelina da M. P. A. de Araujo Vormittag

Juliana Aparecida da Silva Delgado

Paulo Hilário Nascimento Saldiva

RESUMO

O Gás Natural Veicular (GNV) é encontrado de forma abundante na natureza e a sua utilização, como uma alternativa para a redução dos impactos ambientais e na saúde humana poderá contribuir para a conformação de um modelo em prol da sustentabilidade nas cidades brasileiras. A poluição atmosférica é reconhecida como o maior risco ambiental para a saúde humana. A Organização Mundial da Saúde destacou os ganhos em saúde pela implementação das diretrizes do Acordo de Paris e da necessidade de ações mais severas para limitar o aquecimento global. Políticas específicas de mitigação que possam reduzir as emissões de gases efeito estufa nas cidades e ao mesmo tempo resultar em co-benefícios para a saúde referem-se principalmente às medidas nas áreas de transporte e energia, dentre elas, a geração de energia mais limpa, de fontes renováveis ou de outras fontes de baixo carbono, ao invés de combustíveis fósseis. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o impacto da implementação do GNV na matriz energética do transporte público (ônibus) e veículos leves em seis regiões metropolitanas brasileiras (São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Vitória, Curitiba e Porto Alegre). Analisando o período de 2018 até 2025, a hipótese levantada é que a implementação do GNV no transporte público e nos veículos leves traga a diminuição da emissão do material particulado fino, $MP_{2,5}$, que, por sua vez, exercerá um impacto positivo em saúde pública, devido à diminuição dos casos de mortalidade e morbidade relativos à poluição atmosférica, além da diminuição da perda de produtividade e dos gastos públicos hospitalares relacionados. O trabalho foi desenvolvido em três etapas: 1 – ambiental, para a estimativa da concentração do $MP_{2,5}$ nas seis regiões metropolitanas em diferentes cenários de substituição gradativa de GNV nas suas frotas leve e de ônibus; 2 – epidemiológica, para a avaliação do impacto positivo dos cenários na saúde pública; e, 3 – econômica, para a determinação dos benefícios dos custos referentes às vidas salvas e da economia em gastos públicos das internações hospitalares atribuíveis à diminuição da emissão do $MP_{2,5}$. No caso da frota leve, os resultados encontrados em benefício para a

saúde, de acordo com os cenários propostos de substituição da motorização do ciclo Otto por GNV, neste estudo, não se mostraram relevantes. O benefício encontrado para a substituição do diesel por GNV na frota de ônibus nas RMSP e RMRJ, segundo o cenário otimista - a substituição de 50% da frota em todos os anos, até 2025 – é a redução de 10.679 mortes e 5.284 internações públicas de 2018 a 2025. Em termos de custos, significam a produtividade salva em R\$ 4,5 Bilhões e a economia em gastos públicos em saúde (SUS) em R\$ 8,8 milhões. Ou seja, as vidas salvas e internações evitadas, apresentadas pelo uso do GNV conforme o cenário proposto, representam 41% da mortalidade e internações públicas causadas pelo MP emitidos pela frota diesel. Na RMSP, a frota de ônibus representa apenas 10% da frota de fonte diesel e é responsável por 25% das emissões de MP_{2,5} ou seja, por 25% da mortalidade e internações públicas; tornando-se um excelente alvo para políticas públicas. Os resultados são relevantes mesmo para uma proposta tímida de intervenção do GNV na frota de ônibus, revelando-se uma alternativa promissora para substituição do diesel e para o desenvolvimento da mobilidade sustentável no país.

ABSTRACT

Natural Gas Vehicles (NGV) is abundantly found in nature and its use as an alternative to reduce environmental and human health impacts could contribute to the creation of a model for sustainability in Brazilian cities. Atmospheric pollution is recognized as the greatest environmental risk to human health. The World Health Organization has highlighted health gains from the implementation of the Paris Agreement guidelines and the need for stricter actions to limit global warming. Specific mitigation policies that can reduce greenhouse gas emissions in cities and at the same time result in co-benefits for health refer primarily to actions in the areas of transport and energy, including cleaner energy generation, renewable sources or other low-carbon sources, rather than fossil fuels. The objective of this study was to evaluate the impact of the implementation of NGV in the energy matrix of public transport (buses) and light vehicles in six Brazilian metropolitan regions (MR): São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Vitória, Curitiba and Porto Alegre. Analyzing the period from 2018 to 2025, the hypothesis raised is that the implementation of NGV in public transportation and light vehicles will reduce the emission of fine particulate matter, $MP_{2.5}$, which in turn will have a positive impact on public health, due to the decrease in mortality and morbidity related to air pollution, as well as the reduction of productivity losses and related hospital public expenditures. The work was developed in three stages: 1 - environmental, for the estimation of $MP_{2.5}$ concentration in the six metropolitan regions in different scenarios of gradual replacement of NGV in its light and bus fleets; 2 - epidemiological, for the evaluation of the positive impact of the scenarios on public health; and 3 - economics, in order to determine the benefits of saved life costs and the savings in public expenditures of hospital admissions attributable to the reduction of $PM_{2.5}$ emission. In the case of the light fleet, the results found in benefit to health, according to the proposed scenarios of substitution of the Otto cycle by NGV in this study, were not relevant. The benefit found for the replacement of diesel by NGV in the bus fleet in the MRSP and MRRJ, according to the optimistic scenario - the replacement of 50% of the fleet in all years, until 2025 - is the reduction of 10,679 deaths and 5,284 hospital admissions in the period of 2018 to 2025. In terms of costs, they mean

productivity saved at R\$ 4.5 Billion and the savings in public health spending at R\$ 8.8 million. That is, the saved lives and avoided hospitalizations, presented by the use of NGV according to the proposed scenario, represent 41% reduction of the mortality and public hospitalizations caused by PM issued by the diesel fleet. In the MRSP, the bus fleet represents only 10% of the diesel fleet and is responsible for 25% of PM_{2.5} emissions, i.e. 25% of the mortality and public hospitalizations; making it an excellent target for public policy. The results are relevant even for a timid proposal for NGV intervention in the bus fleet, proving to be a promising alternative for diesel replacement and the development of sustainable mobility in the country.

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Gráficos

Gráfico 1: Oferta interna de energia no Brasil por fonte primária em milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep) de 1990 a 2015.....	16
Gráfico 2: Participação de Renováveis na matriz energética no Brasil e no mundo	16
Gráfico 3: Consumo final de energia por fonte no Brasil, em 2016	17
Gráfico 4: Consumo de energia no Brasil em 2016 por setor econômico	18
Gráficos 5: Consumo de energia: Matrizes energéticas da Indústria e Transportes.....	18
Gráfico 6: Evolução do consumo de energia no setor Transportes no Brasil 1990 - 2015	19
Gráfico 7: Evolução da intensidade de uso da frota de veículos no transporte de passageiros de 1990 a 2015.....	20
Gráfico 8: Evolução do número de passageiros transportados por ônibus nas maiores capitais brasileiras - 1995 a 2015.....	21
Gráfico 9: Emissões totais em MtCO ₂ no Brasil em 2016 por setor	22
Gráfico 10: Emissões de GEE do setor de energia por segmento de atividade.....	22
Gráfico 11: Evolução das emissões de GEE no transporte rodoviário de passageiros e por tipo de veículo	23
Gráfico 12: Emissões de CH ₄ por categoria de veículos e por tipo de combustível.....	25
Gráfico 13: Emissões de N ₂ O por categoria de veículos e por tipo de combustível.....	26
Gráfico 14: Emissões de CO ₂ por categoria de veículos ou por tipo de combustível	27
Gráfico 15: Emissões de CO ₂ equivalente por categoria de veículos ou por tipo de combustível	30
Gráfico 16: Emissões de CO por categoria de veículos e por tipo de combustível.....	31
Gráfico 17: Emissões de NO _x por categoria de veículos e por tipo de combustível.....	32
Gráfico 18: Emissões de MP por categoria de veículos e por tipo de combustível.....	33
Gráfico 19: Percentagem do total de mortes devido à poluição do ar por regiões do mundo....	35
Gráfico 20: Comparação de emissões de combustão entre combustíveis fósseis	42
Gráfico 21: Média diária anual de MP ₁₀ (µg/m ³) por Região Metropolitana	57
Gráfico 22: Projeção do Volume de Óbitos dos Capítulos I ao XVI - Regiões Metropolitanas selecionadas – 2015 a 2025.....	73
Gráfico 23: Projeção do número de internações hospitalares públicas das morbidades Cardiovasculares, Respiratórias e Neoplasias, para grupos etários selecionados e Regiões Metropolitanas selecionadas - 2015-2025	73
Gráfico 24: Estimativas das concentrações médias anuais de MP _{2,5} para cada RM.....	76
Gráfico 25: População por grupos de idade (%), RMSP e RMRJ	131

Figuras

Figura 1: Principais riscos modificáveis por número de mortes em 1990 e 2013	34
Figura 2: Os níveis de concentração de MP _{2,5} encontrados nos países da União Europeia.....	37
Figura 3: Impactos da poluição do ar na saúde	38
Figura 4: Reservas de combustíveis convencionais provadas existentes em 1995, 2005 e 2015	40
Figura 5: Funcionalidades e potenciais do gás natural.....	41
Figura 6: Médias de emissões formadoras de poluentes por MWH para Usinas de Carvão e Gás Natural dos EUA.....	43
Figura 7: Desenho do estudo	51
Figura 8: Perspectiva de produção nacional de gás natural até 2027	140
Figura 9: Emissões de MP dos ônibus com ciclo NY.....	143
Figura 10: Emissões de MP de ônibus com ciclo CBD.....	143
Figura 11: Cenários de evolução das emissões de CO ₂	146
Figura 12: Comparação de cenários alternativos de redução de emissões de CO ₂ comparados a BAU	147
Figura 13: Cenários de evolução das emissões de MP.....	148
Figura 14: Comparação de cenários alternativos de redução de emissões de MP comparados a BAU	148
Figura 15: Previsão da demanda mundial de energia primária até 2040.	149

Tabelas

Tabela 1: Média diária anual de MP ₁₀ (µg/m ³) por Região Metropolitana e fontes	56
Tabela 2: Percentual da frota de transporte público – ônibus - conservador, ao longo do período de estudo, projetado sobre a frota inicial referida a 2016, para cada RM, com base no cenário estabelecido pela COMGAS	58
Tabela 3: Percentual da frota de transporte público – ônibus - otimista, ao longo do período de estudo, projetado sobre a frota inicial referida a 2016, para cada RM, com base no cenário estabelecido pela COMGAS para as RMSP e RMRJ.....	59
Tabela 4: Percentual da frota leve, ao longo do período de estudo, para cada RM, com base no cenário de 2016 conforme COMGAS.....	60
Tabela 5: Estimativa da frota de veículos da RMSP em 2016 (Tabela 14 – CETESB,2018).....	61
Tabela 6: Contribuição relativa das fontes de poluição do ar na RMSP (Tabela 16 - CETESB, 2018)	62
Tabela 7: Fatores de emissão para motorizações Diesel Euro V, Diesel Euro VI e GNV Euro VI	64
Tabela 8: Fatores de redução do Diesel para GNV adotados nos anos do estudo	65

Tabela 9: Desfechos mórbidos a serem considerados na avaliação do impacto da poluição atmosférica na saúde, por faixas etárias de interesse:.....	66
Tabela 10: Coeficientes de regressão adotados para o cálculo de risco de morbidade para exposição a material particulado inalável fino, MP _{2,5} , a partir dos estudos selecionados e considerando a relação entre MP _{2,5} e MP ₁₀ de 60%.....	67
Tabela 11: Estimativas das concentrações médias anuais de MP _{2,5} para cada RM.....	76
Tabela 12: Concentração excedente que a ser usada para cálculo do impacto.....	77
Tabela 13: Reduções da concentração do MP _{2,5} , a partir da variação da substituição do diesel – frota de ônibus, e da substituição da gasolina ou etanol – frota leve, pela matriz energética GNV, ano a ano, de cada RM, para o cenário conservador.....	79
Tabela 14: Eventos em saúde – Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP _{2,5} proveniente de todas as fontes e da fonte diesel – ônibus de 2018 a 2025; a soma dos eventos evitados e os eventos evitados a cada ano - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição conservadora da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMSP.	83
Tabela 15: Custos dos Eventos em Saúde - Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP de todas as fontes e da fonte diesel – ônibus de 2018 a 2025; o custo da soma dos eventos evitados e o custo dos eventos evitados a cada ano - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição conservadora da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMSP.	84
Tabela 16: Eventos em saúde – Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP _{2,5} proveniente de todas as fontes e da fonte diesel – ônibus de 2018 a 2025; a soma dos eventos evitados e a média ao ano- Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição otimista da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMSP.	87
Tabela 17: Custos dos Eventos em Saúde - Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP de todas as fontes e da fonte diesel – ônibus de 2018 a 2025; o custo da soma dos eventos evitados e o custo médio anual dos eventos evitados - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição otimista da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMSP.	88
Tabela 18: Eventos em saúde – Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP proveniente de todas as fontes e da fonte diesel – ônibus de 2018 a 2025; a soma dos eventos evitados e os eventos evitados a cada ano - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição conservadora da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMRJ.....	91
Tabela 19: Custos dos Eventos em Saúde - Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP de todas as fontes e da fonte diesel – ônibus de 2018 a 2025; o custo da soma dos eventos evitados e o custo dos eventos evitados a cada ano - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição conservadora da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMRJ.....	92

Tabela 20: Eventos em saúde – Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP _{2,5} proveniente de todas as fontes e da fonte diesel – ônibus de 2018 a 2025; a soma dos eventos evitados e a média ao ano- Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição otimista da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMRJ.....	95
Tabela 21: Custos dos Eventos em Saúde - Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP de todas as fontes e da fonte diesel – ônibus de 2018 a 2025; o custo da soma dos eventos evitados e o custo médio anual dos eventos evitados - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição otimista da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMRJ.....	96
Tabela 22: Eventos em saúde – Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP proveniente de todas as fontes e da fonte diesel – ônibus de 2018 a 2025; a soma dos eventos evitados e os eventos evitados a cada ano - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMBH.....	99
Tabela 23: Custos dos Eventos em Saúde - Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP de todas as fontes e da fonte diesel – ônibus de 2018 a 2025; o custo da soma dos eventos evitados e o custo dos eventos evitados a cada ano - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMBH.....	100
Tabela 24: Eventos em saúde – Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP _{2,5} proveniente de todas as fontes e da Fonte Diesel – ônibus de 2018 a 2025; a soma dos eventos evitados e os eventos evitados a cada ano - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMVI.....	103
Tabela 25: Custos dos Eventos em Saúde - Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP de todas as fontes e da Fonte Diesel – ônibus de 2018 a 2025; o custo da soma dos eventos evitados e o custo dos eventos evitados a cada ano - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMVI.....	104
Tabela 26: Eventos em saúde – Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP proveniente de todas as fontes e da fonte diesel – ônibus de 2018 a 2025; a soma dos eventos evitados e os eventos evitados a cada ano - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMC.	107
Tabela 27: Custos dos Eventos em Saúde - Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP de todas as fontes e da Fonte Diesel – ônibus de 2018 a 2025; o custo da soma dos eventos evitados e o custo dos eventos evitados a cada ano - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMC.....	108
Tabela 28: Eventos em saúde – Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP proveniente de todas as fontes e da fonte diesel – ônibus de 2018 a 2025; a soma dos eventos evitados e os	

eventos evitados a cada ano - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção de substituição da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMPA.	111
Tabela 29: Custos dos Eventos em Saúde - Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP de todas as fontes e da Fonte Diesel – ônibus de 2018 a 2025; o custo da soma dos eventos evitados e o custo dos eventos evitados a cada ano - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMPA.	112
Tabela 30: Eventos em Saúde - Mortalidade e Morbidade e seus custos de cada RM separadamente e o total pela sua soma devido à poluição por MP de todas as fontes e da Fonte Diesel, bem como os eventos evitados e seus custos de cada RM separadamente e a sua soma, devido ao benefício da intervenção conservadora de substituição do diesel na frota de transporte público – ônibus pelo GNV.	115
Tabela 31: Soma dos eventos da RMSP e RMRJ em Saúde - Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP de todas as fontes e da Fonte Diesel, bem como os eventos evitados devido ao benefício da intervenção otimista de substituição do diesel na frota de transporte público – ônibus pelo GNV.	118
Tabela 32: Soma dos custos da RMSP e RMRJ devido à poluição por MP de todas as fontes e da Fonte Diesel, bem como os custos evitados devido ao benefício da intervenção otimista de substituição do diesel na frota de transporte público – ônibus pelo GNV.	119
Tabela 33: Eventos em saúde – Mortalidade e Morbidade devido à poluição das seis RMs e juntas somadas, de 2018 a 2025: por MP _{2,5} proveniente de todas as fontes; por MP proveniente da frota leve (comerciais leves e automóveis não diesel); a soma dos eventos evitados; e os eventos evitados por RM	122
Tabela 34: RMSP: Mortalidade e Morbidade nas situações: número de eventos atribuível ao MP _{2,5} ; número de eventos atribuível à frota leve (comerciais leves e automóveis não diesel) e o número de desfechos evitável ao cenário proposto de substituição da motorização de ciclo otto por GNV.	123
Tabela 35: RMRJ: Mortalidade e Morbidade nas situações: número de eventos atribuível ao MP _{2,5} ; número de eventos atribuível à frota leve (comerciais leves e automóveis não diesel) e o número de desfechos evitável ao cenário proposto de substituição da motorização de ciclo otto por GNV	124
Tabela 36: RMBH: Mortalidade e Morbidade nas situações número de eventos atribuível ao MP _{2,5} ; número de eventos atribuível à frota leve (comerciais leves e automóveis não diesel) e nenhum desfecho evitável ao cenário proposto de substituição da motorização de ciclo otto por GNV	125
Tabela 37: RMVI: Mortalidade e Morbidade nas situações: número de eventos atribuível ao MP _{2,5} ; número de eventos atribuível à frota leve (comerciais leves e automóveis não diesel) e nenhum desfecho evitável ao cenário proposto de substituição da motorização de ciclo otto por GNV	126

Tabela 38: RMC: Mortalidade e Morbidade nas situações: número de eventos atribuível ao $MP_{2,5}$; número de eventos atribuível à frota leve (comerciais leves e automóveis não diesel) e nenhum desfecho evitável ao cenário proposto de substituição da motorização de ciclo otto por GNV	127
Tabela 39: RMPA: Mortalidade e Morbidade nas situações: número de eventos atribuível ao $MP_{2,5}$; número de eventos atribuível à frota leve (comerciais leves e automóveis não diesel) e nenhum desfecho evitável ao cenário proposto de substituição da motorização de ciclo otto por GNV	128
Tabela 40: Taxa de Cobertura de planos de Saúde Assistência Médica - ANS por RM e total no país, em junho de 2018	130
Tabela 42: Limites de emissão de poluentes para veículos pesados.....	138
Tabela 41: Comparação de emissões de poluentes (g/mi)	142

SUMÁRIO

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES	8
SUMÁRIO.....	14
INTRODUÇÃO	15
OBJETIVO.....	46
METODOLOGIA.....	47
RESULTADOS	76
AMBIENTAL.....	76
EPIDEMIOLÓGICO E ECONÔMICO.....	80
DISCUSSÃO	129
CONSIDERAÇÕES FINAIS	151
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	153

INTRODUÇÃO

Energia e meio ambiente

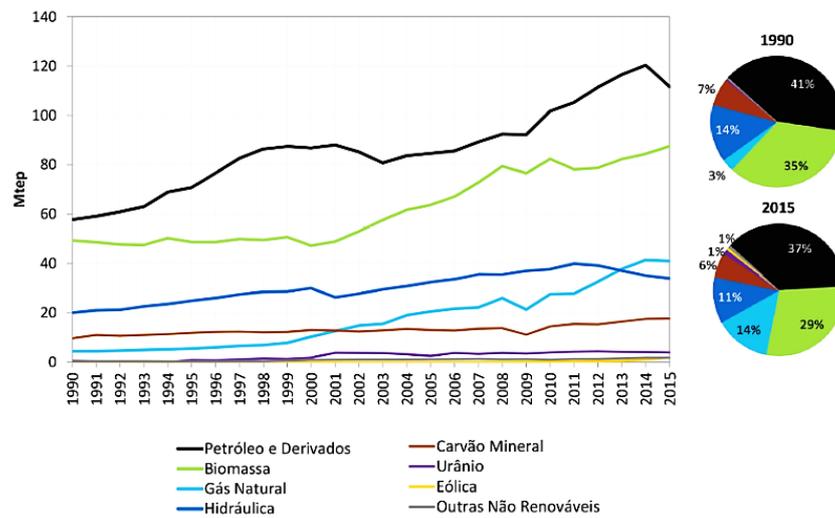
Desde as sociedades primitivas às contemporâneas, a geração e utilização de energia desempenharam um papel essencial para a sobrevivência e bem-estar do ser humano, além de sua participação fundamental para o crescimento das atividades econômicas – fatores que, combinados, promovem o desenvolvimento dos países do mundo.

Com o progresso tecnológico, a diversidade de fontes energéticas aumentou; suas formas de extração e consumo avançaram, tornando os processos cada vez mais eficientes. Atualmente essa gama é dividida em *fontes renováveis*, quando sua extração não compromete o estoque, isto é, está dentro do tempo de resiliência do recurso natural; e *não renováveis*, o completo oposto, onde a extração pode gerar o esgotamento do estoque.

São exemplos de fontes renováveis: hidráulica, eólica, solar, biomassa da cana, etanol, biodiesel, lenha e carvão vegetal. Já as fontes não renováveis são: petróleo e derivados (diesel, gasolina, gás liquefeito de petróleo - GLP), gás natural, carvão mineral e urânio.

O Balanço Energético Nacional completo (BEN 2016 – ano-base 2015, MME/EPE, 2015) demonstrou que a Oferta Interna de Energia (OIE) no Brasil – energia necessária para mover a economia do país – tem aumentado desde o final do século XX (houve o crescimento relativo na matriz energética, de 51% em 1990 para 58% em 2015). Há uma predominância das fontes de energia de origem fóssil (não renováveis), sendo o petróleo a fonte primária de maior importância (37%), embora em diminuição nos últimos dois anos constatados, 2014 e 2015 (IEMA, 2017). Observa-se o importante crescimento da participação da fonte de gás natural, de da 3% em 1990 para 14% em 2015.

Gráfico 1: Oferta interna de energia no Brasil por fonte primária em milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep) de 1990 a 2015

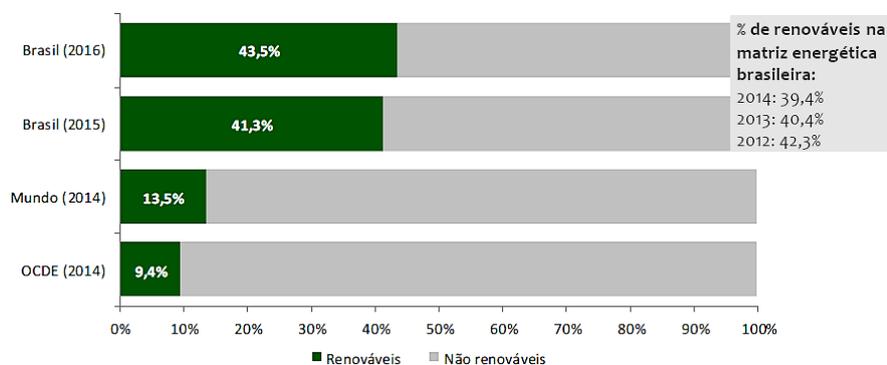


Elaborado a partir de BEN 2016, ano-Base 2015 (MME/EPE, 2016)

Fonte: IEMA, 2017

Mesmo assim, o Relatório Síntese do BEN 2017 – ano-base 2016, aponta, segundo o Ministério de Minas e Energia (MME/EPE, 2016), a participação de renováveis na Matriz Energética Brasileira entre as mais elevadas do mundo – Gráfico 2.

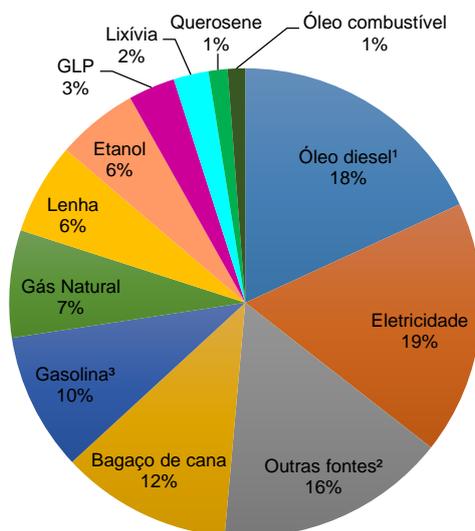
Gráfico 2: Participação de Renováveis na matriz energética no Brasil e no mundo



Fonte: Relatório-síntese BEN 2017, Ano-base 2016 (MME/EPE).

O consumo final de energia por fonte em 2016 ocorreu de acordo com o **Erro! Fonte de referência não encontrada.** abaixo. Observa-se que o consumo de eletricidade e óleo diesel são os maiores e se equiparam (18%), seguido pelo carvão, bagaço de cana (12%), gasolina (10%) e gás natural (7%).

Gráfico 3: Consumo final de energia por fonte no Brasil, em 2016



¹ Inclui biodiesel

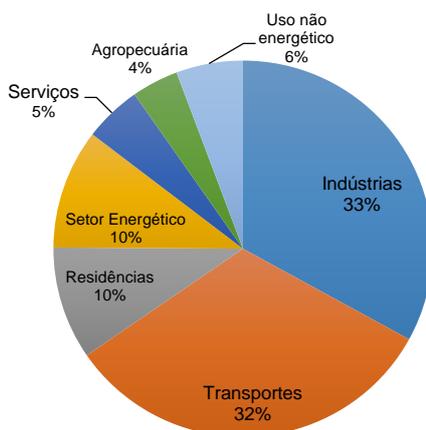
² Inclui gás de refinaria, coque de carvão mineral e carvão vegetal, dentre outros

³ Inclui apenas gasolina A (automotiva)

Fonte: adaptado de Relatório-síntese BEN 2017, Ano-base 2016 (MME/EPE).

A produção industrial e o transporte respondem por aproximadamente 65% do consumo da energia total do Brasil em 2016. Os outros 35% são subdivididos de acordo com o apresentado no gráfico abaixo (MME/EPE, 2017).

Gráfico 4: Consumo de energia no Brasil em 2016 por setor econômico

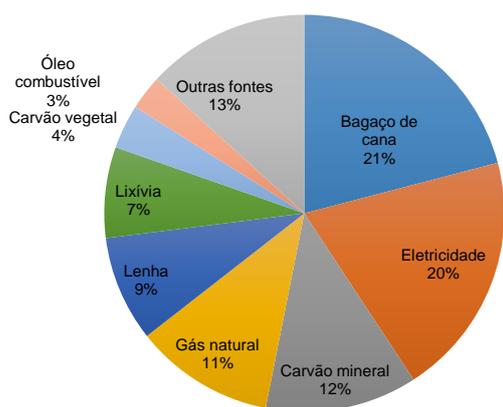


Fonte: adaptado de Relatório-síntese BEN 2017, Ano-base 2016 (MME/EPE).

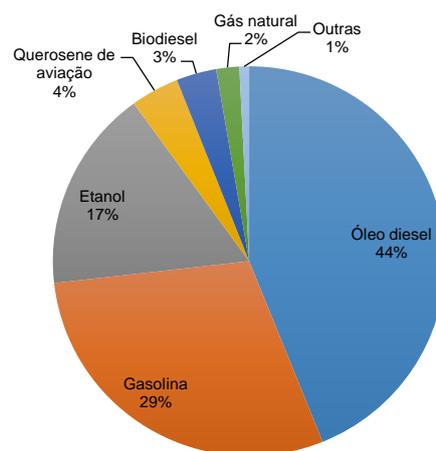
A composição da matriz energética específica para cada um desses segmentos mais consumidores de energia no Brasil está demonstrada nos gráficos a seguir. O gás natural representa 11% da energia consumida pela indústria e 2% da energia consumida nos transportes.

Gráficos 5: Consumo de energia: Matrizes energéticas da Indústria e Transportes

Consumo de energia na Indústria - Matriz 2016



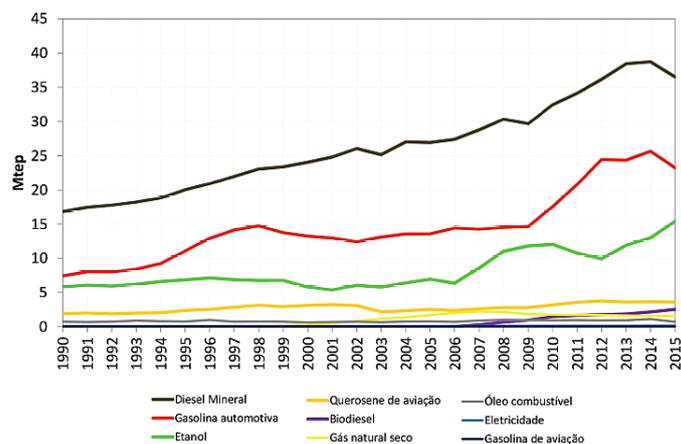
Consumo de energia nos transportes - Matriz 2016



Fonte: adaptado de Relatório-síntese BEN 2017, Ano-base 2016 (MME/EPE).

Observa-se o crescimento do consumo da matriz energética de transportes nos últimos 25 anos, inclusive o gás natural - **Gráfico 6**.

**Gráfico 6: Evolução do consumo de energia no setor Transportes no Brasil
1990 - 2015**



Elaborado a partir de BEN 2016, Ano-Base 2015 (MME/EPE, 2016)

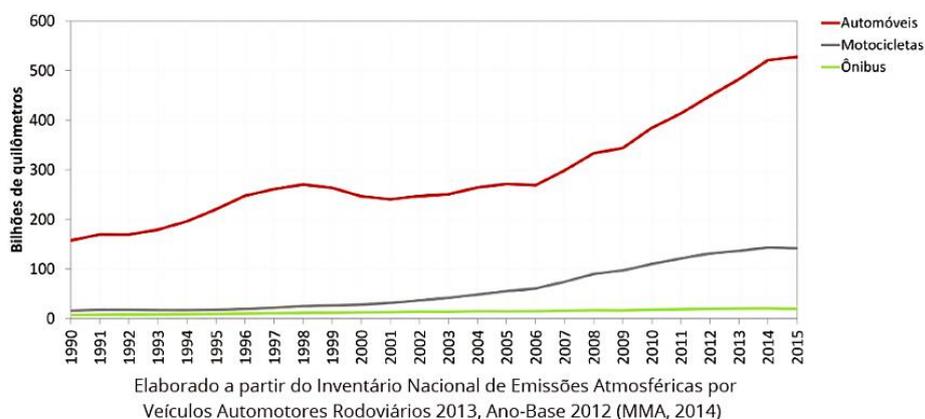
Fonte: IEMA, 2017

Energia e Transporte

O setor de transportes, dividido principalmente entre quatro modos, rodoviário (93%), aéreo (4%), ferroviário (2%) e hidroviário (1%), se caracteriza pela ampla dependência histórica do petróleo como fonte primária (IEMA, 2017). Além dos quatro modais, o setor é dividido ainda em transporte de carga e transporte de passageiros – o presente estudo irá focar nesse segundo. No Brasil, em ambos, o modo rodoviário é predominante.

A partir de uma análise da evolução histórica da intensidade de uso da frota de veículos no transporte de passageiros, medida pela distância anual percorrida nas diferentes categorias, observa-se claramente o crescimento e predominância dos automóveis no deslocamento das pessoas.

Gráfico 7: Evolução da intensidade de uso da frota de veículos no transporte de passageiros de 1990 a 2015

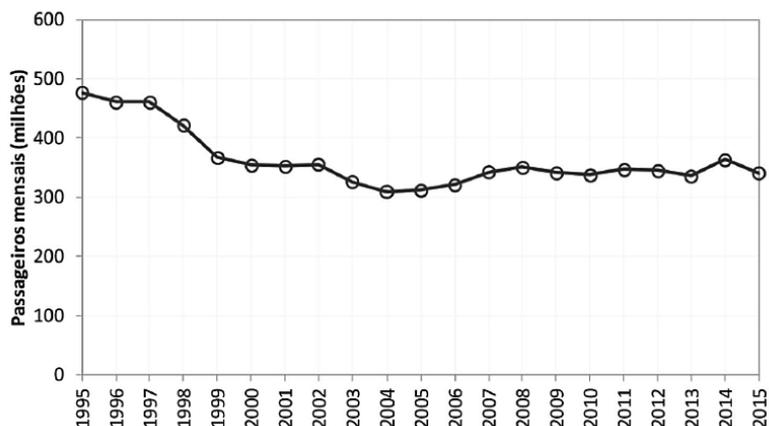


Fonte: IEMA, 2017

O aumento do uso de automóveis no deslocamento reflete o enriquecimento da população, associado à facilitação do processo de compra de veículos por meio de isenções fiscais, incentivos, políticas públicas e ajustes nos impostos – e a soma desses aspectos ilustra o modelo de desenvolvimento urbano hegemônico das cidades brasileiras (IEMA, 2017).

O transporte público, por sua vez, tem seguido um ritmo contrário com uma diminuição gradativa. O **Gráfico 8** apresenta esses dados, de 1995 a 2015, somados para grandes cidades brasileiras: Belo Horizonte, Curitiba, Fortaleza, Goiânia, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, Salvador e São Paulo. Nesse período, houve a redução do número de passageiros transportados mensalmente em 29% (IEMA, 2017).

Gráfico 8: Evolução do número de passageiros transportados por ônibus nas maiores capitais brasileiras - 1995 a 2015



A série histórica se refere ao número de passageiros transportados no mês de abril no sistema de transporte público de ônibus em Belo Horizonte, Curitiba, Fortaleza, Goiânia, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, Salvador e São Paulo. Elaborado a partir do Anuário NTU, 2016.

Fonte: IEMA, 2017

Com efeito, cabe salientar que todo esse consumo de energia em transporte não está isento de externalidades ao meio ambiente. Dentre as externalidades negativas, as principais são as emissões de gases atmosféricos – como os Gases de Efeito Estufa (GEEs), que prejudicam o bom funcionamento do ecossistema; e os poluentes tóxicos, que podem impactar a saúde humana.

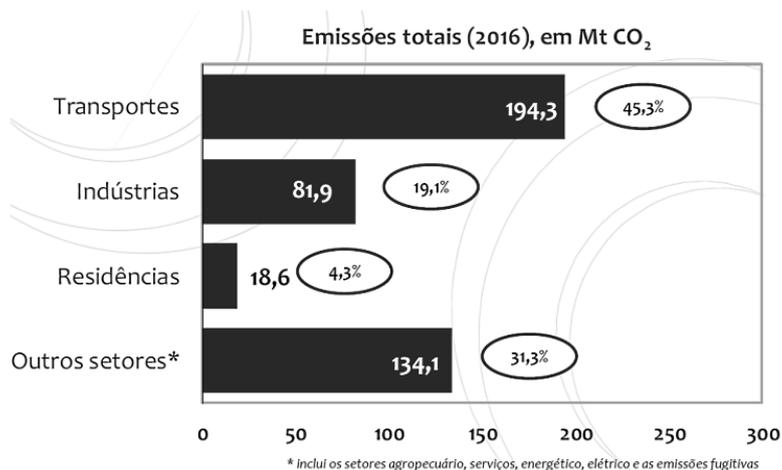
Segundo o relatório do Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG)¹, o setor de transportes lidera a taxa média de crescimento

¹ Gases de Efeito Estufa (GEEs) são constituintes gasosos, naturais ou antrópicos, que, na atmosfera, absorvem e reemitem a radiação infravermelha, possibilitando que a Terra se mantenha aquecida. O efeito estufa é um fenômeno natural, contudo, o aumento exponencial da emissão desses gases resultaria na conversão de calor para uma fração ainda maior de energia infravermelha gerando um conseqüente aumento da temperatura média da superfície terrestre. A esse acontecimento deu-se o nome de *aquecimento global* – grande desafio da contemporaneidade, pois estudos têm demonstrado conseqüências sérias para a vida na Terra se tais emissões não forem controladas.

O Protocolo de Kyoto determina sete gases cujas emissões devem ser reduzidas: CO₂ - Dióxido de Carbono, N₂O - Óxido nitroso, CH₄ - Metano, CFCs – Clorofluorcarbonetos, HFCs -

do consumo de energia, que foi de 4,8% entre 2005 e 2015. Além disso, em 2016, as emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiram 428,95 MtCO₂-eq., e desse montante, o setor de transportes aparece como o agente de maior impacto, com uma emissão de 194,3 MtCO₂-eq, 45,3% do total (MME/EPE, 2017).

Gráfico 9: Emissões totais em MtCO₂ no Brasil em 2016 por setor



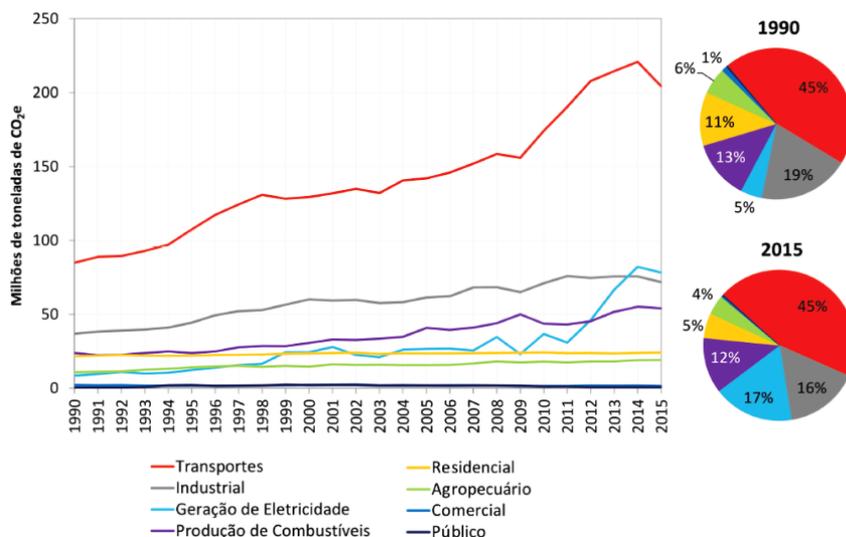
Fonte: Relatório-síntese BEN 2017, Ano-base 2016 (MME/EPE).

Uma análise histórica apresentada no relatório do SEEG com dados do BEN 2016 – ano-base 2015, mostra o constante papel majoritário dos transportes nas emissões de GEE desde 1990 (IEMA, 2017).

Gráfico 10: Emissões de GEE do setor de energia por segmento de atividade

Hidrofluorcarbonetos, PFCs - Perfluorcarbonetos e SF₆ - Hexafluoreto de enxofre. Sendo o primeiro (CO₂) o principal e de maiores impacto e importância.

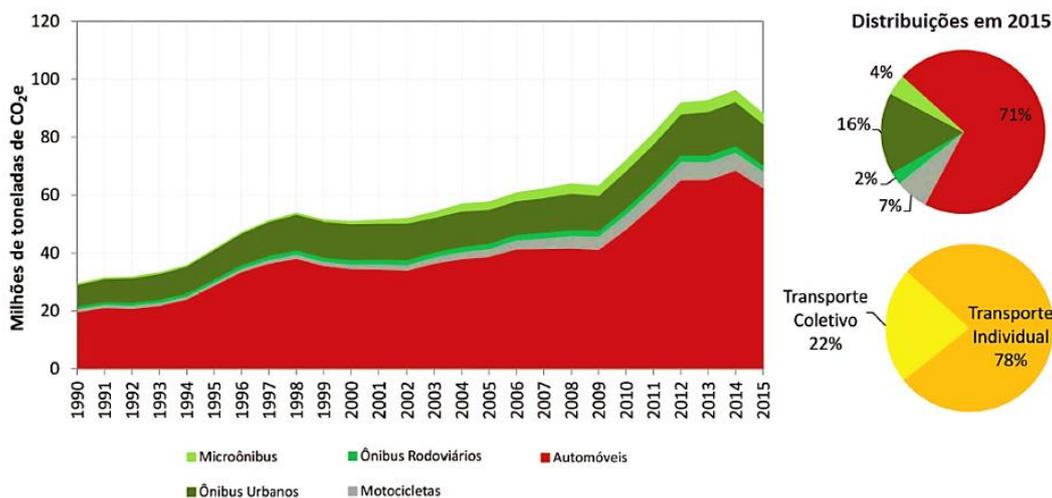
“A unidade de valoração dos GEEs é o CO₂ equivalente (CO₂eq), o qual representa uma equivalência matemática que permite expressar as emissões de qualquer outro GEE em termos de toneladas de dióxido de carbono” (ANDRADE, SANTOS, 2009).



Elaborado a partir de BEN 2016, ano-Base 2015 (MME/EPE, 2016). Fonte: IEMA, 2017

Assim, nesse cenário, é refletido, em certa medida, o crescimento sistemático da emissão de GEE do transporte rodoviário de passageiros - e o individual como principal fonte de emissão de GEE no transporte de passageiros. Em 2015, foi responsável por 78% das emissões.

Gráfico 11: Evolução das emissões de GEE no transporte rodoviário de passageiros e por tipo de veículo



Elaborado a partir do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013. Ano-Base 2012 (MMA, 2014)

Fonte: IEMA, 2017

Historicamente estabelecido e reforçado ao longo dos anos, esse modelo que estrutura o planejamento das cidades em prol do transporte individual

automotivo em detrimento do transporte público coletivo tem onerado a qualidade de vida dos cidadãos, com os elevados tempos de deslocamento, aumento da violência no trânsito, diminuição da qualidade estrutural do transporte público em proporcional aumento do seu custo de acesso, além de contribuir para o aumento de emissões de GEEs e poluentes atmosféricos prejudiciais à saúde humana (IEMA, 2017; MMA, 2013).

Dentre as fontes de poluição atmosférica do mundo, o setor de transportes é responsável por um significativo montante de emissões de gases poluentes. Na esfera local, causam danos alarmantes à saúde pública degradando a qualidade de vida nos centros urbanos. Na esfera global, por meio do aumento de GEEs na atmosfera, contribuem para o agravamento das mudanças climáticas (ANDRADE, SANTOS, 2009).

O mais recente Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários foi lançado em 2013, comportando uma série histórica de emissões inventariadas entre 1980 a 2012 (ano-base). Com dados organizados de maneira a permitir múltiplas análises, o relatório traz informações estratégicas para uma gestão ambiental voltada à orientação de medidas de intervenção, implantação ou reorientação de programas para a melhoria da qualidade do ar - uma vez que possibilita identificar poluentes e suas fontes e efeitos, bem como determinar tendências futuras (MMA, 2013).

Os gráficos a seguir apresentam as emissões de gases efeito estufa, metano - CH₄, óxido nitroso - N₂O e gás carbônico - CO₂; e dos poluentes tóxicos, monóxido de carbono - CO, dióxido de nitrogênio - NO_x, e material particulado - MP; por categoria de veículo e por combustível.

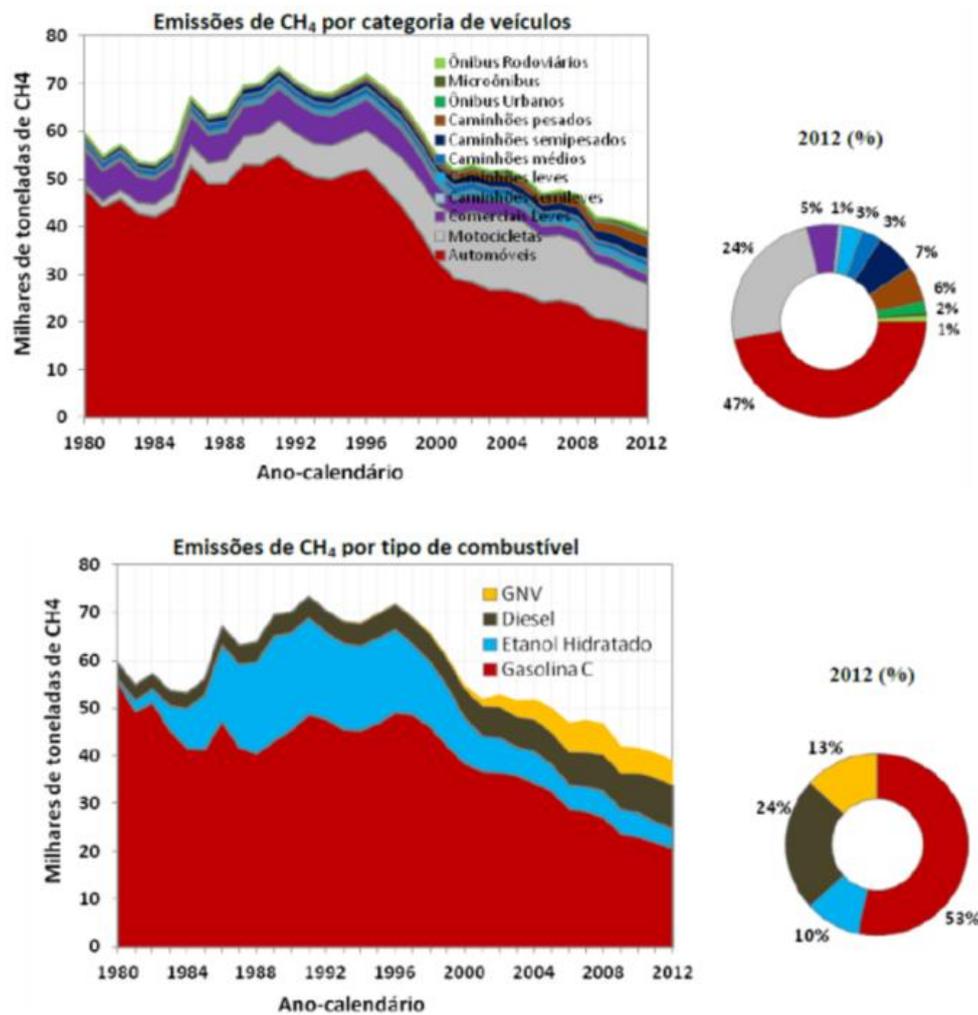
Gases de Efeito Estufa

Emissões de Metano (CH₄)

De acordo com o

Gráfico 12, os automóveis e as motocicletas são os principais responsáveis por 71% das emissões de metano, sendo as outras categorias de veículos responsáveis por menos de 7%, o que denota uma participação bem menor dos veículos pesados nesse tipo de emissão. Desta forma a gasolina é o combustível mais relacionado com a emissão de CH₄. Observa-se uma redução importante das emissões por todos os combustíveis em torno do ano 2000 - com a predominância da gasolina.

Gráfico 12: Emissões de CH₄ por categoria de veículos e por tipo de combustível

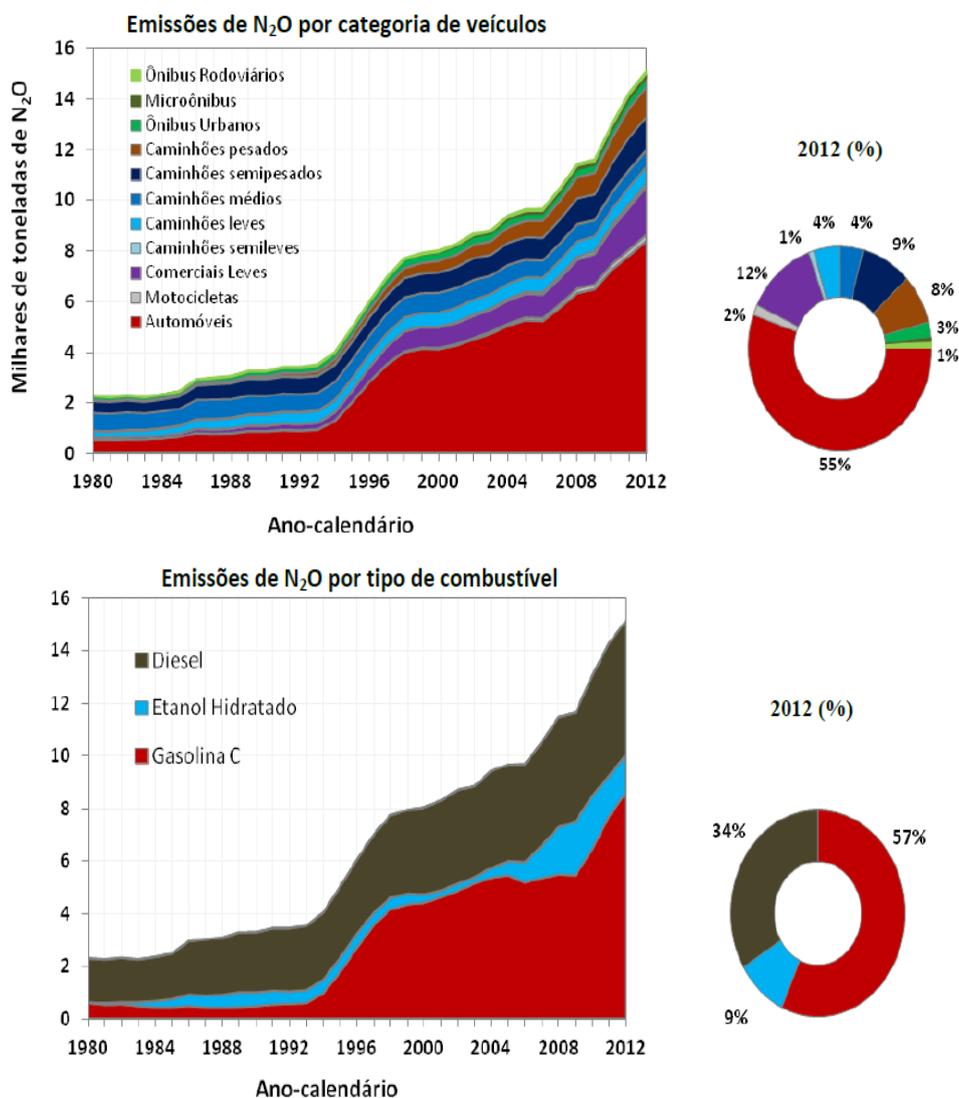


Fonte: MMA, 2013

Emissões de Óxido Nitroso (N₂O)

Com relação às emissões do óxido nitroso (N₂O), é importante ressaltar um aumento exponencial de emissões desde 1980, mas principalmente a partir do início da década de 90 – Gráfico 13. Há uma contribuição significativa dos automóveis (55%), e os restantes 45% são bem distribuídos entre todas as outras categorias de veículos. Ao observar a contribuição por combustível, vê-se a gasolina como principal emissor (57%) seguida pelo diesel (34%) e etanol (9%).

Gráfico 13: Emissões de N₂O por categoria de veículos e por tipo de combustível



Fonte: MMA, 2013

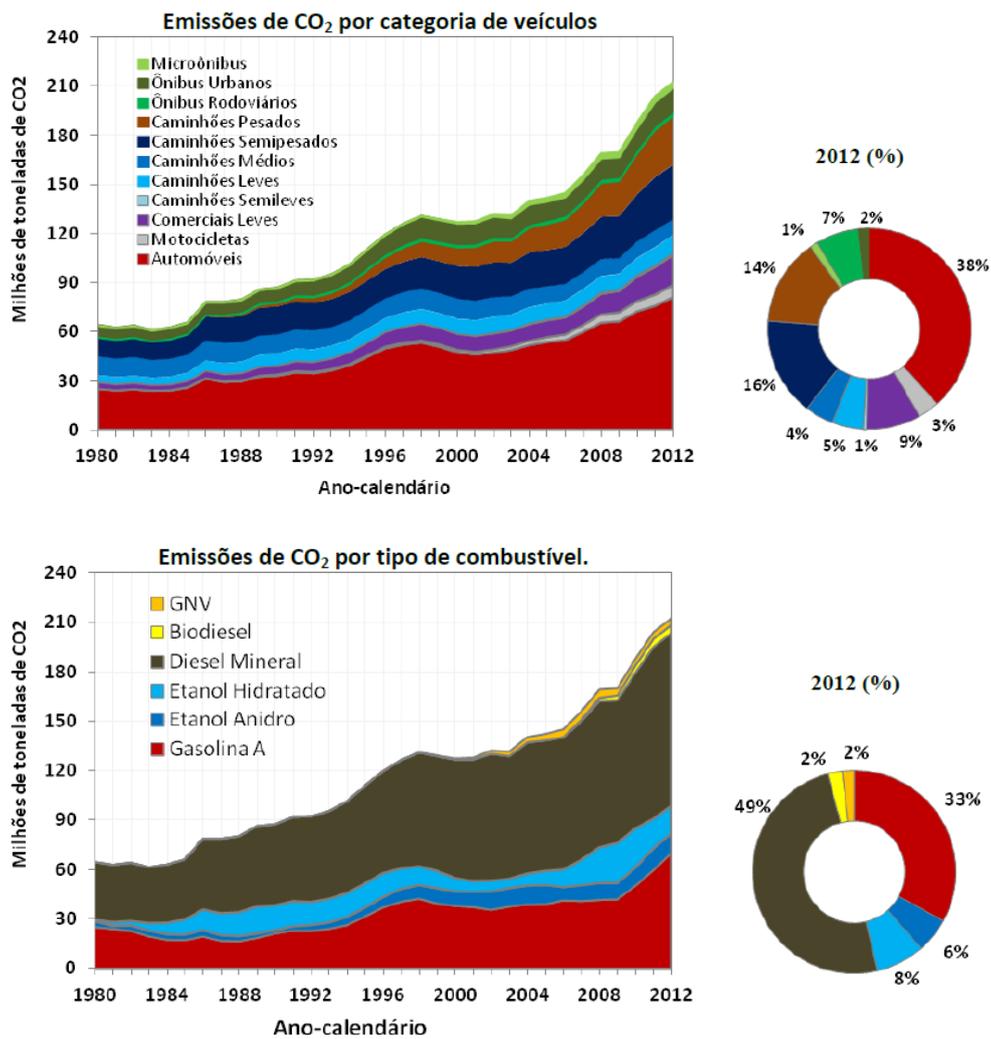
Emissões de Dióxido de Carbono (CO₂)

Com relação ao CO₂, o diesel aparece como o maior responsável por sua emissão (49%), seguido pela gasolina (33%). Com relação aos combustíveis, outros aparecem como emissores do dióxido de carbono, como o etanol hidratado e o etanol anidro com a representatividade de 14% das emissões. O

biodiesel e o GNV (2%) aparecem neste cenário, ainda que de forma muito pouco significativa em relação aos demais – Gráfico 14.

Repara-se nos dois gráficos significativo crescimento das emissões de CO₂ desde 1980.

Gráfico 14: Emissões de CO₂ por categoria de veículos ou por tipo de combustível



Fonte: MMA, 2013

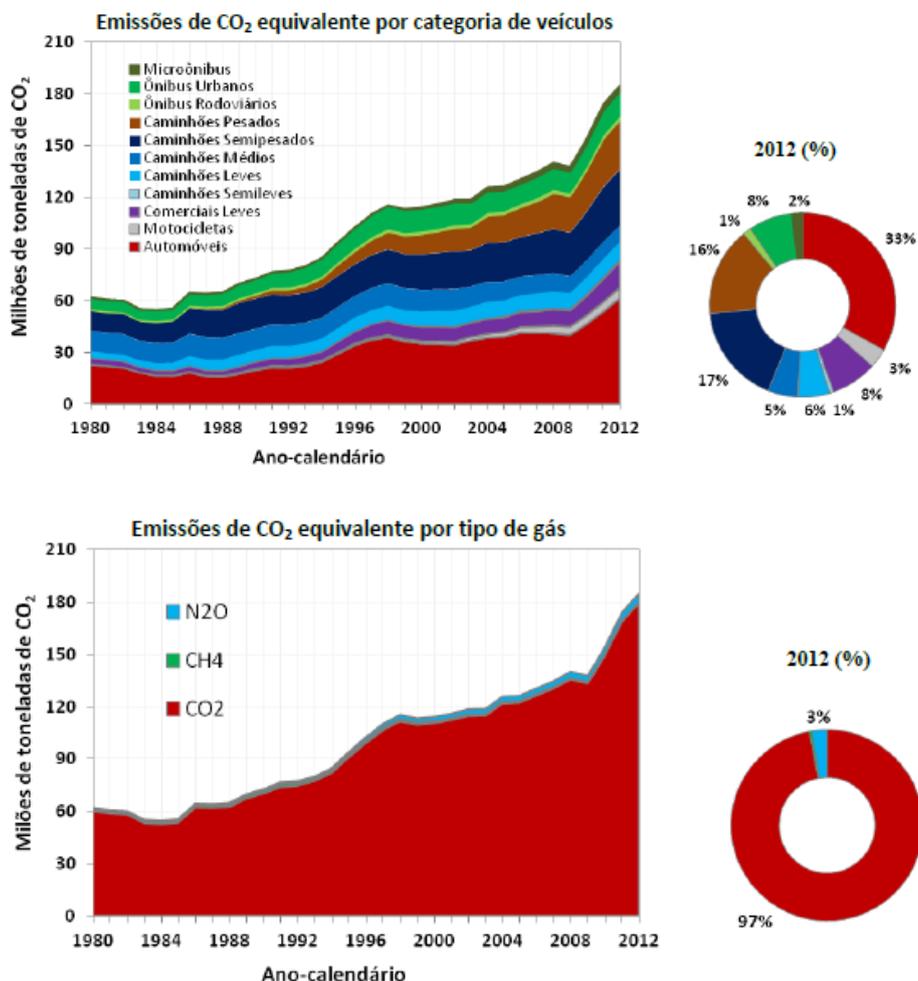
Emissões de Dióxido de Carbono (CO₂eq)

Nas emissões de CO₂ equivalente estão incluídas as de CO₂ provenientes de combustíveis fósseis, as emissões de CH₄ e de N₂O para todos os combustíveis.

Os equivalentes de CO₂ utilizados seguem a métrica GWP (*Global Warming Potential*) e são os mesmos valores apresentados na Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – CQNUMC. Os fatores GWP são 21 para o CH₄ e 310 para o N₂O. (MMA, 2013)

No **Gráfico 15** estão as emissões desagregadas por GEE, nele fica evidente o papel do CO₂ como o mais representativo para o transporte rodoviário, responsável por 97% das emissões.

Gráfico 15: Emissões de CO₂ equivalente por categoria de veículos ou por tipo de combustível de combustível



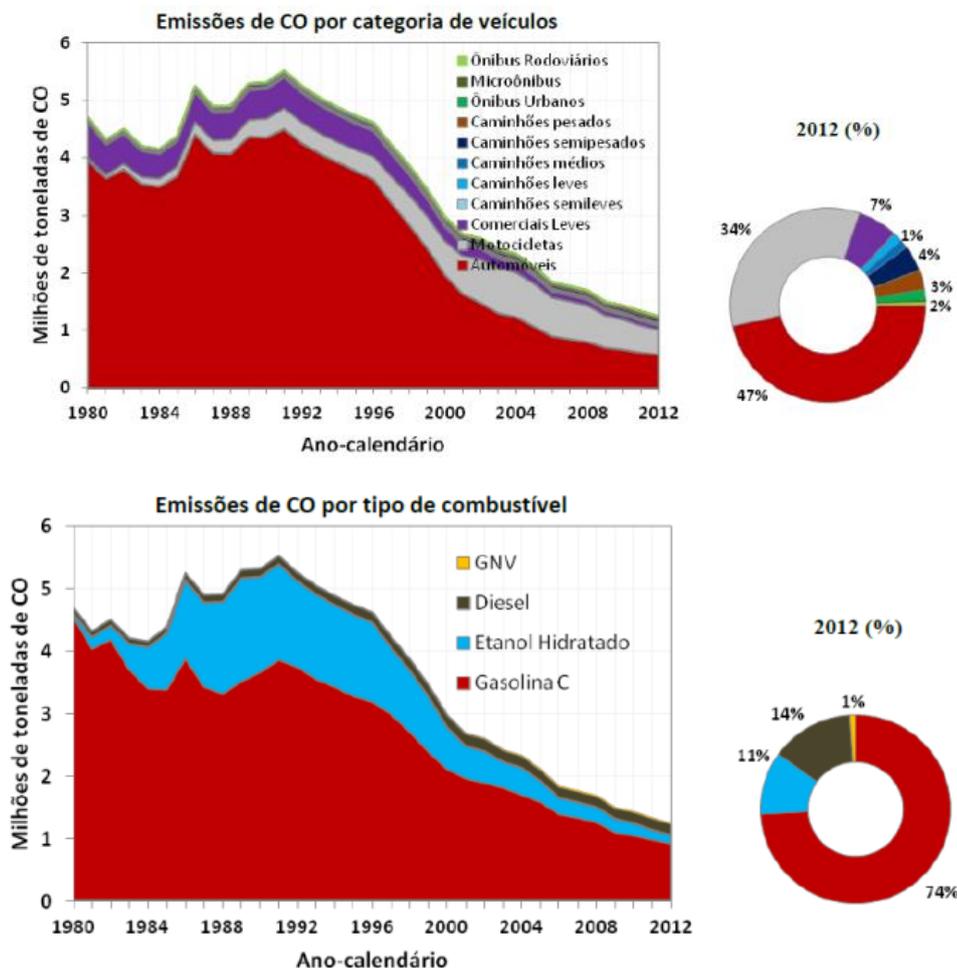
Fonte: MMA, 2013

Poluentes Tóxicos

Emissões de Monóxido de Carbono (CO)

Com relação ao CO observa-se que houve a redução considerável de sua emissão ao longo dos anos (1980 a 2012), sendo os automóveis e as motocicletas os principais responsáveis por essas emissões (47% e 34% respectivamente). No caso das emissões por tipo de combustível, observa-se a predominância significativa da gasolina (74%), entretanto 14% das emissões deve-se ao diesel, principalmente à frota de ônibus. O GNV possui um papel insignificante nesse cenário - responsável por apenas 1% das emissões.

Gráfico 16: Emissões de CO por categoria de veículos e por tipo de combustível

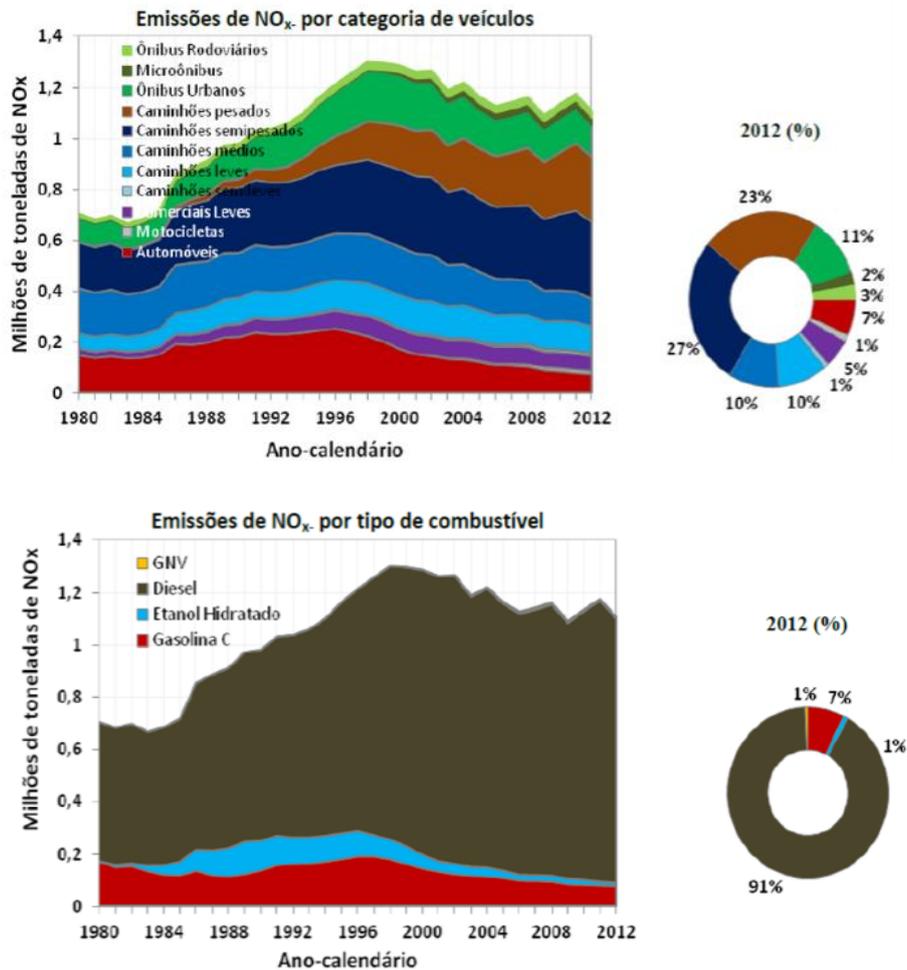


Fonte: MMA, 2013

Emissões de Óxido de Nitrogênio (NO_x)

Com relação às emissões de óxido de nitrogênio (NO_x) observa-se que os caminhões são a categoria de veículos predominante responsável por 70% das emissões – ao encontro do diesel - principal combustível desse tipo de categoria, responsável por 91% das emissões quando avaliadas por tipo de combustível. Nesse gráfico o GNV mostra uma participação ínfima de 1% assim como o etanol.

Gráfico 17: Emissões de NO_x por categoria de veículos e por tipo de combustível



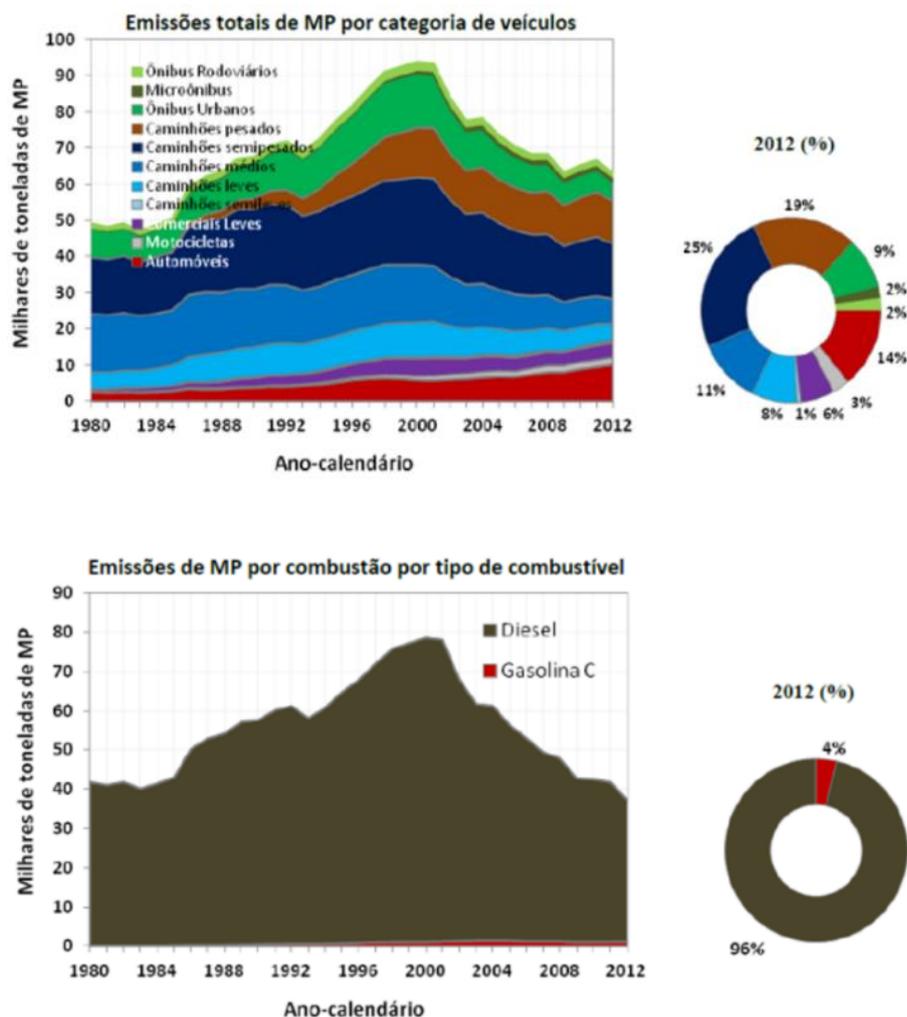
Fonte: MMA, 2013

Emissões de Material Particulado (MP)

Em se tratando de categoria de veículos, as emissões de MP têm uma predominância de emissões por caminhões (64%), seguidas por automóveis (14%) e ônibus (13%). As emissões estão relacionadas ao tipo de combustível, o diesel como principal contribuinte - 96% das emissões em 2012, enquanto que a gasolina tem uma participação muito tímida – 4% -

Gráfico 18.

Gráfico 18: Emissões de MP por categoria de veículos e por tipo de combustível



Fonte: MMA, 2013

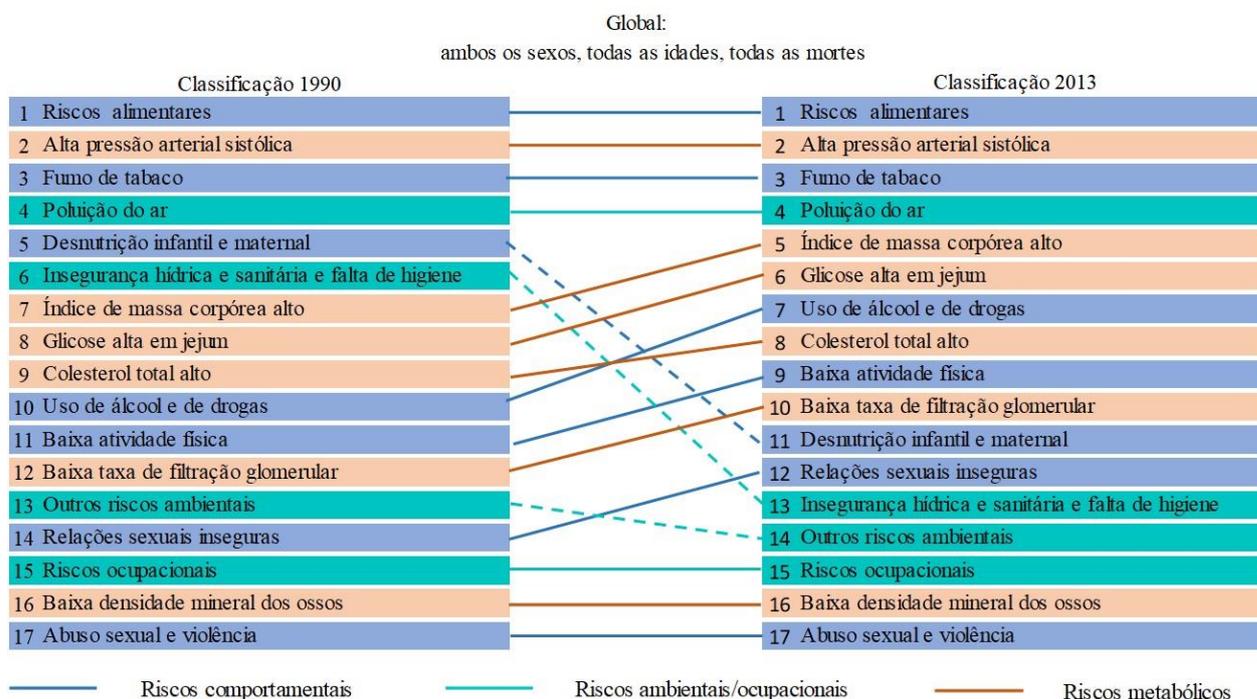
Ao encontro dos dados, o IEMA (2017) aponta a contribuição do transporte de passageiros – com a ampla predominância, em torno de 60 a 70% do consumo dos combustíveis gasolina e diesel - como responsáveis pela maior parte das emissões de GEE na atmosfera. E, o destaque do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários sobre a relevância do diesel e, conseqüentemente, dos caminhões e ônibus na emissão dos poluentes NO_x e MP, gases altamente prejudiciais à saúde humana - sendo esse último importante indicador de poluição atmosférica e objeto de muitos estudos devido ao seu papel fatal na saúde pública global.

Em suma, os dados apresentados mostram a importância do consumo de energia, e principalmente relacionado ao setor de Transportes, sobre a sua participação na emissão de GEE e gases poluentes tóxicos. Mostram também a participação incipiente do GNV como tipo de energia consumido no país, embora em crescimento, ao lado do baixo consumo de energia renovável no setor, mostrando um vasto espaço e necessário para o crescimento do consumo de energia limpa no país.

Poluição do ar e saúde

A poluição do ar é reconhecida como o maior risco ambiental para a saúde, tornando-se em 2013 o quarto fator de risco modificável relacionado à mortalidade por doenças crônicas não transmissíveis, e primeiro fator ambiental (assinalado em verde) - tendo ultrapassado a mortalidade por doenças causadas pela água insalubre e transmitidas por vetores (THE WORLD BANK, 2016).

Figura 1: Principais riscos modificáveis por número de mortes em 1990 e 2013



Fonte: The World Bank, 2016.

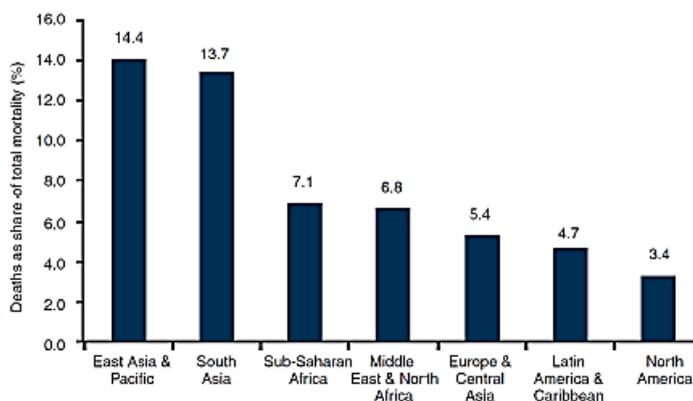
Em 2013, o ar tóxico foi classificado como cancerígeno, o que significa que o ar contaminado por si só, independente da concentração de poluentes ou do grau de exposição da população, passa a ser considerado uma causa ambiental de mortes por câncer de pulmão e bexiga. Além do ar poluído, o poluente material particulado (MP) também foi classificado como substância carcinogênica (IARC, 2013). Em resumo, o risco de desenvolver os dois tipos de câncer é significativamente maior em pessoas expostas à poluição atmosférica.

Em maio de 2018, a Organização Mundial da Saúde (OMS) divulgou que 80% da população mundial respira ar com altos níveis de poluentes, acima dos índices preconizados pela OMS e que 8 milhões de pessoas morrem todos os anos decorrente da poluição do ar externo e interno – estimativas que já ultrapassam a previsão da Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico - OECD (OECD, 2016; OPAS; OMS BRASIL, 2018a). Segundo a OPAS e OMS Brasil (2016), 11,6% das mortes em nível global.

O **Gráfico 19** aponta, nas regiões, a assustadora porcentagem do número de mortes relacionadas à poluição atmosférica em 2013 (THE WORLD BANK, 2016). Quase 90% das mortes relacionadas à poluição do ar ocorrem em países de baixa e média renda; duas em cada três acontecem no Sudeste Asiático e no Pacífico Ocidental da OMS.

Gráfico 19: Percentagem do total de mortes devido à poluição do ar por regiões do mundo

FIGURE 2.3 Percentage of Total Deaths from Air Pollution by Region, 2013



Fonte: The World Bank, 2016

Em 2013, a exposição à poluição atmosférica estava associada a 4,1% de todas as mortes em países de alta renda, onde a percentagem de mortes tem diminuído desde 1990. Porém, em outras regiões a percentagem de mortes relacionadas ao MP_{2,5} tem aumentado de 1990 a 2013: i) de 2,3 % a 3,5% em países de baixa renda, ii) de 4% a 5,1% em países de renda média baixa e iii) de 5,7% a 7,4% em países de renda média alta. Em 2013, 75% das mortes relacionadas a exposição ao MP_{2,5} ocorreram em países de renda média (THE WORLD BANK, 2016). A situação é mais agravante quando se compara as mortes por doenças respiratórias em crianças menores de 5 anos, podendo ser 60 vezes maior em países de baixa renda em comparação a países de alta renda.

Em 2018, a OPAS/OMS divulgou que a poluição do ar é responsável por 320 mil mortes nas Américas e 51.000 mortes no Brasil anualmente (OPAS; OMS Brasil, 2018a).

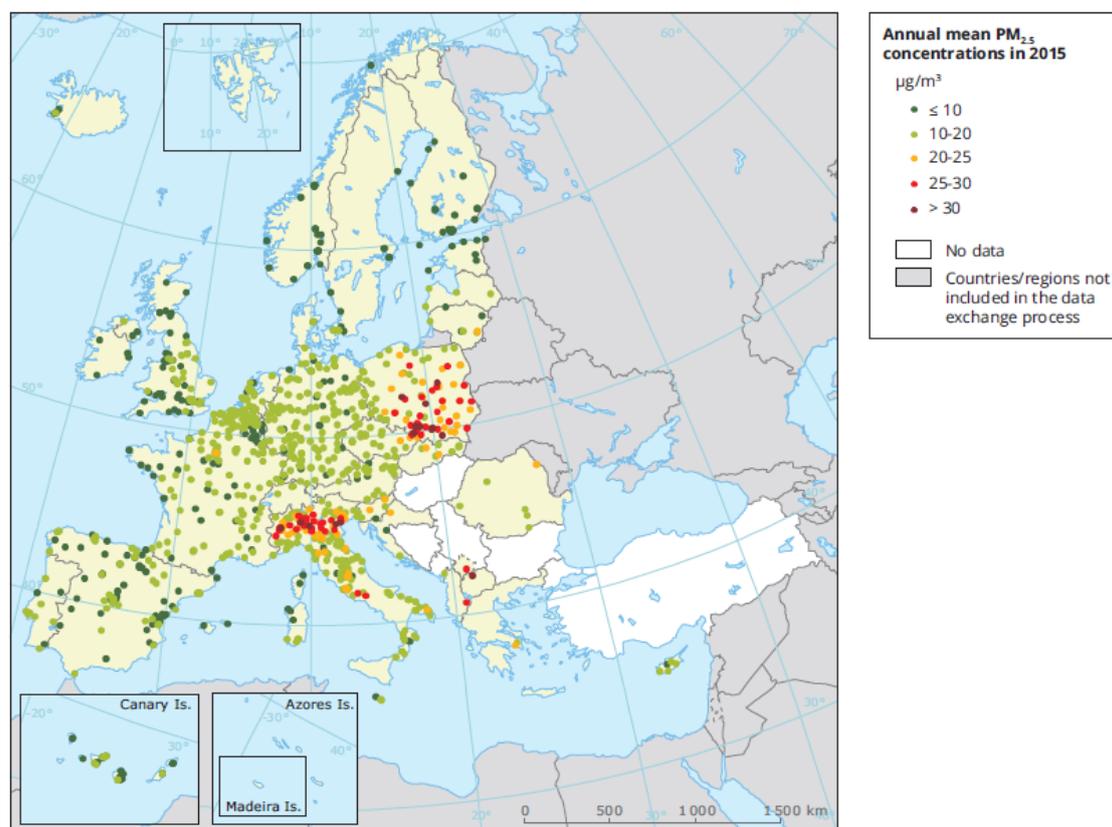
O Instituto Saúde e Sustentabilidade avaliou o impacto em saúde decorrente dos níveis de concentração do MP_{2,5} no Estado de São Paulo (ESP) em 2011 - nível anual em cerca de duas vezes e meia o parâmetro da OMS, revelando 17.443 mortes (RMSP e a capital paulista, respectivamente, 7.932 e 4.655 óbitos) e 68.499 internações públicas. Para o período de 2006 a 2011, observa-se 99.084 mortes no ESP. Os gastos públicos e privados de internações no ESP, em 2011, foram respectivamente, em torno R\$ 76 milhões e R\$ 170 milhões, totalizando os gastos em R\$ 246 milhões no Estado. Em 2011, para o Estado, observou-se o DALY (*Disability Adjusted Life Years*) de 159.422 anos e o valor monetário dos anos de vida perdidos por morte prematura ou doenças, utilizando-se o VVE (valor de vida estatístico) é de US\$ 1,180 trilhão (INSTITUTO SAÚDE E SUSTENTABILIDADE, 2013). No caso do Estado do Rio de Janeiro (ERJ), entre 2006 e 2012, contabilizou-se o DALY de 79.149 anos, 36.194 óbitos e 65.102 internações na rede pública. Os gastos públicos em internação no ERJ alcançaram o valor de R\$ 82 milhões (INSTITUTO SAÚDE E SUSTENTABILIDADE, 2014).

Estima-se, nos países da União Europeia, que os custos diretos da poluição do ar estiveram em torno de US\$ 25 bilhões em 2010 e os custos de saúde, direta

ou indiretamente relacionados a poluição do ar, foram de US\$ 1.025 bilhões em 2010 para os países da União Europeia (IGU, 2016).

Os níveis de concentração de $MP_{2,5}$ encontrados nos países da União Europeia estão demonstrados na Figura 2 (EEA, 2017).

Figura 2: Os níveis de concentração de $MP_{2,5}$ encontrados nos países da União Europeia



Notes: The dark red and red dots indicate stations reporting concentrations above the EU annual limit value ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$). The dark green dots indicate stations reporting values below the WHO AQG for $PM_{2,5}$ ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Only stations with $> 75\%$ of valid data have been included in the map.

Source: EEA, 2017a.

Fonte: EEA, 2017

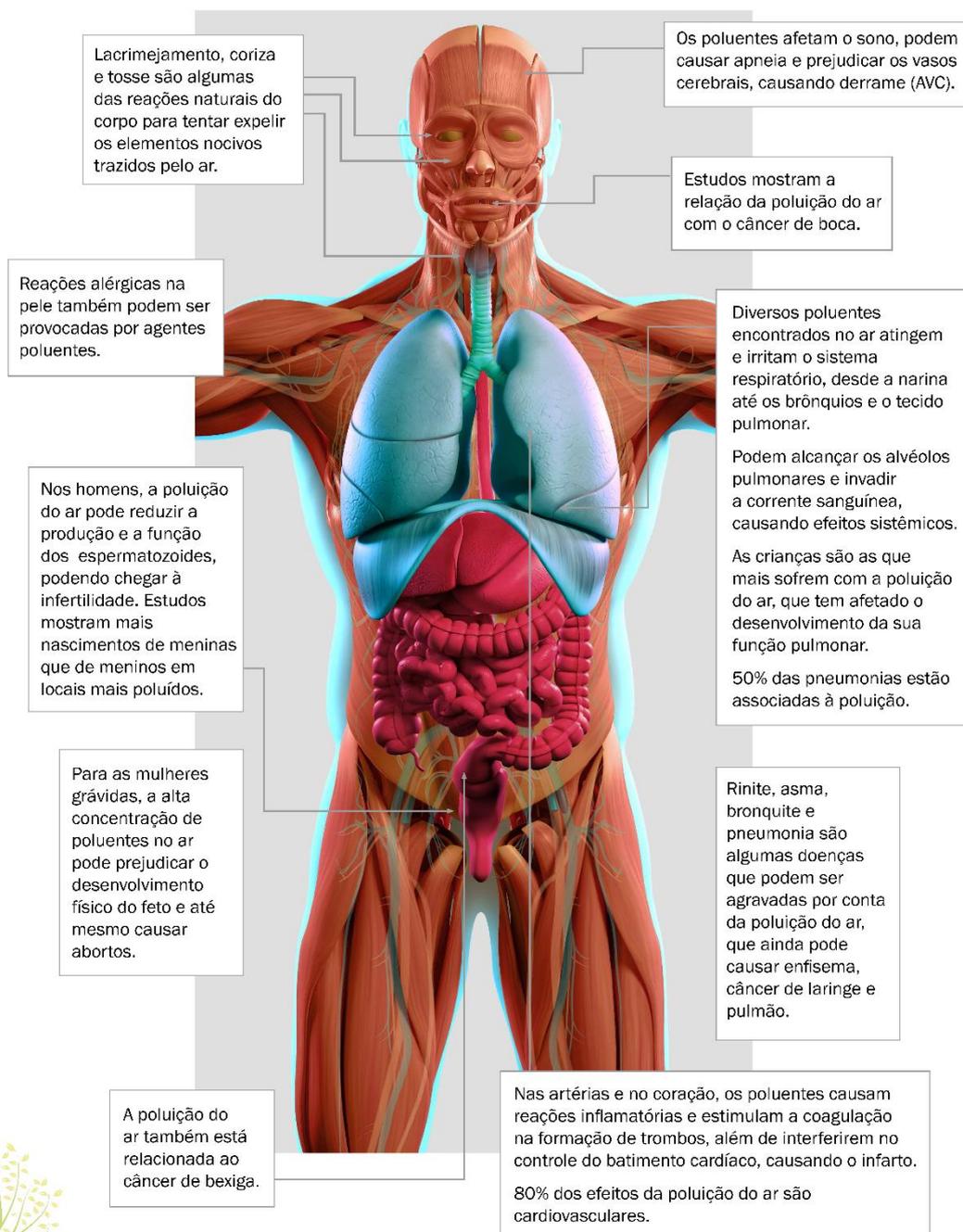
Salienta-se que os efeitos adversos dos poluentes atmosféricos se manifestam com maior intensidade em crianças, idosos, indivíduos portadores de doenças respiratórias e cardiovasculares crônicas e, especialmente, nos segmentos da população mais desfavorecidos do ponto de vista socioeconômico (WHO, 2006).

A variação tóxica ambiental pode afetar a saúde de maneiras e níveis de gravidade diversos, já muito bem estabelecidos na literatura mundial, a qual relaciona a poluição do ar ao maior risco de arritmias e infarto agudo do

miocárdio; bronquite crônica e asma (Doenças Pulmonares Obstrutivas Crônicas - DPOC); obesidade, diabetes, depressão e câncer do pulmão e bexiga (WHO, 2006; POPE & DOCKERY, 2006).

Figura 3: Impactos da poluição do ar na saúde

EFEITOS DA POLUIÇÃO DO AR NA SAÚDE



Fonte: Exposição Um Minuto de Ar Limpo (Associação Paulista de Medicina e Instituto Saúde e Sustentabilidade, 2018). Dados não publicados.

A **Figura 3** associa o MP aos efeitos já conhecidos para a saúde humana - desde a Irritação nos olhos, nariz e garganta, como diversas doenças respiratórias, às doenças cardiovasculares e outras sistêmicas.

Segundo dados da OPAS, 94% das mortes ocorrem em decorrência de doenças não transmissíveis – particularmente doenças cardiovasculares, acidentes vasculares cerebrais, doenças pulmonares obstrutivas crônicas e câncer de pulmão (OPAS; OMS BRASIL, 2016). A contaminação do ar é responsável por 35% das mortes por doenças respiratórias, 15% das doenças cerebrovasculares, 44% doenças do coração e de 6% de câncer de pulmão (OPAS; OMS BRASIL, 2016).

A poluição ar está relacionada a metade dos casos de pneumonia em crianças no mundo e ao prejuízo do desenvolvimento da função pulmonar, ou seja, da sua capacidade respiratória. No entanto, antes mesmo de nascerem, as crianças sofrem com a poluição do ar, há prejuízos no desenvolvimento fetal, maiores índices de retardo do crescimento intrauterino, baixo peso ao nascer e morte fetal e neonatal (PEREIRA et al, 1998).

Além do risco a saúde humana, a poluição atmosférica também é um fator que afeta o desenvolvimento econômico das cidades, uma vez que prejudica a qualidade de vida, diminuindo a capacidade produtiva da população, além dos custos despendidos nos serviços de saúde por doenças atribuídas (THE WORLD BANK, 2016).

Uma vez sendo a poluição do ar uma causa evitável de adoecimento e mortes, torna-se imprescindível agir de forma a salvaguardar a vida humana.

Nesse sentido, ressalta-se a importância da atuação direta nas fontes de emissão de poluentes. A maioria delas é diretamente influenciada pelas tecnologias energéticas e de combustíveis utilizados e, portanto, a prevenção de doenças associadas à poluição atmosférica depende da aplicação de políticas setoriais específicas que objetivem a diminuição da poluição na sua fonte (WHO, 2015).

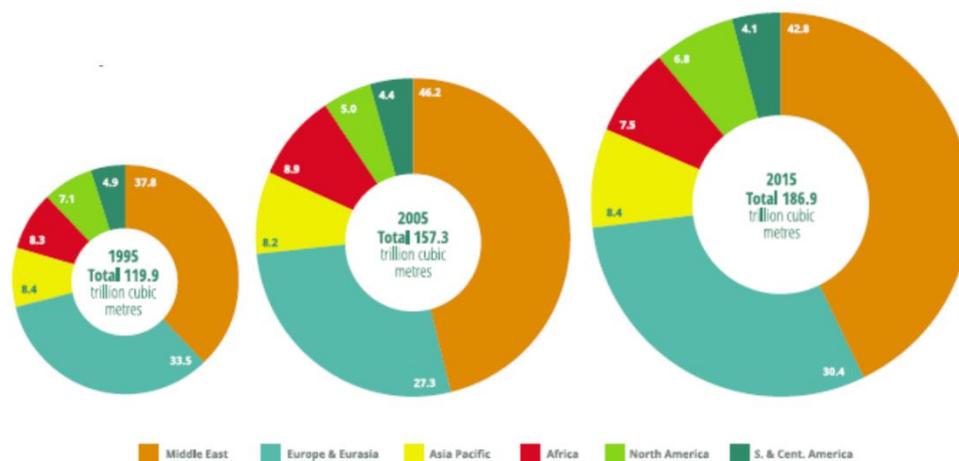
Tais políticas devem se empenhar para viabilizar o uso de combustíveis mais limpos e melhorar a oferta e a qualidade dos sistemas de transporte públicos. Além da melhoria na saúde da população - a redução dos poluentes

atmosféricos tóxicos, acarretam também benefícios a longo prazo pela mitigação dos efeitos da mudança do clima (MIRAGLIA; GOUVEIA, 2014).

Gás Natural Veicular (GNV) – Uma alternativa

Embora as reservas de combustíveis fósseis tenham aumentado nos últimos anos, mostrando um grande potencial de exploração dessa tecnologia, ilustrado na **Figura 4** a seguir - reservas de combustíveis convencionais provadas existentes, por continente (IGU, 2016), as graves consequências para o meio ambiente, para saúde e, cada vez mais, para a economia da dependência por combustíveis oriundos do petróleo têm estimulado o desenvolvimento e a implementação de fontes alternativas de energia.

Figura 4: Reservas de combustíveis convencionais provadas existentes em 1995, 2005 e 2015



Fonte: IGU, 2017a

Surge, no sentido de substituir essa base energética tão onerosa para a sociedade, o Gás Natural, uma alternativa que serve aos mais diversos usos.

O Gás Natural é encontrado de forma abundante na natureza e suas propriedades químicas são tais que permitem vários usos possíveis, por exemplo, substituir combustíveis de motores que funcionam por meio de ignição por centelhamento, como é o caso daqueles movidos

a gasolina e etanol (álcool combustível). (BASTOS, FORTUNATO, 2014).

A **Figura 5**, a seguir ilustra a multifuncionalidade e os diversos potenciais do Gás: geração de energia elétrica, abastecimento de campos industriais e do setor de serviços/comércio, abastecimento doméstico e como combustíveis no setor de transporte.

Figura 5: Funcionalidades e potenciais do gás natural



Fonte: IGU, 2017a

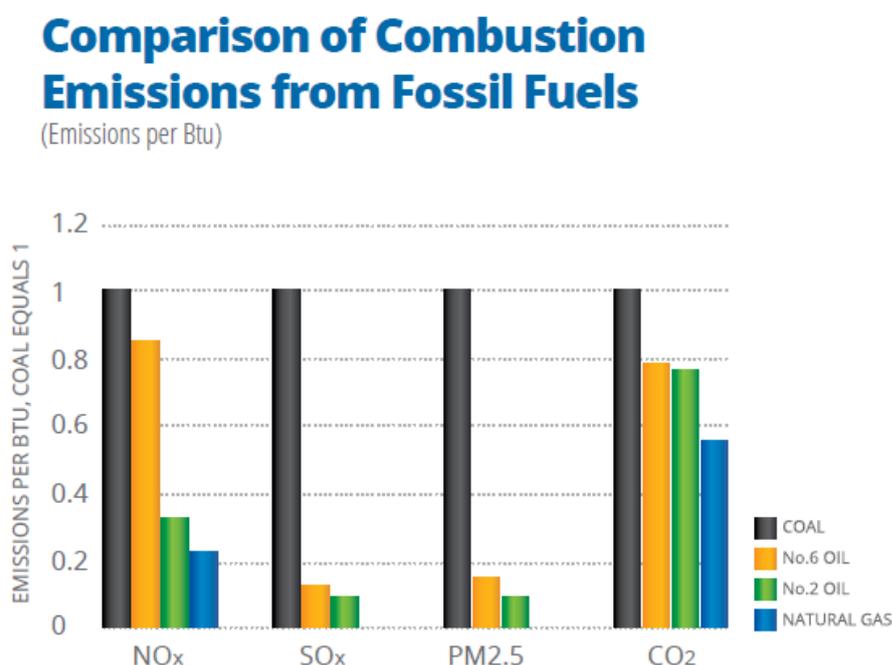
Acelerar o uso do Gás Natural como combustível sustenta dois pilares de “um modelo energético limpo e sustentável”. Propicia à economia, a redução de emissões de carbono que são nocivas para o meio ambiente e a saúde humana, enquanto complementa o desenvolvimento de energias renováveis.

A substituição de toda a frota de ônibus urbano a diesel por veículos a gás representaria uma redução de 55 milhões de barris por ano no volume de importações de petróleo, o que significa uma queda superior a U\$ 2 bilhões (considerando o preço do barril em U\$ 40,00) nas importações brasileiras e conseqüentemente melhora das condições macro-econômicas do país. (NTU, 2004)

Como combustível de veículos, o Gás Natural pode reduzir as emissões de GEE em 20 a 30%, quando comparado ao diesel e gasolina, conforme o gráfico 20, a seguir (IGU, 2016). Comparando-se as emissões dos poluentes

entre os combustíveis fósseis convencionais, verifica-se que o GNV, mesmo contribuindo para a emissão de poluentes como NO_x, MP_{2,5} e MP₁₀ - as médias são consideravelmente inferiores aos demais tipos de combustível. Tratando – se do SO_x, o GNV praticamente não contribui com a emissão desse poluente na atmosfera. Estes dados podem ser observados nas próximas figuras.

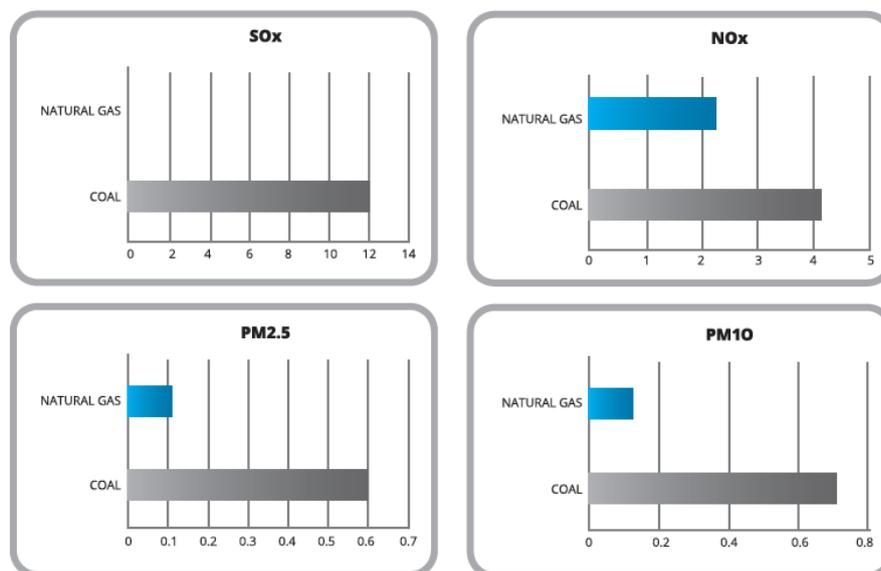
Gráfico 20: Comparação de emissões de combustão entre combustíveis fósseis



Fonte: IGU,2016

Em relação ao carvão, nota-se que as emissões de MP₁₀ e MP_{2,5} do Gás Natural são bem inferiores.

Figura 6: Médias de emissões formadoras de poluentes por MWh para Usinas de Carvão e Gás Natural dos EUA.



Average Pounds of Pollutant-Forming Emissions per MWh for U.S.Coal and Natural Gas Power Plants
Source: EPA AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors; CenSARA Area Combustion Emissions Inventory Enhancement Project-Final Report 2011

Fonte: IGU, 2017b

O uso do GNV como fonte de energia no setor de transportes surgiu como uma das alternativas que contribuiu para a redução do dano ambiental decorrente da utilização crescente de fontes energéticas poluentes (Yeh, 2007).

De acordo com o Plano Nacional de Energia 2030 (BRASIL, 2007), o consumo de gás natural na década de 1970 era bastante reduzido. A partir de meados de 1980 o consumo dessa matriz aumentou relativamente, devido a descobertas de jazidas na Bacia de Campos. No final dos anos 1990 o consumo de Gás Natural atingiu proporções maiores. Se em 1970 o consumo de gás natural era de $70 \cdot 10^3$ tep, em 2004 o consumo passou a ser de 12.18510^3 tep.

No Brasil o Gás Natural como combustível de veículos passou a ter relevância a partir de 1998 e hoje é uma fonte de energia importante em grandes cidades brasileiras, notadamente São Paulo e Rio de Janeiro, em especial no segmento de transporte comercial (táxis e ônibus).

O Gás Natural provém soluções muito efetivas para reduzir a emissão de poluentes relativos ao transporte de passageiros e cargas. Essa alternativa também está disponível para outras formas de transportes, tais como o ferroviário, marinho e veículos pesados.

Embora o uso do Gás Natural venha crescendo nos últimos anos, em comparação aos outros combustíveis, observa-se que sua participação ainda é muito tímida, como já apresentado - em 2016 o consumo de gás no Brasil era de apenas 7%, que representava apenas 2% da matriz energética de transporte.

Há projeções de expansão de consumo da ordem de 52% em âmbito mundial entre 2008 e 2035, com o Gás Natural mantendo-se como fonte importante em diversas regiões do mundo nos setores industrial e de geração de energia elétrica (U.S. Energy Information Administration, 2011).

Espera-se no Brasil, de 2011 a 2021 um crescimento de 11% para 15,5% na participação do Gás Natural na oferta de energia” (BASTOS, FORTUNATO, 2014).

O relatório ainda indica, até 2030, em cenários favoráveis de economia no país, a estimativa da maior adesão do GNV no transporte coletivo - em frotas de ônibus em regiões metropolitanas. No entanto, em situações de instabilidade econômica e política, como ocorre atualmente, sua adoção é reduzida. Em cenários de crescimento econômico, o consumo de Gás Natural em transporte pode variar de 19,3 a 20,0 Mm³/dia, ao passo que em cenários desfavoráveis na economia, o consumo variaria de 12,6 a 12,9 Mm³/dia (BRASIL, 2007).

Atualmente é o mais limpo dos combustíveis de base de carbono² disponíveis (IGU, 2016). Seu uso no segmento de transportes segue com taxas inferiores de emissões de GEE e, por esta razão pode-se dizer que o Gás Natural se oferece como uma alternativa altamente rentável e sustentável para substituir os combustíveis fósseis convencionais – razão pela qual sua demanda esteja crescendo exponencialmente.

² Combustíveis fósseis inclusive carvão, óleo e gás natural

De acordo com os autores Bastos e Fortunato (2014), a literatura sobre GNV ou mesmo sobre energias limpas e renováveis associadas a opções reais não é tão vasta quanto poderia e por isso oferece oportunidades de evolução, de maneira que contribuir para o desenvolvimento desse cenário pode ser bastante produtivo.

Somando-se o fato do Gás Natural ser encontrado de forma abundante na natureza à sua utilização como uma alternativa para a redução dos impactos ambientais e na saúde humana – indubitavelmente, poderá contribuir para a conformação de um modelo em prol da sustentabilidade nas cidades (IGU, 2016; BASTOS, FORTUNATO, 2014).

OBJETIVO

Avaliar o impacto da implementação de Gás Natural Veicular - GNV na matriz energética de transporte - transporte público (ônibus) e veículos leves - na saúde pública com sua respectiva valoração econômica, em seis Regiões Metropolitanas (RMs) brasileiras.

Hipótese: a implementação do gás natural no transporte público (ônibus) e veículos leves levará a uma diminuição de emissão de material particulado inalável fino ($MP_{2,5}$), que, como consequência, acarretará o impacto positivo em saúde pública – baseado na diminuição da mortalidade e morbidade representada pelas internações hospitalares devido às doenças relacionadas a poluição atmosférica – e na economia, baseado em ganho de produtividade e em economia de gastos públicos hospitalares em saúde nas regiões metropolitanas (RMs): São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Vitória, Curitiba e Porto Alegre.

O período do estudo para determinação dos benefícios, diante da intervenção, parte do ano 2018 com projeção até 2025, considerando o ano base 2015.

METODOLOGIA

Levantamento bibliográfico

O levantamento bibliográfico é a explicitação do referencial teórico fundamental, estabelecendo as bases conceituais de forma a situar o objeto pesquisado no conhecimento científico já produzido. Além disso, esse processo possibilita o aprimoramento do olhar que norteia a análise e a emergência de novas questões, ideias e conceitos no momento de intersecção dos dados levantados e a base bibliográfica.

Neste sentido, a pesquisa realizou a consulta às bases de dados indexadas para acessar artigos científicos, publicações especializadas e relatórios a partir da plataforma do Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade de São Paulo (SIBiUSP) apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) por meio do acesso VPNClient. Plataformas de saúde foram acessadas nas bases de dados Medline (via PUBMED) (National Library of Medicine, USA) e Cochrane Library (via CENTRAL). Documentos institucionais foram obtidos por busca na internet e em websites específicos de entidades.

Ambiente do estudo

Foram selecionadas as seis Regiões Metropolitanas (RM): São Paulo, Rio de Janeiro, Vitória, Belo Horizonte, Curitiba e Porto Alegre, que juntas, abrigam 49.901.467 habitantes, o que representa 23,5% da população brasileira (208.494.900 hab), de acordo com a estimativa do IBGE para 2018 (IBGE, 2018).

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é a maior região metropolitana do Brasil, conta com cerca de 21,2 milhões de habitantes e é uma das 10 regiões mais populosas do mundo. São 39 municípios, sendo os 5 mais populosos (segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística): São Paulo (capital – 12.176.866), Guarulhos (1.365.899), São Bernardo do Campo (833.240), Santo André (716.109) e Osasco (696.850). O polo da RMSP é o maior gerador de riquezas no Brasil. As atividades principais são a indústria, o

comércio e principalmente a financeira. Os maiores complexos produtivos de capital privado estão localizados na região. A forte veia industrial e urbana tem como efeito uma deterioração da qualidade do ar na RMSP. A região concentra, por exemplo, 48% da frota do Estado em apenas 3,2 % do território, com uma frota circulante de um total de 7.316.193 veículos. O último relatório de Qualidade do ar disponível no website do órgão ambiental estadual – CETESB – é do ano base 2017 (CETESB, 2018).

A Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) é a segunda maior região metropolitana do Brasil. Sua população total é 12,5 milhões habitantes. Conta, segundo dados do IBGE de 2018, com 21 municípios, dentre os mais populosos estão Rio de Janeiro (6.688.927 habitantes), São Gonçalo (1.077.687), Duque de Caxias (914.383), Nova Iguaçu (818.875) e Niterói (511.786). As principais atividades econômicas que compõem o PIB da Região do Grande Rio são as refinarias de petróleo, as indústrias naval e metalúrgica. A refinação de produtos petroquímicos traz consequências para a qualidade do ar da região: as estações de monitoramento automáticas localizadas na RMRJ apresentam diversas ultrapassagens dos níveis de poluentes recomendados pela OMS, principalmente na região de Duque de Caxias, importante polo industrial, e nas regiões da cidade do Rio de Janeiro na qual circula uma alta densidade de veículos automotores (IBGE, 2018). O último relatório de Qualidade do ar disponível no website do órgão ambiental estadual – INEA – é do ano base 2015 (INEA, 2016).

A Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) é formada por 34 municípios e é a terceira região mais populosa do Brasil, atrás do eixo Rio-São Paulo. Possui, segundo estimativas do IBGE em 2018, uma população de 5.916.189 habitantes. As maiores densidades populacionais, também segundo estimativas do IBGE, estão situadas nas cidades de Belo Horizonte, com 2,5 milhões de habitantes, Contagem (659.070), Betim (432.575), Ribeirão das Neves (331.045) e Sete Lagoas (237.286). As principais atividades realizadas na região são a indústria, a mineração e o setor de comércio e serviços. Além disso, a região possui um importante polo de tecnologia, contando com mais mil empresas ligadas a esse tipo de atividade. As atividades econômicas geram uma deterioração da qualidade do ar, dentro da RMBH. As medidas mais altas

ocorrem em regiões impactadas pela forte industrialização e pela alta circulação de veículos automotores. A frota metropolitana de veículos chegou, em 2014, a cerca de 3 milhões de veículos (IBGE, s/d; FEAM, s/d). O último relatório de Qualidade do ar disponível no website do órgão ambiental estadual – FEAM – é do ano base 2013 (FEAM, 2016).

A Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), é formada por 7 municípios. Possui uma população total estimada de 1.951.673 (1,9 milhões), de acordo com o IBGE (2018). A população dos municípios são: Serra (507.598), Vila Velha (486.208), Cariacica (378.603), Vitória (358.267), Guarapari (122.982), Viana (76.954) e Fundão (21.061). As principais atividades da RMVI são a portuária, de importação e exportação, e também possui importante destaque a mineração em algumas cidades da RMVI (IBGE, 2018). Indústrias e a frota de veículos são os principais emissores dos materiais particulados (IEMA, 2017). O último relatório de Qualidade do ar disponível no website do órgão ambiental estadual – IEMA – é do ano base 2014 (IEMA, 2017).

A Região Metropolitana de Curitiba (RMC), também conhecida como Grande Curitiba, reúne 29 municípios do estado do Paraná. Segundo estimativas do IBGE de 2018, a população total da região é de um pouco mais de 3,6 milhões de pessoas. As cidades mais populosas da região: a primeira, a capital Curitiba, com cerca 1,9 milhões de habitantes (1.917.185), seguida por São José dos Pinhais (317.476), Colombo (240.840), Araucária (141.410) e Pinhais (130.789). A região conta com o trabalho a exportação das 90 fábricas instaladas no bairro Cidade Industrial e das duas grandes indústrias automobilísticas que estão localizadas na Grande Curitiba. O parque industrial totaliza cerca de 43 milhões de metros quadrados e grandes empresas multinacionais estão instaladas na região. Araucária, na região metropolitana, é uma grande produtora de petróleo, sendo a 5ª maior refinaria do Brasil e a principal da região Sul. Um estudo sobre a qualidade do ar realizado na RMC em 2013, mostra que a qualidade do ar é considerada boa em maior parte da região. O último relatório de Qualidade do ar disponível no website do órgão ambiental estadual do ano base de 2013 (IAP, 2013).

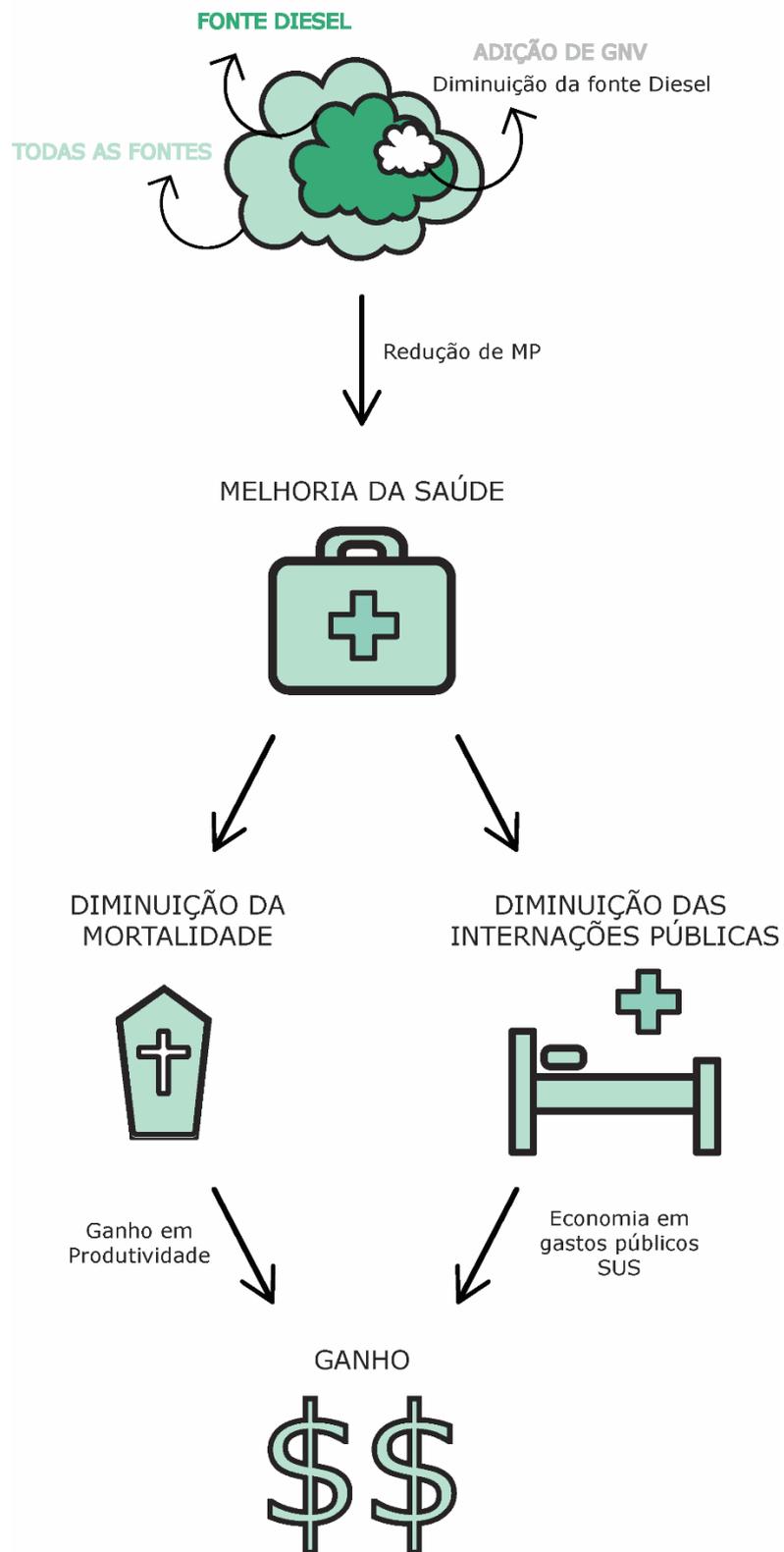
A Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA), é a quarta região mais populosa do Brasil. Possui uma população total de 4.317.508 habitantes,

divididos em 34 municípios. O mais populoso e economicamente importante é o município de Porto Alegre, com 1.479.101 de habitantes. Segundo dados do IBGE, depois da capital, as cidades mais populosas são Canoas (344.957). Gravataí (279.398) e Viamão (254.101). Nela se encontram algumas das maiores e mais importantes empresas do país, como montadoras de veículos, polos petroquímicos, indústrias de autopeças, plásticos, produtos alimentícios, etc, o que torna a região industrial e com alta circulação de veículos. O último relatório de Qualidade do ar disponível no website do órgão ambiental estadual é o de ano base de 2017 (FEPAM, 2018).

Desenho básico do estudo

O desenho do estudo, o qual determina a metodologia adotada para sua elaboração, é descrito a seguir. Baseia-se, explicando de uma forma mais didática, no infográfico:

Figura 7: Desenho do estudo
CONCENTRAÇÃO
DE MATERIAL PARTICULADO



Fonte: Elaboração própria

A importância deste projeto está na demonstração dos benefícios quantitativos, tanto na redução dos riscos em saúde (morbidade e mortalidade), como a sua valoração, pela intervenção - determinada por cenários hipotéticos – o aumento do uso do GNV na matriz energética de transportes (veículos leves e transporte público – ônibus), que implicará na redução da emissão do poluente atmosférico, o material particulado fino, $MP_{2,5}$.

Desta forma, o desenho do estudo aqui proposto, utilizará várias metodologias, envolvendo três áreas do conhecimento científico e elaboradas em três etapas:

1. Ambiental, para estimar a concentração de material particulado inalável fino ($MP_{2,5}$) em seis regiões metropolitanas a partir dos cenários de intervenção propostos – a substituição gradativa de GNV para as frotas leve e de ônibus;
2. Epidemiológica, a partir dos resultados ambientais, estimar o impacto dos efeitos do GNV, como matriz energética de transporte, na saúde, estudado pela mortalidade e a morbidade – considerando o número de internações públicas devido às doenças relacionadas à poluição atmosférica (doenças respiratórias, cardiocerebrovasculares e câncer de pulmão). De forma complementar, será calculado os anos de vida perdidos - o *YLL*, (em inglês, *Years Life Lost*), que significa a somatória dos anos de vida perdidos pela morte precoce devido à variação na poluição do ar - parte integrante da ferramenta *DALY* (*Disability Adjusted Life Years*), metodologia epidemiológica adotada pela Organização Mundial de Saúde para estimar a gravidade de doenças;
3. Econômica, que determina os custos das internações hospitalares públicas pelos valores de internação do SUS, e, a mortalidade, valorada pela perda de produtividade.

As etapas metodológicas são apresentadas detalhadamente a seguir.

1. Método Ambiental

O Material Particulado

O poluente estudado é o material particulado inalável fino, o $MP_{2,5}$.

O MP é uma mistura de partículas líquidas e sólidas em suspensão no ar, uma mistura complexa de componentes com diferentes características físicas e químicas. Devido ao seu pequeno diâmetro aerodinâmico, esse material não só permanece em suspensão na atmosfera por longos períodos, como também, ao ser inalado, consegue atingir até o nível mais profundo do sistema respiratório (WHO, 2006), com grande potencial para afetar o trato respiratório podendo inclusive passar para a circulação sanguínea, ocasionando doenças respiratórias crônicas, asma, bronquite, doenças cardiovasculares e câncer de pulmão.

São denominadas como MP_{10} as partículas inaláveis com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 10 μm , e como $MP_{2,5}$, as partículas inaláveis finas, menores ou iguais a 2,5 μm . Assim, no MP_{10} estão contidas a fração fina, representada pelo $MP_{2,5}$ e a fração grossa, representada por $MP_{2,5-10}$.

As fontes do $MP_{2,5}$, em geral, estão associadas a processos secundários a partir da emissão de produtos de combustão, como queima de combustíveis de fontes móveis (veicular), estacionárias (industriais, termoelétricas, fogões a gás e outras). O MP_{10} tem como fontes predominantes aquelas ligadas a processos mecânicos, como a ação do vento do solo e oceano, a ação de pneus de veículos em pavimentos e emissões pela vegetação.

Neste trabalho o $MP_{2,5}$ foi selecionado como marcador ambiental não só pela sua capacidade de chegar aos pontos mais profundos do pulmão, como também por ser o poluente recomendado pela Organização Mundial da Saúde, OMS (WHO, 2006) para estudos de avaliação de impacto ambiental em saúde, além de dispor de extensas bases de dados já disponíveis.

O Roteiro de Cálculo

O Roteiro para o cálculo da concentração ambiental atribuível ao cenário estipulado da intervenção parte das concentrações médias anuais de cada Região Metropolitana, disponíveis pelas agências ambientais estaduais.

São detalhadas as seguintes etapas de cálculo:

- a. Passo 1: estimativas das concentrações ambientais médias diárias anuais de $MP_{2,5}$ de cada Região Metropolitana.
- b. Passo 2: cenários - estimativas propostas da porcentagem de substituição da frota em cada Unidade da Federação
 - Passo 2.1: cenário proposto para a frota de transporte público – ônibus
 - Passo 2.2: cenário proposto para a frota leve
- c. Passo 3: estimativa da participação da fonte na concentração do MP – basal
- d. Passo 4: emissão relativa associada aos veículos movidos a gás
- e. Passo 5: cálculo do impacto ambiental do $MP_{2,5}$ pela substituição parcial da frota ao longo do período do estudo

Descrição das etapas:

a. Passo 1: estimativas das concentrações ambientais médias diárias anuais

Cálculo ambiental: determinação do MP_{2,5} por RM

O valor da concentração de material particulado obtido para o estudo é a média diária anual de MP₁₀ de 2015, disponibilizada nos Relatórios anuais de Qualidade do Ar dos estados respectivos das seis Regiões Metropolitanas: São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Vitória, Porto Alegre e Curitiba. Os websites dos órgãos ambientais consultados foram:

- CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
- INEA - Instituto Estadual do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro
- FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais
- IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo
- IAP - Instituto Ambiental do Estado do Paraná
- FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler do Estado do Rio Grande do Sul

Tabela 1: Média diária anual de MP₁₀ (µg/m³) por Região Metropolitana e fontes

Regiões Metropolitanas	MP ₁₀ - concentração em µg/m ³	ANO	FONTE (Relatório Anual de Qualidade do Ar)	Órgão ambiental estadual
São Paulo – RMSP	31,0	2015	CETESB, 2016	 CETESB
Rio de Janeiro – RMRJ	38,6	2015	INEA, 2016	
Belo Horizonte – RMBH	33,0	2013*	FEAM, 2016	
Vitória – RMVI	24,9	2013*	IEMA, 2015	
Porto Alegre – RMPA	22,4	2015	FEPAM, 2016	
Curitiba – RMC	22	2013*	IAP, 2016	

*Ano base 2013, publicado em Relatório de Qualidade do Ar em 2016

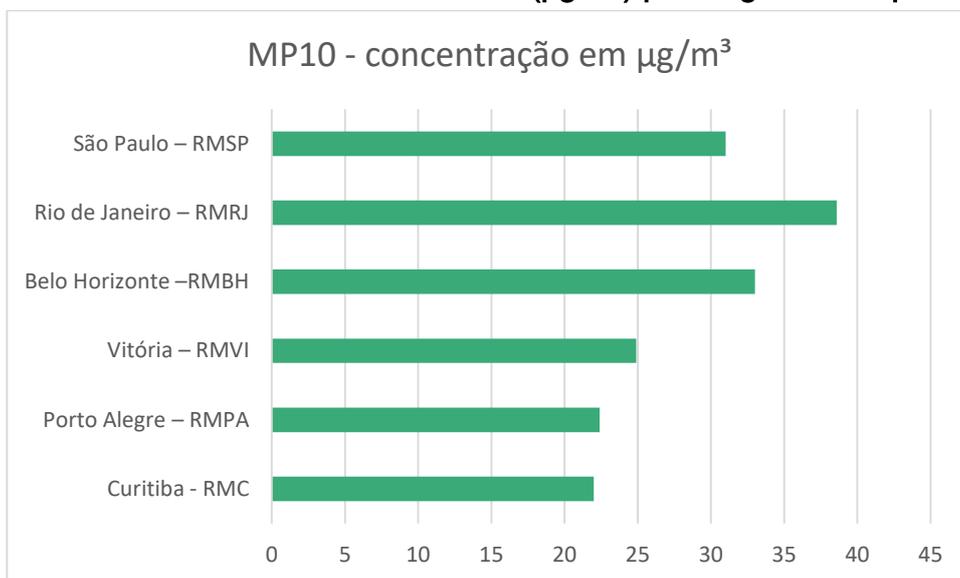
Fonte: elaboração própria

O ano base determinado para os dados ambientais foi 2015, de forma a acompanhar a disponibilidade das informações de saúde - no momento da pesquisa da referência, apenas o estado de São Paulo dispunha de dados de 2016. A pesquisa se baseou nos Relatórios anuais. No caso das regiões que não dispunham dos dados de 2015, optou-se por utilizar o dado mais recente disponível. O Estado de Espírito Santo apresentava informações do ano 2015, porém não em Relatório anual. Excetuando-se São Paulo, que apresentava em seu relatório a média anual da RMSP, para os demais estados, a média anual de MP₁₀ das RMs foi calculada a partir dos dados das médias anuais das estações que compõem a RM de cada estado. O Relatório da FEAM do Estado

de Minas Gerais não apresentava os dados das médias das estações, apenas a informação em gráfico sem rótulos de dados nas barras. Dessa maneira, estipulou-se a medida da média anual de cada estação a partir de uma estimativa via gráfico e depois foi calculada a média anual da RMBH (entende-se que esse dado é bastante aproximado e não se trata de um valor absoluto a partir de médias reais).

As médias obtidas por RM podem ser vistas no **Gráfico 21**:

Gráfico 21: Média diária anual de MP₁₀ (µg/m³) por Região Metropolitana



Fonte: Elaboração própria

Para a determinação da concentração média diária anual de MP_{2,5}, para todas as RMs, utilizou-se a fração (0,6) prevista pela CETESB: “Quanto à relação MP_{2,5}/MP₁₀ as medições realizadas pela CETESB na RMSP, desde 1987, mostraram que o MP_{2,5} corresponde a cerca de 60% do material particulado inalável (MP₁₀) (CETESB, 2016).

b. Passo 2: cenários - estimativas propostas da frota em cada Unidade da Federação

- **Passo 2.1: cenário proposto para a frota de transporte público – ônibus:**

Foram propostos dois cenários para o estudo - conservador e otimista – para as RMSP e RMRJ. Para as demais RMs, apenas o cenário conservador:

b1) Cenário conservador: para todas as RMs

A **Tabela 2** abaixo apresenta o percentual da substituição conservador da frota calculado sobre o cenário inicial de 2016 estabelecido pela COMGAS, ao longo do tempo, em cada RM do estudo.

Tabela 2: Percentual da frota de transporte público – ônibus - conservador, ao longo do período de estudo, projetado sobre a frota inicial referida a 2016, para cada RM, com base no cenário estabelecido pela COMGAS

FROTA TRANSPORTE PÚBLICO – ÔNIBUS (DIESEL)							
VARIAÇÃO NA FROTA EM RELAÇÃO AO ANO INICIAL (%)							
2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0%	1,0%	1,5%	2,0%	2,5%	3,0%	3,5%	4,0%

Fonte: Elaboração própria

b2) Cenário otimista: para as RMSP e RMRJ

A

Tabela 3 abaixo apresenta o percentual da substituição otimista da frota calculado sobre o cenário inicial de 2016 estabelecido pela COMGAS, ao longo do tempo, em cada RM do estudo.

Tabela 3: Percentual da frota de transporte público – ônibus - otimista, ao longo do período de estudo, projetado sobre a frota inicial referida a 2016, para cada RM, com base no cenário estabelecido pela COMGAS para as RMSP e RMRJ

FROTA TRANSPORTE PÚBLICO – ÔNIBUS (DIESEL)							
VARIÇÃO NA FROTA EM RELAÇÃO AO ANO INICIAL (%)							
2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%

Fonte: Elaboração própria

Registre-se que, nos dois casos, o mesmo percentual de crescimento da participação dos veículos movidos a gás sobre a frota inicial foi aplicado igualmente a todas as RMs.

- **Passo 2.2: cenário proposto para frota leve**

Da mesma forma da frota de transporte público – ônibus, na Tabela 4 abaixo é apresentada o percentual da frota leve a ser calculada sobre o cenário original estabelecido pela COMGAS ao longo do tempo, em cada RM.

Tabela 4: Percentual da frota leve, ao longo do período de estudo, para cada RM, com base no cenário de 2016 conforme COMGAS

UNIDADE DA FEDERAÇÃO	CENÁRIO – FROTA LEVE			
	2018	2020	2022	2024
ESPÍRITO SANTO	1,39%	1,70%	2,01%	2,32%
MINAS GERAIS	0,23%	0,28%	0,33%	0,38%
SÃO PAULO	0,48%	0,58%	0,69%	0,79%
PARANÁ	0,28%	0,35%	0,41%	0,47%
R.GRANDE DO SUL	0,61%	0,75%	0,88%	1,02%
RIO DE JANEIRO	1,10%	2,10%	3,10%	4,1%

Fonte: Elaboração própria

c. Passo 3: estimativa da participação da fonte na concentração do MP_{2,5} – basal

Para estimar a contribuição relativa de cada frota, o único inventário detalhado e atualizado disponível entre as agências ambientais brasileiras é o da CETESB, que foi utilizada como base para as frotas das demais Regiões Metropolitanas.

Assim, utilizou-se as informações apresentadas no capítulo 4.1.1.3 Fontes de Poluição do Ar – RMSP do Relatório da CETESB (2017), mais especificamente nas Tabelas 14 e 16 do relatório original, reproduzidas abaixo (Tabela 5 e Tabela 6).

Tabela 5: Estimativa da frota de veículos da RMSP em 2016 (Tabela 14 – CETESB,2018)

Tabela 14 – Estimativa da frota de veículos da RMSP em 2016

Categoria		Combustível	Frota Circulante na RMSP	% Frota RMSP/Estado
Automóveis		Gasolina C	1.737.654	55%
		Etanol Hidratado	107.020	41%
		<i>Flex-fuel</i>	3.408.601	50%
Comerciais leves		Gasolina C	337.421	58%
		Etanol Hidratado	9.577	38%
		<i>Flex-fuel</i>	415.113	44%
		Diesel	185.679	45%
Caminhões	Semileves	Diesel	14.118	39%
	Leves		44.814	39%
	Médios		25.909	39%
	Semipesados		44.969	40%
	Pesados		46.920	39%
Ônibus	Urbanos	Diesel	33.776	53%
	Micro-ônibus		7.704	54%
	Rodoviários		14.874	52%
Motocicletas		Gasolina C	738.136	38%
		<i>Flex-fuel</i>	143.907	24%
TOTAL			7.316.193	48%

Fonte: CETESB (2018)

Tabela 6: Contribuição relativa das fontes de poluição do ar na RMSP (Tabela 16 - CETESB, 2018)

Tabela 16 – Contribuição relativa das fontes de poluição do ar na RMSP

Categoria		Combustível	Poluentes (%)					
			CO	HC	NO _x	MP ₁₀ ¹	SO _x	
MÓVEIS	Automóveis	Gasolina C	32,43	23,56	7,22	0,71	0,97	
		Etanol Hidratado	11,32	7,15	1,55	nd	nd	
		Flex-Gasolina C	9,36	12,55	1,60	0,68	1,01	
		Flex-Etanol Hidratado	11,02	10,61	1,51	nd	nd	
	Comerciais Leves	Gasolina C	5,56	5,58	1,09	0,14	0,27	
		Etanol Hidratado	0,67	0,55	0,11	nd	nd	
		Flex-Gasolina C	1,29	2,05	0,28	0,10	0,21	
		Flex-Etanol Hidratado	1,84	1,63	0,25	nd	nd	
		Diesel	0,65	0,56	4,74	4,61	2,81	
	Caminhões	Semileves	Diesel	0,14	0,15	1,27	1,27	0,39
		Leves		0,62	0,62	5,86	5,08	1,92
		Médios		0,41	0,44	3,96	4,11	1,14
		Semipesados		0,94	0,68	9,16	5,59	3,66
		Pesados		0,90	0,77	9,39	5,21	3,63
	Ônibus	Urbanos	Diesel	1,63	1,13	13,86	8,27	0,17
		Micro-ônibus		0,25	0,20	2,15	1,66	0,02
		Rodoviários		0,14	0,13	1,53	0,75	0,62
	Motocicletas	Gasolina C	16,91	7,50	1,01	1,75	0,11	
		Flex-Gasolina C	0,47	0,22	0,05	0,09	0,01	
		Flex Etanol Hidratado	0,34	0,19	0,04	nd	nd	
% Emissão Veicular (2016)			96,86	76,28	66,63	40,00	16,95	
FIXAS	OPERAÇÃO DE PROCESSO INDUSTRIAL (2008)		3,14	14,32	33,37	10,00	83,05	
	BASE DE COMBUSTÍVEL LÍQUIDO (2008)		-	9,41	-	-	-	
OUTRAS	RESSUSPENSÃO DE PARTÍCULAS		-	-	-	25,00	-	
	AEROSSÓIS SECUNDÁRIOS		-	-	-	25,00	-	
TOTAL			100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

Fonte: CETESB (2018)

Nota1:

1 - Contribuição conforme estudo de modelo receptor para partículas inaláveis (CETESB, 2002). A contribuição dos veículos (40%) foi rateada entre todos os veículos de acordo com os dados de emissão disponíveis.

nd: não disponível.

Nota 2:

Ano de referência do inventário de fontes móveis: 2016.

Fonte: CETESB (2018)

Na **Tabela 6**, mencionada no parágrafo anterior, toda a participação de emissão das fontes refere-se ao MP₁₀. Assim, é necessário fazer a adaptação da participação das fontes considerando o Capítulo 4.2.1.2 – Partículas Inaláveis Finas – MP_{2,5}, nos dois parágrafos após o Gráfico 27 (página 86), onde é informado que “Nesta fração, o aporte de aerossóis provenientes da ressuspensão de poeira de rua não é significativo” (CETESB, 2018). Dessa maneira, ao se eliminar essa fonte, a participação percentual das demais fontes aumenta proporcionalmente.

Após esse recálculo das participações é possível obter a participação total das fontes de interesse neste estudo:

Frota de Transporte Público – Diesel (ônibus e micro-ônibus)	12,29%
Frota Leve (automóveis e comerciais leves, ciclo Otto)	1,69%

Fonte: Elaboração própria

Esses percentuais foram, então, aplicados na concentração média diária anual em cada uma das RMs para se obter a fração do MP_{2,5} atribuível a cada uma das frotas em análise na data de início de cada cenário.

Para frota leve não foram considerados os veículos leves a diesel e motocicletas.

d. Passo 4: Emissão relativa associada aos veículos movidos a gás

Os dados da emissão relativa do gás para veículo leve, foi estabelecida em 10% (definição da Comgás) para o material particulado, como um valor médio disponível na literatura e conforme acordado pela Comgás.

A frota atual é majoritariamente equipada por motores Diesel Euro V. A partir de 2022, o estudo assume que a frota passará a ser equipada apenas com motores Diesel Euro VI.

Definiu-se que a frota para Transporte Público, 2018 até 2022, a troca para GNV será a troca de um ônibus Diesel Euro V por um GNV Euro VI. De 2023 em diante a troca se dará Diesel Euro VI para um GNV Euro VI.

A **Tabela 7** abaixo apresenta a relação de redução de emissões entre motorizações diesel E-5 e E-6 / GNV ³ de onde destacam-se para este trabalho, os valores para MP:

Tabela 7: Fatores de emissão para motorizações Diesel Euro V, Diesel Euro VI e GNV Euro VI

EMISSÕES	EMISSÕES EURO 6					
	Nox	PM	CO	NMHC	CH4	NH3
	<i>g/kWh</i>	<i>g/kWh</i>	<i>g/kWh</i>	<i>g/kWh</i>	<i>g/kWh</i>	<i>Ppm</i>
Diesel Euro V	2	0,03	4	0,55	1,1	25
Norma Euro 6	0,46	0,01	4	0,16	0,5	10
Motor Scania a Gás	0,28	0,0032	0,41	0,01	0,17	7,2
Relação Scania a Gás E6 vs Diesel E5	-86%	-89%	-90%	-98%	-85%	-71%
Relação Scania a Gás E6 vs Diesel E6	-39%	-68%	-90%	-94%	-66%	-28%

Fonte: Scania (s.d.)

Assim foram adotados os seguintes fatores de emissão relativos:

Relação de emissão GNV EuroVI para Diesel Euro V	10,67% (0,0032÷0,03)
Relação GNV EuroVI para Diesel Euro VI	32,00% (0,0032÷0,01)
Relação de emissão gás/leve	10,00%

Fonte: Elaboração própria

O Fator de redução, então utilizado é:

$$FR = \frac{\text{Emissão Diesel} - \text{Emissão GNV}}{\text{Emissão Diesel}}$$

³ Scania (s.d.). Dado não publicado até o momento

Tabela 8: Fatores de redução do Diesel para GNV adotados nos anos do estudo

2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
E-5	E-5	E-5	E-5	E-5	E-6	E-6	E-6
0	-89%	-89%	-89%	-89%	-68%	-68%	-68%

Fonte: Elaboração própria

e. Passo 5: Cálculo do impacto ambiental do MP_{2,5} pela substituição parcial da frota ao longo do período do estudo

A partir dos resultados anteriores, e assumindo que a participação das fontes transporte público – ônibus e frota leve, como estabelecido no passo 4, caso não houvesse nenhuma intervenção permaneceriam iguais ao longo de todo o período de estudo, a estimativa de redução por qualquer intervenção pode ser calculada para cada ano, Região Metropolitana e cenário, pela seguinte equação:

$$\Delta MP_{2,5} = MP_{frota} \times \%Frota \times (1 - \text{FatorRedução}_{gás}) \quad \text{equação 1}$$

Onde: $\Delta MP_{2,5}$ é a variação média diária anual causada pela intervenção;

MP_{frota} é a concentração média diária anual atribuível à frota em estudo, conforme calculado no passo 4;

$\%Frota$ é a variação anual da frota projetada no ano e Região Metropolitana, como calculado no passo 2.1 e 2.2 para cada cenário;

$\text{FatorRedução}_{gás}$ é a relação de emissão do gás em relação ao combustível da frota em análise, como registrado no passo 5.

Assim, para cada combinação de frota e cenário, é possível calcular para cada Região Metropolitana e ano do estudo a correspondente variação ambiental da média anual diária do MP_{2,5} a partir da equação 1.

Dessa maneira, o valor assim calculado permite subsidiar o cálculo de correspondente impacto em saúde.

2) Método Epidemiológico

Impacto em Morbidade

O impacto em morbidade selecionado refere-se às internações hospitalares públicas por doenças respiratórias, cardiovasculares e neoplasia, nas faixas etárias apresentadas na **Tabela 9**.

Tabela 9: Desfechos mórbidos a serem considerados na avaliação do impacto da poluição atmosférica na saúde, por faixas etárias de interesse:

Faixa Etária	Desfechos	Grupo CID-10 e Observações
0 a 4 anos	Respiratório	Pneumonia Doença cardiovascular é evento raro
Mais de 40 anos	Neoplasias	Neoplasia de Brônquios, Traqueia e Pulmão
40 a 59 anos	Respiratório e cardiovascular	Bronquite, Enfisema, e outras Doenças Pulmonares Obstrutivas Crônicas (DPOC), Acidente Vascular Cerebral, Infarto Agudo do Miocárdio, Infarto e Hemorragia cerebral, Outras Doenças isquêmicas do Coração
60 a 69 anos	Respiratório e cardiovascular	O mesmo acima
Mais de 69 anos	Respiratório e cardiovascular	O mesmo acima

Fonte: Elaboração própria

Para cada faixa etária e desfecho foram escolhidos estudos epidemiológicos reconhecidos na literatura científica (ANDERSON et al., 2003; CANÇADO et al., 2006; GOUVEIA et al., 2006; MARTINS et al., 2006, ULIRSCH et al., 2007; HAMRA et al., 2014) com metodologias semelhantes.

Exceto o estudo de Hamra et al. (2014), todos os outros estudos foram realizados considerando como indicador de poluição, o material particulado inalável MP₁₀. No presente estudo o impacto ambiental dos cenários de intervenção utilizou a variação na concentração do material particulado inalável

fino MP_{2.5}. Para isso adotou-se o fator de correção de 60%, equivalente à média da razão entre MP_{2.5} e MP₁₀, com base no Relatório da Qualidade do Ar da CETESB (CETESB, 2017) para o Estado de São Paulo, idêntica à razão estimada pela Organização Mundial da Saúde na Europa (WHO, 2006).

Dessa maneira, o coeficiente e o acréscimo na concentração de MP₁₀ em cada um dos estudos acima relacionados é possível corrigir o coeficiente para considerar o acréscimo na concentração de MP_{2.5} na proporção de 60%.

Assim, foram obtidos os seguintes coeficientes, baseados nos estudos listados:

Tabela 10: Coeficientes de regressão adotados para o cálculo de risco de morbidade para exposição a material particulado inalável fino, MP_{2.5}, a partir dos estudos selecionados e considerando a relação entre MP_{2.5} e MP₁₀ de 60%

Faixa Etária	Respiratório	Cardiovascular	Câncer
0 a 4 anos	0,00395 (3)		
40 a 59 anos	0,00205 (1)	0,00133 (1)	
Mais de 40 anos			0,00862 (6)
60 a 69 anos	0,00363 (3)	0,00198 (4)	
Mais de 69 anos	0,01050 (2)	0,00228 (5)	

Fonte: Elaboração própria

Os coeficientes acima foram utilizados para a estimativa do número de eventos atribuíveis à variação na concentração do material particulado inalável fino, MP_{2.5}.

O número de mortes ou internações atribuíveis corresponde ao cenário epidemiológico que seria verificado com o nível observado ou esperado de poluição, para cada uma das composições dos cenários.

O resultado final corresponde a quanto se evitaria de mortes e internações com a introdução das composições propostas pela adição do GNV em relação ao diesel.

Impacto em Mortalidade

Para o impacto em mortalidade foi utilizada a mortalidade total anual por causas de mortes dos Capítulos I ao XVI da CID10 (mortes por causas naturais - óbitos gerais exceto as causas externas e as malformações) (OMS, 2007), com base nas recomendações da OMS (WHO, 2006), onde concentrações ambientais acima de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração ambiental de $\text{MP}_{2,5}$ implicarão em maior impacto em saúde, considerando que a cada variação ambiental desse poluente de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ será associado uma variação na mortalidade de 6%. Como esse impacto em mortalidade já está referido ao $\text{MP}_{2,5}$, o coeficiente para o cálculo do risco de morte resulta em 0,00583.

Cálculos do impacto em saúde

Para o cálculo do impacto em saúde, seja ela para morbidade ou mortalidade, da variação da poluição atmosférica obtida em diferentes cenários de intervenção, considerando que se trata de evento de contagem de eventos e as características de seu comportamento, utiliza-se o modelo de regressão de Poisson (Rothman KJ e Greenland S, 1998), e seguindo as recomendações da *Environmental Burden of Disease* (Ostro, 2004), é dado pela seguinte equação:

$$\text{RR} = \exp [\beta (X - X_0)] \quad \text{equação 1}$$

onde **RR** é o risco relativo de um determinado tipo de desfecho

β é o coeficiente da regressão

X é a concentração atmosférica atual do poluente, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$

X_0 é a concentração atmosférica basal ou de referência, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Após o cálculo do risco relativo (RR) para um determinado tipo de desfecho, é possível se calcular a fração atribuível ou fração de impacto do efeito em saúde decorrente da exposição da população ao poluente atmosférico, dada pela equação simplificada abaixo:

$$FA = (RR - 1) / RR$$

equação 2

onde **FA** é a fração atribuível ou fração de impacto

RR é o risco relativo de um determinado tipo de desfecho

Dessa maneira, o número esperado de eventos de morbidade ou mortalidade da exposição ambiental da população pode ser calculado pela seguinte equação:

$$E = AF \times B \times P$$

equação 3

onde **E** é o número esperado de eventos em saúde devido à exposição ambiental

AF é a fração atribuível ou fração de impacto

B é a taxa de incidência populacional do efeito em saúde em estudo

P é a população total exposta para o efeito em saúde

O produto das variáveis **B** e **P** pode ser substituído pelo número total de casos do desfecho em saúde em estudo, caso disponível.

Dados demográficos

Metodologia de Projeção dos óbitos e internações hospitalares

O objetivo deste produto é projetar, até o ano de 2025, o volume de óbitos segundo causas de mortes dos Capítulos I ao XVI da CID10 (OMS, 2007) e o volume de internações hospitalares no sistema público de saúde por grupos de morbidades cardiovasculares, respiratórias e neoplasias para as seis RMs.

Para este estudo não foram calculadas as internações de origem privada.

Partindo de 2015 como ano base, considerou-se como indicadores de referências as informações de esperança de vida e as taxas específicas por internações. Esses indicadores combinados com as projeções populacionais por idade, prospectaram, a partir de um risco observado, como descrito anteriormente, os prováveis volumes de óbitos e internações.

Os volumes projetados para cada RM constituem denominadores do cálculo da fração atribuível ao risco de morte e de internação por poluição, estimados nas etapas seguintes.

Tais informações também constituem os subsídios para os cálculos dos anos de vida perdidos (YLL), das projeções dos custos das internações hospitalares no sistema público de saúde, e o custo da mortalidade por perda de produtividade.

Fontes de dados

Utilizou-se como fonte os portais do IBGE (IBGE, s.d.) e do DATASUS/TABNET disponível no site do Ministério da Saúde (MINISTÉRIO DA SAÚDE, s.d.).

No site do IBGE estão armazenadas as informações sobre projeções populacionais por grupos de idade e as tábuas de mortalidade para as Unidades da Federação (UFs).

O portal do DATASUS/TABNET (MINISTÉRIO DA SAÚDE, s.d.) disponibiliza informações sobre o volume de óbitos observado para cada ano segundo diferentes níveis geográficos - municípios, regiões e estados – e características do falecido como idade, sexo e causa de morte, além das informações sobre internação hospitalar (SIH/SUS) na rede pública segundo morbidades e custos. Neste sistema encontra-se também as estimativas do volume populacional para o período intercensitário por sexo e idade para várias desagregações geográficas: municípios, UFs e Regiões⁴. Tratam-se das fontes

⁴ O IBGE, órgão responsável pelas projeções populacionais do país não divulga os resultados detalhados para os grupos etários para municípios e áreas metropolitanas. Essas informações

responsáveis pelo armazenamento e divulgação dos dados oficiais referentes à dinâmica demográfica e dos indicadores do setor de saúde.

Hipóteses e parâmetros utilizados

Para estimar o volume futuro de óbitos e internações optou-se por utilizar método derivado das informações demográficas ao invés de extrapolar tendências a partir de funções matemáticas preservando, dessa forma, os efeitos das transformações demográficas em curso na população brasileira, sobretudo aqueles relacionados com as mudanças nos padrões reprodutivos - redução no volume de nascimentos - e o concomitante aumento da longevidade. Sabe-se que tais mudanças implicam na diminuição na participação de crianças e jovens representados pelo estreitamento da base da pirâmide etária da população e um simultâneo aumento proporcional da população idosa, o que resulta em um incremento no número de óbitos (ERVATTI et al., 2015).

De modo geral, os indicadores de mortalidade e morbidade são referências para mensurar a qualidade de vida da população de determinado país ou região. O padrão de mortalidade pode ser estimado através de tabela de sobrevivência que fornece medida global da mortalidade de determinada população e o de morbidade pelas internações hospitalares dimensionada a partir de taxas específicas, segundo grupos etários específicos. Tratam-se de excelentes medidas do fenômeno pois não estão sujeitas à influência da composição etária.

Para o cálculo do número de mortes entre 2015 e 2025 foram utilizadas o coeficiente de mortalidade central nM_x das tabuas de sobrevivência projetadas pelo IBGE para cada ano e UF, assumindo-se que o padrão de mortalidade da UF seria o mesmo que o da respectiva RM. Optou-se também por ajustar o volume de óbitos estimados pelas tábuas de sobrevivência segundo os totais

são levantadas nos Censos Demográficos realizados a cada 10 anos e para o cálculo dos indicadores socioedemográficos para os períodos intercensitários e, em cumprimento ao dispositivo constitucional para a distribuição do Fundo de Participação de Estados e Municípios conduzida pelo TCU, são calculadas estimativas apenas da população total.

observados nos dados do DATASUS/TABNET supondo que as diferenças observadas para o ano de 2015 seriam constantes até o final do período projetado⁵.

Para as internações hospitalares, supôs-se que a taxas específicas segundo as causas permaneceriam constantes durante todo o período da projeção, método conhecido como projeção por taxa fixa (FINLAYSON, 2004).

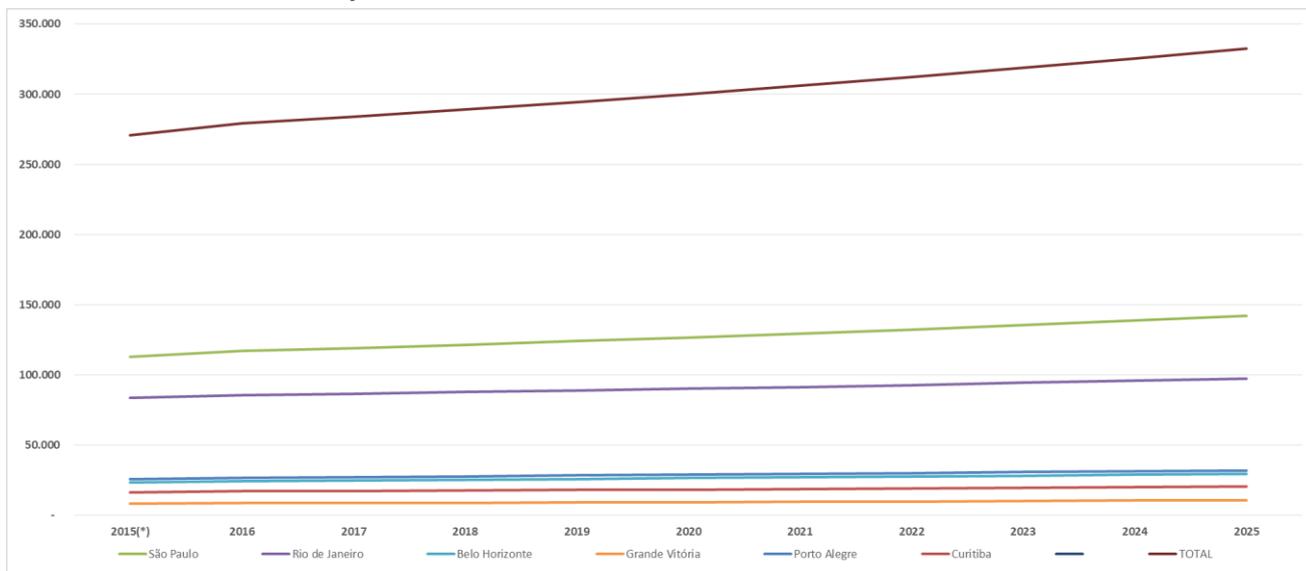
Para estimar o número de mortes e internações é necessário dispor de informações sobre projeções populacionais. Ressalte-se que as projeções do IBGE são feitas para o Brasil como um todo e UFs e não estão disponíveis para as Regiões Metropolitanas; e, por outro lado, o DATASUS/TABNET disponibiliza as estimativas populacionais para o período intercensitário segundo áreas geográficas mais desagregadas, inclusive as RMs. Dessa forma adotou-se a hipótese de que a participação relativa de cada RM em suas respectivas UF, dadas pelas estimativas do Ministério da Saúde em 2015, aplicada a projeção populacional do IBGE permaneceria constante até o ano de 2025.

No caso dos óbitos, para a soma das seis RMs avaliadas no projeto, o total de óbitos passaria de 271 mil para cerca de 350 mil entre 2015 e 2025, representando um aumento de 29,1% no período observado (

⁵ A diferença observada foi de 0,2% para Minas Gerais, 8,9% para o Rio Grande do Sul, 9,4% para o Paraná, 11,4% para o Rio de Janeiro e 13% para São Paulo.

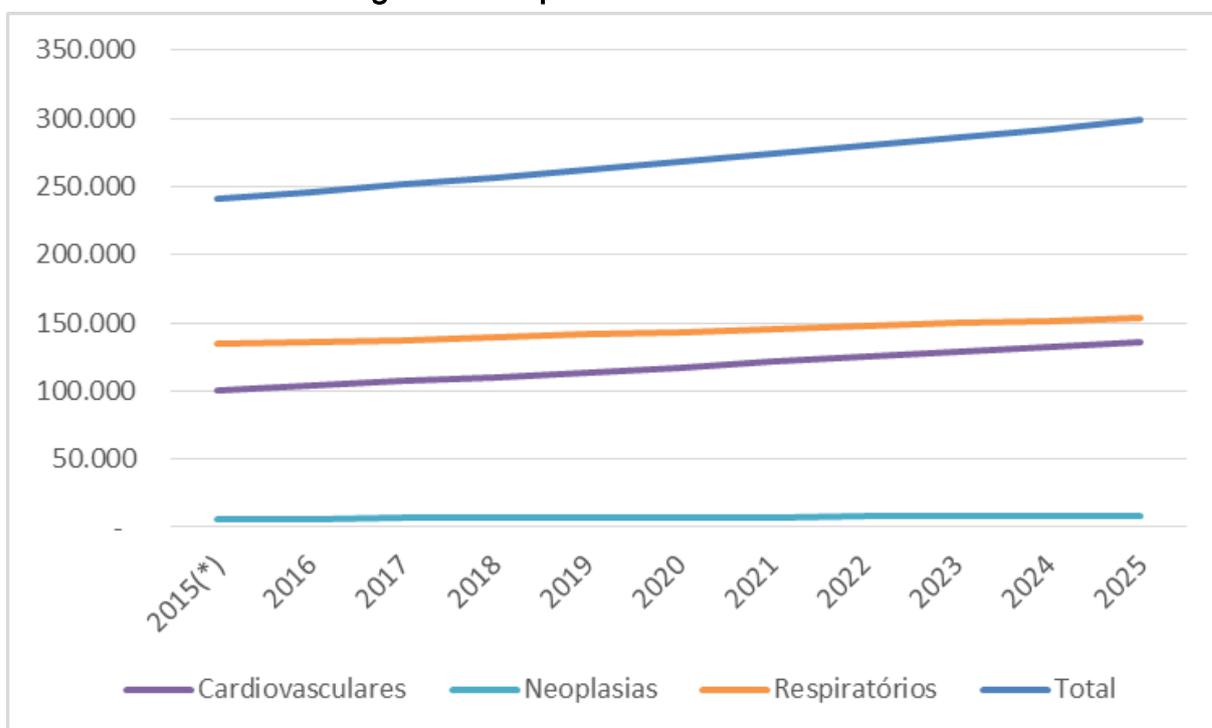
Gráfico 22). Para a morbilidade, estima-se que o volume de internações hospitalares públicas passaria de 240 mil para 298 mil entre o período 2015 e 2025 (**Gráfico 23**)

Gráfico 22: Projeção do Volume de Óbitos dos Capítulos I ao XVI - Regiões Metropolitanas selecionadas – 2015 a 2025



(*) Dados observados. Fonte: Elaboração própria

Gráfico 23: Projeção do número de internações hospitalares públicas das morbidades Cardiovasculares, Respiratórias e Neoplasias, para grupos etários selecionados e Regiões Metropolitanas selecionadas - 2015-2025



(*) Dados observados. Fonte: Elaboração própria

Anos de vida perdidos

Trata-se de um dos componentes do método *DALY*, ou *Disability Adjusted Life Years* que corresponde a um indicador criado no âmbito do estudo da carga de doença da Organização Mundial de Saúde em conjunto com pesquisadores da Universidade de Harvard (Murray & Lopez, 1996) para quantificar a mortalidade prematura e a incapacidade pela doença na população.

O *DALY* parte da premissa de que a melhor forma de mensurar a carga de doenças na população é por meio de medidas em unidades de tempo. Por esse motivo, o *DALY* corresponde ao número de anos de vida perdidos em decorrência da mortalidade prematura ou incapacidade, e pode ser mensurado pela conjugação de dois componentes:

YLL - Years Life Lost (em inglês), mensura a mortalidade prematura, ou seja, corresponde aos anos de vida perdidos de forma prematura, enquanto *YLD Years Life Disability* (em inglês), corresponde aos anos vividos com incapacidade, onde:

$$DALY = YLL + YLD$$

Para estimar os anos perdidos de vida (*YLL*), utilizou-se metodologia que subtrai a idade do óbito prematuro de um limite de anos de vida esperado (esperança de vida) de determinado grupo populacional.

Tradicionalmente, o cálculo considera o total de mortes em cada grupo etário subtraindo a esperança de vida no mesmo grupo etário estimado pelas tábuas de vida modelo nível 26, do modelo Oeste que corresponde à esperança de vida feminina do Japão, a mais alta encontrada até hoje. Para contextualizar o padrão de mortalidade para o nível nacional, utilizou-se as tábuas de vida calculadas pelo IBGE para as UFs e ano da projeção. A soma de todos os *YLL* em cada grupo etário corresponde, então, ao total de anos de vida perdidos prematuramente.

Não se considerou o limite do estudo, em 2025, para a contagem dos anos perdidos pela morte precoce. A contagem se estendeu até o último ano de perda de vida precoce.

2) Método Econômico

Refere-se à valoração em termos monetários da redução do MP2,5 sobre a morbimortalidade.

Valoração das internações hospitalares

Para o cálculo do valor total das internações no Sistema Público de Saúde atribuíveis a poluição, o valor médio das internações em cada grupo etário foi multiplicado pelo número de internações conforme os valores levantados no portal do DATASUS/TABNET (MINISTÉRIO DA SAÚDE, s.d.). Os valores foram mantidos no mesmo nível de 2015.

Valoração da morte

A valoração da morte foi determinada pela metodologia em decorrência da perda de produtividade do trabalho assalariado baseada no cálculo dos anos de vida perdidos pela morte precoce por faixa etária (ZIVIN & NEIDELL, 2013; NARAI & SALL, 2016). Como *proxy* para a produtividade do trabalho, adotou-se o valor do rendimento médio de todos os trabalhos (para faixa etária acima de 14 anos) para o ano de 2015 em cada RM segundo os dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD contínua) (IBGE, 2016).

RESULTADOS

AMBIENTAL

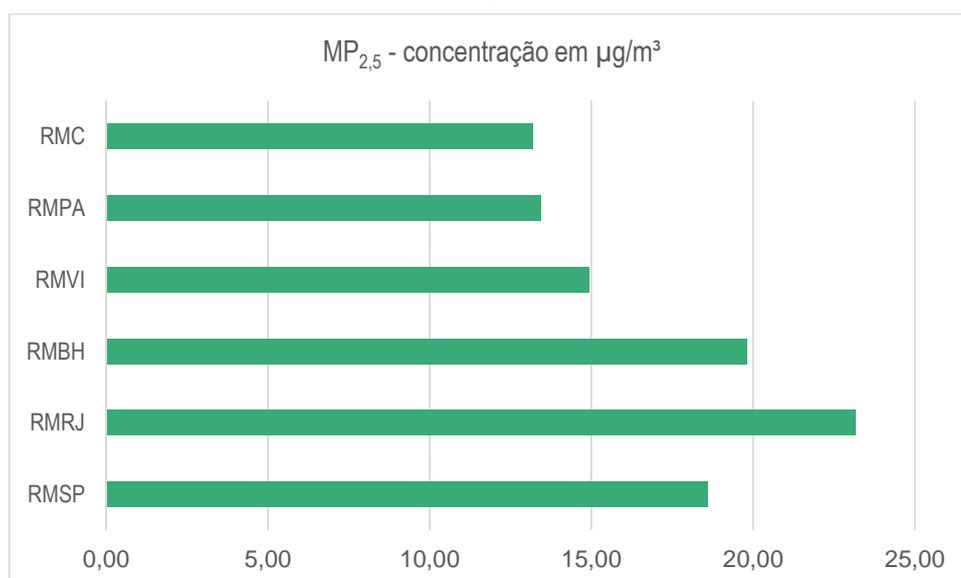
As estimativas das concentrações médias anuais de $MP_{2,5}$ foram estabelecidas para cada RM, dispostas na Tabela 11 e Gráfico 24 abaixo:

Tabela 11: Estimativas das concentrações médias anuais de $MP_{2,5}$ para cada RM

RM	$MP_{2,5}$ CONCENTRAÇÃO em $\mu\text{g}/\text{m}^3$
RMSP	18,60
RMRJ	23,16
RMBH	19,80
RMVI	14,94
RMPA	13,44
RMC	13,20

Fonte: Elaboração própria

Gráfico 24: Estimativas das concentrações médias anuais de $MP_{2,5}$ para cada RM



Fonte: Elaboração própria

Para apresentar os resultados, o primeiro passo foi calcular o impacto à saúde nas RMs, em termos de internações e mortes devido à poluição atmosférica por MP_{2,5}, seguindo os índices recomendados pela OMS. O cálculo se baseia nos valores da concentração do poluente MP_{2,5} que exceder os índices da OMS, a concentração anual de MP_{2,5}= 10 microgramas/m³ (WHO, 2006)

Assim, como exemplo em relação à RMSP, como a concentração ambiental é de MP_{2,5} de 18,6 microgramas/m³, há uma concentração excedente de 8,6 que causa o impacto calculado nessa situação potencial ambiental. Esse é o que se chamou de cenário basal, isto é, sobre o qual os demais serão comparados. Neste caso, as estimativas das internações e mortes observadas são atribuíveis à poluição pelo MP_{2,5} por todas e quaisquer que forem as suas fontes em toda a RM (**NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP_{2,5} - TODAS AS FONTES**).

Tabela 12: Concentração excedente que a ser usada para cálculo do impacto

CENÁRIO	REGIÃO METROPOLITANA	VARIÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO MP _{2,5} AMBIENTAL							
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Potencial ambiental	Vitória	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94
	Belo Horizonte	9,80	9,80	9,80	9,80	9,80	9,80	9,80	9,80
	Rio de Janeiro	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16
	São Paulo	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60
	Curitiba	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20
	Porto Alegre	3,44	3,44	3,44	3,44	3,44	3,44	3,44	3,44

Fonte: Elaboração própria

Além do cenário basal construído sobre a emissão total do MP_{2,5}, ou seja, de todas as fontes, também se calculou o impacto do uso do GNV dentro do cenário de poluição do MP_{2,5} devido à emissão do poluente por fonte diesel do transporte público – ônibus exclusivamente, ou seja, foram também calculadas as partes das concentrações de MP_{2,5} cabíveis à esta fonte em cada RM. Neste caso, as estimativas das internações e mortes observadas são atribuíveis à poluição pelo MP_{2,5} devido à fonte diesel do transporte público - ônibus (**NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP_{2,5} - FROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO – ÔNIBUS A DIESEL**).

Para ilustrar o impacto do uso do GNV causado pela emissão do poluente pela frota leve (comerciais leves e automóveis não diesel), foram também calculadas as partes das concentrações de $MP_{2,5}$ cabíveis à esta fonte em cada RM. Neste caso, as estimativas das internações e mortes observadas são atribuíveis à poluição pelo $MP_{2,5}$ devido à frota leve, constituída pelos comerciais leves e automóveis não diesel (motorização ciclo otto) que representam os veículos leves movidos pelos combustíveis, gasolina, etanol e flex (**NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR $MP_{2,5}$ - FROTA LEVE**).

Os cenários (Frota Ônibus e Frota leve) consideram uma redução da concentração ambiental com base nas intervenções propostas pela COMGÁS - havendo uma diminuição para cada um dos anos do estudo. São essas alterações da concentração do $MP_{2,5}$ que embasaram os cálculos dos respectivos impactos em saúde - as diminuições esperadas de internações e mortes, referidas como internações e mortes evitadas (**NÚMERO DE DESFECHOS EVITÁVEL PELA SUBSTITUIÇÃO do DIESEL em ÔNIBUS OU da GASOLINA ou ETANOL nos VEÍCULOS LEVES, POR GNV**)

Os cálculos das reduções da concentração do $MP_{2,5}$, a partir da variação da substituição do diesel – frota de ônibus, e da substituição da gasolina ou etanol – frota leve, pela matriz energética GNV, ano a ano, de cada RM, estão expostos abaixo:

Tabela 13: Reduções da concentração do MP_{2,5}, a partir da variação da substituição do diesel – frota de ônibus, e da substituição da gasolina ou etanol – frota leve, pela matriz energética GNV, ano a ano, de cada RM, para o cenário conservador

CENÁRIO	REGIÃO METROPOLITANA	VARIÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO MP _{2,5} PARA FROTA TRANSPORTE PÚBLICO A DIESEL							
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Proposto	Vitória	0,000	-0,016	-0,025	-0,033	-0,041	-0,038	-0,044	-0,050
	Belo Horizonte	0,000	-0,022	-0,033	-0,043	-0,054	-0,050	-0,058	-0,066
	Rio de Janeiro	0,000	-0,025	-0,038	-0,051	-0,064	-0,058	-0,068	-0,078
	São Paulo	0,000	-0,020	-0,031	-0,041	-0,051	-0,047	-0,055	-0,062
	Curitiba	0,000	-0,014	-0,022	-0,029	-0,036	-0,033	-0,039	-0,044
	Porto Alegre	0,000	-0,015	-0,022	-0,029	-0,037	-0,034	-0,039	-0,045
Potencial da Fonte	Vitória	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84
	Belo Horizonte	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43
	Rio de Janeiro	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85
	São Paulo	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29
	Curitiba	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62
	Porto Alegre	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
CENÁRIO	REGIÃO METROPOLITANA	VARIÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO MP _{2,5} PARA FROTA LEVE							
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Proposto	Vitória	-0,003	-0,003	-0,004	-0,004	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005
	Belo Horizonte	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001
	Rio de Janeiro	-0,004	-0,004	-0,007	-0,007	-0,011	-0,011	-0,014	-0,014
	São Paulo	-0,001	-0,001	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002
	Curitiba	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001
	Porto Alegre	-0,001	-0,001	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002
Potencial da Fonte	Vitória	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	Belo Horizonte	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
	Rio de Janeiro	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
	São Paulo	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
	Curitiba	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
	Porto Alegre	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23

Fonte: Elaboração própria

EPIDEMIOLOGICO E ECONÔMICO

O objetivo dessa seção é apresentar os resultados epidemiológicos, em termos de mortes gerais e internações públicas hospitalares e os custos respectivos, para cada RM.

O custo da mortalidade é calculado com base no número de anos de vida perdidos precocemente – o *YLL*.

O YLL calculado para todas as regiões metropolitanas foi 1.958.035 anos.

Para cada RM a seguir, serão apresentados os resultados inicialmente perante os Cenários (no caso da RMSP e RMRJ , serão apresentados dois cenários, conservador e otimista) da Frota Transporte Público – ônibus e, posteriormente, perante os Cenários da Frota Leve.

FROTA DIESEL - TRANSPORTE PÚBLICO - ÔNIBUS

Para cada RM a seguir, serão apresentados os resultados em saúde perante os Cenários da Frota Transporte Público – ônibus.

RM SÃO PAULO

Cenário conservador:

Na **Tabela 14** observa-se, para mortalidade e morbidade:

- Número de eventos atribuível à poluição por MP_{2,5} na RMSP - todas as fontes
- Número de eventos atribuível à poluição por MP_{2,5} na RMSP - frota de transporte público – ônibus a diesel
- Número de desfechos evitável pela substituição de diesel por GNV – para o cenário conservador

Na **Tabela 18** observa-se:

- Custos atribuíveis à poluição por MP_{2,5} na RMSP - todas as fontes
- Custos atribuíveis à poluição por MP_{2,5} na RMSP - frota de transporte público – ônibus a diesel
- Custos evitados pela substituição de diesel por GNV para o cenário conservador

Na RMSP, se a poluição do ar devido ao MP_{2,5} se mantivesse a mesma desde 2016, seriam contabilizadas, de 2018 até 2025, 51.367 mortes, que se referem a 6.421 mortes anuais na RMSP ou 18 mortes por dia. O custo do total das mortes é estimado, em perda de produtividade, em R\$ 22,3 bilhões. Deste montante, 13.928 mortes se deveriam às emissões de fonte diesel de transporte público – ônibus exclusivamente ou 1.741 mortes anuais ou 5 mortes ao dia na RMSP. Neste caso, o custo do total das mortes devido ao diesel de transporte público – ônibus é estimado, em perda de produtividade, em R\$ 6 bilhões. Considerando o cenário conservador proposto para substituição do diesel por GNV na frota de ônibus, haveria o benefício da redução de 240 mortes de 2018 a 2025 – mortes evitadas (ou vidas salvas) pelo uso do GNV (ou 30 mortes ao ano) que significam a produtividade salva em R\$ 103 milhões. Observa-se ainda o número de mortes evitadas a cada ano, e seus respectivos custos, que refletem o benefício da substituição pelo GNV e a projeção de aumento de mortes na população, a cada ano.

Na RMSP, se a poluição do ar devido ao MP_{2,5} se mantivesse a mesma desde 2016, seriam contabilizadas, de 2018 até 2025, 31.812 internações públicas, que se referem a 3.977 internações públicas anuais na RMSP ou 11 internações ao dia. O custo do total das internações públicas pelo SUS é estimado, em R\$ 58,7 milhões. Deste montante, 8.637 internações públicas se deveriam às emissões de fonte diesel de transporte público – ônibus exclusivamente ou 1.080 internações anuais ou 3 internações ao dia na RMSP. Neste caso, o custo do total das internações públicas pelo SUS devido ao diesel

de transporte público – ônibus é estimado em R\$ 16 milhões. Considerando o cenário conservador proposto para substituição do diesel por GNV na frota de ônibus, haveria o benefício da redução de 150 internações de 2018 a 2025 – evitadas pelo uso do GNV (ou 19 internações ao ano) que significam a economia em gastos públicos em saúde em R\$ 277 mil. Observa-se ainda o número de internações evitadas a cada ano, e seus respectivos custos, que refletem o benefício da substituição pelo GNV e a projeção de aumento de internações na população, a cada ano.

Tabela 14: Eventos em saúde – Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP_{2,5} proveniente de todas as fontes e da fonte diesel – ônibus de 2018 a 2025; a soma dos eventos evitados e os eventos evitados a cada ano - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição conservadora da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMSP.

SÃO PAULO											
FROTA DIESEL RMSP	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP_{2,5} NA RMSP - TODAS AS FONTES	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP_{2,5} NA RMSP - FROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO A DIESEL - ÔNIBUS	NÚMERO DE DESFECHOS EVITÁVEL PELA SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL POR GNV CENÁRIO CONSERVADOR								
DESFECHOS	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Mortalidade	51.367	13.928	-240	0	-14	-23	-31	-39	-37	-45	-51
Morbidade	31.812	8.637	-150	0	-8	-15	-19	-24	-23	-28	-33

Fonte: Elaboração própria

Tabela 15: Custos dos Eventos em Saúde - Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP de todas as fontes e da fonte diesel – ônibus de 2018 a 2025; o custo da soma dos eventos evitados e o custo dos eventos evitados a cada ano - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição conservadora da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMSP.

FROTA DIESEL RMSP	CUSTOS ATRIBUÍVEIS À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMSP -TODAS AS FONTES	CUSTOS ATRIBUÍVEIS À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMSP - FROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO DIESEL - ÔNIBUS	CUSTOS EVITADOS PELA SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL POR GNV CENÁRIO CONSERVADOR								
			CUSTOS	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL	2018	2019	2020	2021	2022
Mortalidade - Perda de produtividade	22.321.657.332	6.052.441.506	103.267.393	0	6.234.092	10.154.165	13.563.890	16.900.477	15.878.313	19.111.005	21.425.450
Morbidade - Gastos públicos em internações - SUS	58.781.259	15.959.189	277.166	0	14.782	27.717	35.108	44.346	42.499	51.738	60.976

Fonte: Elaboração própria

Cenário otimista

Na **Tabela 16** observa-se, para mortalidade e morbidade:

- Número de eventos atribuível à poluição por MP_{2,5} na RMSP - todas as fontes
- Número de eventos atribuível à poluição por MP_{2,5} na RMSP - frota de transporte público – ônibus a diesel
- Número de desfechos evitável pela substituição de diesel por GNV – no cenário otimista

Na **Tabela 17** observa-se:

- Custos atribuíveis à poluição por MP_{2,5} na RMSP - todas as fontes
- Custos atribuíveis à poluição por MP_{2,5} na RMSP - frota de transporte público – ônibus a diesel
- Custos evitados pela substituição de diesel por GNV no cenário otimista

Na RMSP, se a poluição do ar devido ao MP_{2,5} se mantivesse a mesma desde 2016, seriam contabilizadas, de 2018 até 2025, 51.367 mortes, que se referem a 6.421 mortes anuais na RMSP ou 18 mortes por dia. O custo do total das mortes é estimado, em perda de produtividade, em R\$ 22,3 bilhões. Deste montante, 13.928 mortes se deveriam às emissões de fonte diesel de transporte público – ônibus exclusivamente ou 1.741 mortes anuais ou 5 mortes ao dia na RMSP. Neste caso, o custo do total das mortes devido ao diesel de transporte público – ônibus é estimado, em perda de produtividade, em R\$ 6 bilhões. Considerando o cenário otimista proposto para substituição do diesel por GNV na frota de ônibus, haveria o benefício da redução de 5.688 mortes de 2018 a 2025 – mortes evitadas (ou vidas salvas) pelo uso do GNV (ou a média de 711 mortes ao ano) que significam a produtividade salva em quase R\$ 2,5 bilhões.

Na RMSP, se a poluição do ar devido ao MP_{2,5} se mantivesse a mesma desde 2016, seriam contabilizadas, de 2018 até 2025, 31.812 internações públicas, que se referem a 3.977 internações públicas anuais na RMSP ou 11 internações ao dia. O custo do total das internações públicas pelo SUS é

estimado, em R\$ 58,7 milhões. Deste montante, 8.637 internações públicas se deveriam às emissões de fonte diesel de transporte público – ônibus exclusivamente ou 1.080 internações anuais ou 3 internações ao dia na RMSP. Neste caso, o custo do total das internações públicas pelo SUS devido ao diesel de transporte público – ônibus é estimado em R\$ 16 milhões. Considerando o cenário otimista proposto para substituição do diesel por GNV na frota de ônibus, haveria o benefício da redução de 3.525 internações de 2018 a 2025 –evitadas pelo uso do GNV (ou a média de 441 internações ao ano) que significam a economia em gastos públicos em saúde em R\$ 6,5 milhões.

Tabela 16: Eventos em saúde – Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP_{2,5} proveniente de todas as fontes e da fonte diesel – ônibus de 2018 a 2025; a soma dos eventos evitados e a média ao ano- Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição otimista da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMSP.

SÃO PAULO				
FROTA DIESEL RMSP	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMSP - TODAS AS FONTES	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMSP - FROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO A DIESEL	CENÁRIO otimista de 50% - NÚMERO DE DESFECHOS EVITÁVEL PELA SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL POR GNV	
DESFECHOS	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL	ano
Mortalidade	51.367	13.928	-5.688	-711
Morbidade	31.812	8.637	-3.525	-441

Fonte: Elaboração própria

Tabela 17: Custos dos Eventos em Saúde - Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP de todas as fontes e da fonte diesel – ônibus de 2018 a 2025; o custo da soma dos eventos evitados e o custo médio anual dos eventos evitados - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição otimista da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMSP.

FROTA DIESEL RMSP	CUSTOS ATRIBUÍVEIS À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMSP -TODAS AS FONTES	CUSTOS ATRIBUÍVEIS À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMSP - FROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO DIESEL	CENÁRIO otimista de 50% - CUSTOS EVITADOS PELA SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL POR GNV	
			TOTAL	ano
CUSTOS	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL	ano
Mortalidade - Perda de produtividade	22.321.657.332	6.052.441.506	2.477.680.949	309.710.119
Morbidade - Gastos públicos em internações - SUS	58.781.259	15.959.189	6.513.389	814.174

Fonte: Elaboração própria

RM RIO DE JANEIRO

Cenário conservador:

Na **Tabela 18** observa-se, para mortalidade e morbidade:

- Número de eventos atribuível à poluição por MP_{2,5} na RMRJ - todas as fontes
- Número de eventos atribuível à poluição por MP_{2,5} na RMRJ - frota de transporte público – ônibus a diesel
- Número de desfechos evitável pela substituição de diesel por GNV no cenário conservador

Na **Tabela 19** observa-se:

- Custos atribuíveis à poluição por MP_{2,5} na RMRJ - todas as fontes
- Custos atribuíveis à poluição por MP_{2,5} na RMRJ - frota de transporte público – ônibus a diesel
- Custos evitados pela substituição de diesel por GNV no cenário conservador

Na RMRJ, se a poluição do ar devido ao MP_{2,5} se mantivesse a mesma desde 2016, seriam contabilizadas, de 2018 até 2025, 54.580 mortes, que se referem a 6.823 mortes anuais na RMRJ ou 19 mortes por dia. O custo do total das mortes é estimado, em perda de produtividade, em R\$ 21,6 bilhões. Deste montante, 12.179 mortes se deveriam às emissões de fonte diesel de transporte público – ônibus exclusivamente ou 1.522 mortes anuais ou 4 mortes ao dia na RMRJ. Neste caso, o custo do total das mortes devido ao diesel de transporte público – ônibus é estimado, em perda de produtividade, em R\$ 4,8 bilhões. Considerando o cenário proposto para substituição do diesel por GNV na frota de ônibus, haveria o benefício da redução de 209 mortes de 2018 a 2025 – mortes evitadas (ou vidas salvas) pelo uso do GNV (ou 26 mortes ao ano) que significam a produtividade salva em R\$ 81 milhões. Observa-se ainda o número

de mortes evitadas a cada ano, e seus respectivos custos, que refletem o benefício da substituição pelo GNV e a projeção de aumento de mortes na população, a cada ano.

Na RMRJ, se a poluição do ar devido ao $MP_{2,5}$ se mantivesse a mesma desde 2016, seriam contabilizadas, de 2018 até 2025, 19.294 internações públicas, que se referem a 2.412 internações públicas anuais na RMRJ ou 7 internações ao dia. O custo do total das internações públicas pelo SUS é estimado, em R\$ 25,7 milhões. Deste montante, 4.310 internações públicas se deveriam às emissões de fonte diesel de transporte público – ônibus exclusivamente ou 539 internações anuais ou 1.5 internações ao dia na RMRJ. Neste caso, o custo do total das internações públicas pelo SUS devido ao diesel de transporte público – ônibus é estimado em R\$ 5,7 milhões. Considerando o cenário proposto para substituição do diesel por GNV na frota de ônibus, haveria o benefício da redução de 71 internações de 2018 a 2025 –evitadas pelo uso do GNV (ou 9 internações ao ano) que significam a economia em gastos públicos em saúde em R\$ 94,8 mil. Observa-se ainda o número de internações evitadas a cada ano, e seus respectivos custos, que refletem o benefício da substituição pelo GNV e a projeção de aumento de internações na população, a cada ano.

Tabela 18: Eventos em saúde – Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP proveniente de todas as fontes e da fonte diesel – ônibus de 2018 a 2025; a soma dos eventos evitados e os eventos evitados a cada ano - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição conservadora da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMRJ.

RIO DE JANEIRO											
FROTA DIESEL RMRJ	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMRJ - TODAS AS FONTES	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMRJ - FROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO A DIESEL - ÔNIBUS	NÚMERO DE DESFECHOS EVITÁVEL PELA SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL POR GNV								
DESFECHOS	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Mortalidade	54.580	12.179	-209	0	-13	-20	-27	-35	-32	-38	-44
Morbidade	19.294	4.310	-71	0	-3	-5	-10	-12	-11	-14	-16

Fonte: Elaboração própria

Tabela 19: Custos dos Eventos em Saúde - Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP de todas as fontes e da fonte diesel – ônibus de 2018 a 2025; o custo da soma dos eventos evitados e o custo dos eventos evitados a cada ano - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição conservadora da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMRJ.

FROTA DIESEL RMRJ	CUSTOS ATRIBUÍVEIS À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMRJ- TODAS AS FONTES	CUSTOS ATRIBUÍVEIS À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMRJ - FROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO A DIESEL - ÔNIBUS	CUSTOS EVITADOS PELA SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL POR GNV								
			CUSTOS	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL	2018	2019	2020	2021	2022
Mortalidade - Perda de produtividade	21.602.556.493	4.820.400.553	81.994.065	0	5.254.974	8.025.453	10.749.838	13.814.396	12.521.120	14.731.350	16.896.933
Morbidade - Gastos públicos em internações - SUS	25.756.139	5.753.548	94.780	0	4.005	6.675	13.349	16.019	14.684	18.689	21.359

Fonte: Elaboração própria

Cenário otimista:

Na **Tabela 20** observa-se, para mortalidade e morbidade:

- Número de eventos atribuível à poluição por MP_{2,5} na RMRJ - todas as fontes
- Número de eventos atribuível à poluição por MP_{2,5} na RMRJ - frota de transporte público – ônibus a diesel
- Número de desfechos evitável pela substituição de diesel por GNV – no cenário otimista

Na **Tabela 21** observa-se:

- Custos atribuíveis à poluição por MP_{2,5} na RMRJ - todas as fontes
- Custos atribuíveis à poluição por MP_{2,5} na RMRJ - frota de transporte público – ônibus a diesel
- Custos evitados pela substituição de diesel por GNV no cenário otimista

Na RMRJ, se a poluição do ar devido ao MP_{2,5} se mantivesse a mesma desde 2016, seriam contabilizadas, de 2018 até 2025, 54.580 mortes, que se referem a 6.823 mortes anuais na RMRJ ou 19 mortes por dia. O custo do total das mortes é estimado, em perda de produtividade, em R\$ 21,6 bilhões. Deste montante, 12.179 mortes se deveriam às emissões de fonte diesel de transporte público – ônibus exclusivamente ou 1.522 mortes anuais ou 4 mortes ao dia na RMRJ. Neste caso, o custo do total das mortes devido ao diesel de transporte público – ônibus é estimado, em perda de produtividade, em R\$ 4,8 bilhões. Considerando o cenário otimista proposto para substituição do diesel por GNV na frota de ônibus, haveria o benefício da redução de 4.991 mortes de 2018 a 2025 – mortes evitadas (ou vidas salvas) pelo uso do GNV (ou a média de 624 mortes ao ano) que significam a produtividade salva em quase R\$ 2 bilhões.

Na RMRJ, se a poluição do ar devido ao MP_{2,5} se mantivesse a mesma desde 2016, seriam contabilizadas, de 2018 até 2025, 19.294 internações públicas, que se referem a 2.412 internações públicas anuais na RMRJ ou 7

internações ao dia. O custo do total das internações públicas pelo SUS é estimado, em R\$ 25,7 milhões. Deste montante, 4.310 internações públicas se deveriam às emissões de fonte diesel de transporte público – ônibus exclusivamente ou 539 internações anuais ou 1.5 internações ao dia na RMRJ. Neste caso, o custo do total das internações públicas pelo SUS devido ao diesel de transporte público – ônibus é estimado em R\$ 5,7 milhões. Considerando o cenário otimista proposto para substituição do diesel por GNV na frota de ônibus, haveria o benefício da redução de 1.759 internações de 2018 a 2025 –evitadas pelo uso do GNV (ou a média de 220 internações ao ano) que significam a economia em gastos públicos em saúde em R\$ 2,3 milhões.

Tabela 20: Eventos em saúde – Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP_{2,5} proveniente de todas as fontes e da fonte diesel – ônibus de 2018 a 2025; a soma dos eventos evitados e a média ao ano- Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição otimista da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMRJ.

FROTA DIESEL RMRJ	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMRJ - TODAS AS FONTES	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMRJ - FROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO A DIESEL	CENÁRIO DE 50% - NÚMERO DE DESFECHOS EVITÁVEL PELA SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL POR GNV	
DESFECHOS	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL	ano
Mortalidade	54.580	12.179	-4.991	-624
Morbidade	19.294	4.310	-1.759	-220

Fonte: Elaboração própria

Tabela 21: Custos dos Eventos em Saúde - Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP de todas as fontes e da fonte diesel – ônibus de 2018 a 2025; o custo da soma dos eventos evitados e o custo médio anual dos eventos evitados - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição otimista da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMRJ.

FROTA DIESEL RMRJ	CUSTOS ATRIBUÍVEIS À POLUIÇÃO POR MP2,5 NA RMRJ- TODAS AS FONTES	CUSTOS ATRIBUÍVEIS À POLUIÇÃO POR MP2,5 NA RMRJ - FROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO A DIESEL	CENÁRIO DE 50% - CUSTOS EVITADOS PELA SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL POR GNV	
CUSTOS	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL	ano
Mortalidade - Perda de produtividade	21.602.556.493	4.820.400.553	1.979.610.371	247.451.296
Morbidade - Gastos públicos em internações - SUS	25.756.139	5.753.548	2.348.142	293.518

Fonte: Elaboração própria

Para as demais RMs foram apenas analisados os cenários conservadores:

RM BELO HORIZONTE

Cenário conservador:

Na **Tabela 22** observa-se, para mortalidade e morbidade:

- Número de eventos atribuível à poluição por MP_{2,5} na RMBH - todas as fontes
- Número de eventos atribuível à poluição por MP_{2,5} na RMBH - frota de transporte público a diesel – ônibus
- Número de desfechos evitável pela substituição de diesel por GNV

Na **Tabela 28** observa-se:

- Custos atribuíveis à poluição por MP_{2,5} na RMBH - todas as fontes
- Custos atribuíveis à poluição por MP_{2,5} na RMBH - frota de transporte público a diesel – ônibus
- Custos evitados pela substituição de diesel por GNV

Na RMBH, se a poluição do ar devido ao MP_{2,5} se mantivesse a mesma desde 2016, seriam contabilizadas, de 2018 até 2025, 12.175 mortes, que se referem a 1.522 mortes anuais na RMBH ou 4 mortes por dia. O custo do total das mortes é estimado, em perda de produtividade, em R\$ 4,37 bilhões. Deste montante, 3.085 mortes se deveriam às emissões de fonte diesel de transporte público – ônibus exclusivamente ou 385 mortes anuais ou 1 morte ao dia na RMBH. Neste caso, o custo do total das mortes devido ao diesel de transporte público – ônibus é estimado, em perda de produtividade, em R\$ 1,1 bilhão. Considerando o cenário proposto para substituição do diesel por GNV na frota de ônibus, haveria o benefício da redução de 53 mortes de 2018 a 2025 – mortes evitadas (ou vidas salvas) pelo uso do GNV (ou 7 mortes ao ano) que significam

a produtividade salva em R\$ 18,9 milhões. Observa-se ainda o número de mortes evitadas a cada ano, e seus respectivos custos, que refletem o benefício da substituição do GNV e a projeção de aumento de mortes na população, a cada ano.

Na RMBH, se a poluição do ar devido ao $MP_{2,5}$ se mantivesse a mesma desde 2016, seriam contabilizadas, de 2018 até 2025, 8.942 internações públicas, que se referem a 1.118 internações públicas anuais na RMBH ou 3 internações ao dia. O custo do total das internações públicas pelo SUS é estimado, em R\$ 21,1 milhões. Deste montante, 3.085 internações públicas se deveriam às emissões de fonte diesel de transporte público – ônibus exclusivamente ou 386 internações anuais ou 1 internação ao dia na RMBH. Neste caso, o custo do total das internações públicas pelo SUS devido ao diesel de transporte público – ônibus é estimado em R\$ 5,3 milhões. Considerando o cenário proposto para substituição do diesel por GNV na frota de ônibus, haveria o benefício da redução de 32 internações de 2018 a 2025 –evitadas pelo uso do GNV (ou 4 internações ao ano) que significam a economia em gastos públicos em saúde em R\$ 75,6 mil. Observa-se ainda o número de internações evitadas a cada ano, e seus respectivos custos, que refletem o benefício da substituição do GNV e a projeção de aumento de internações na população, a cada ano.

Tabela 22: Eventos em saúde – Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP proveniente de todas as fontes e da fonte diesel – ônibus de 2018 a 2025; a soma dos eventos evitados e os eventos evitados a cada ano - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMBH.

BELO HORIZONTE											
FROTA DIESEL RMBH	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMBH - TODAS AS FONTES	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMBH - FROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO A DIESEL - ÔNIBUS	NÚMERO DE DESFECHOS EVITÁVEL PELA SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL POR GNV								
DESFECHOS	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Mortalidade	12.175	3.085	-53	0	-3	-5	-7	-9	-8	-10	-11
Morbidade	8.942	2.273	-32	0	-2	-3	-3	-4	-4	-7	-9

Fonte: Elaboração própria

Tabela 23: Custos dos Eventos em Saúde - Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP de todas as fontes e da fonte diesel – ônibus de 2018 a 2025; o custo da soma dos eventos evitados e o custo dos eventos evitados a cada ano - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMBH.

FROTA DIESEL RMBH	CUSTOS ATRIBUÍVEIS À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMBH- TODAS AS FONTES	CUSTOS ATRIBUÍVEIS À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMBH - FROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO A DIESEL - ÔNIBUS	CUSTOS EVITADOS PELA SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL POR GNV								
			CUSTOS	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL	2018	2019	2020	2021	2022
Mortalidade - Perda de produtividade	4.376.211.484	1.108.879.286	18.890.802	0	1.100.989	1.821.778	2.530.805	3.227.850	2.843.901	3.524.429	3.841.052
Morbidade - Gastos públicos em internações - SUS	21.151.317	5.376.531	75.692	0	4.731	7.096	7.096	9.462	9.462	16.558	21.289

Fonte: Elaboração própria

RM VITÓRIA

Cenário conservador:

Na **Tabela 24** observa-se, para mortalidade e morbidade:

- Número de eventos atribuível à poluição por MP_{2,5} na RMVI - todas as fontes
- Número de eventos atribuível à poluição por MP_{2,5} na RMVI - frota de transporte público a diesel – ônibus
- Número de desfechos evitável pela substituição de diesel por GNV

Na **Tabela 30** observa-se:

- Custos atribuíveis à poluição por MP_{2,5} na RMVI - todas as fontes
- Custos atribuíveis à poluição por MP_{2,5} na RMVI - frota de transporte público a diesel – ônibus
- Custos evitados pela substituição de diesel por GNV

Na RMVI, se a poluição do ar devido ao MP_{2,5} se mantivesse a mesma desde 2016, seriam contabilizadas, de 2018 até 2025, 2.236 mortes, que se referem a 279 mortes anuais na RMVI. O custo do total das mortes é estimado, em perda de produtividade, em R\$ 711,7 Milhões. Deste montante, 840 mortes se deveriam às emissões de fonte diesel de transporte público – ônibus exclusivamente ou 174 mortes anuais na RMVI. Neste caso, o custo do total das mortes devido a fonte diesel de transporte público – ônibus é estimado, em perda de produtividade, em R\$ 267,4 Milhões. Considerando o cenário proposto para substituição do diesel por GNV na frota de ônibus, haveria o benefício da redução de 14 mortes de 2018 a 2025 – mortes evitadas (ou vidas salvas) pelo uso do GNV, que significam a produtividade salva em R\$ 4,4 milhões. Observa-se ainda o número de mortes evitadas a cada ano, e seus respectivos custos, que refletem

o benefício da substituição pelo GNV e a projeção de aumento de mortes na população, a cada ano.

Na RMVI, se a poluição do ar devido ao $MP_{2,5}$ se mantivesse a mesma desde 2016, seriam contabilizadas, de 2018 até 2025, 1.477 internações públicas, que se referem a 185 internações públicas anuais na RMVI. O custo do total das internações públicas pelo SUS é estimado, em R\$ 3,08 milhões. Deste montante, 557 internações públicas se deveriam às emissões de fonte diesel de transporte público – ônibus exclusivamente ou 1,5 internações anuais na RMVI. Neste caso, o custo do total das internações públicas pelo SUS devido ao diesel de transporte público – ônibus é estimado em R\$ 1,16 milhão. Considerando o cenário proposto para substituição do diesel por GNV na frota de ônibus, haveria o benefício da redução de 4 internações de 2018 a 2025 –evitadas pelo uso do GNV que significam a economia em gastos públicos em saúde em R\$ 8.361 mil. Observa-se ainda o número de internações evitadas a cada ano, e seus respectivos custos, que refletem o benefício da substituição pelo GNV e a projeção de aumento de internações na população, a cada ano.

Tabela 24: Eventos em saúde – Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP_{2,5} proveniente de todas as fontes e da Fonte Diesel – ônibus de 2018 a 2025; a soma dos eventos evitados e os eventos evitados a cada ano - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMVI.

VITÓRIA											
FROTA DIESEL RMVI	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMVI - TODAS AS FONTES	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMVI - FROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO A DIESEL - ÔNIBUS	NÚMERO DE DESFECHOS EVITÁVEL PELA SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL POR GNV								
DESFECHOS	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Mortalidade	2.236	840	-14	0	-1	-1	-2	-2	-2	-3	-3
Morbidade	1.477	557	-4	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1

Fonte: Elaboração própria

Tabela 25: Custos dos Eventos em Saúde - Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP de todas as fontes e da Fonte Diesel – ônibus de 2018 a 2025; o custo da soma dos eventos evitados e o custo dos eventos evitados a cada ano - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMVI

FROTA DIESEL RMVI	CUSTOS ATRIBUÍVEIS À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMVI- TODAS AS FONTES	CUSTOS ATRIBUÍVEIS À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMVI - FROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO A DIESEL - ÔNIBUS	CUSTOS EVITADOS PELA SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL POR GNV								
			CUSTOS	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL	2018	2019	2020	2021	2022
Mortalidade - Perda de produtividade	711.797.671	267.407.987	4.405.316	0	327.260	324.237	641.495	634.661	627.600	930.541	919.521
Morbidade - Gastos públicos em internações - SUS	3.087.388	1.164.303	8.361	0	0	0	0	2.090	2.090	2.090	2.090

Fonte: Elaboração própria

RM CURITIBA

Cenário conservador:

Na **Tabela 26** observa-se, para mortalidade e morbidade:

- Número de eventos atribuível à poluição por MP_{2,5} na RMC - todas as fontes
- Número de eventos atribuível à poluição por MP_{2,5} na RMC - frota de transporte público a diesel – ônibus
- Número de desfechos evitável pela substituição de diesel por GNV

Na **Tabela 27** observa-se:

- Custos atribuíveis à poluição por MP_{2,5} na RC - todas as fontes
- Custos atribuíveis à poluição por MP_{2,5} na RMC - frota de transporte público a diesel – ônibus
- Custos evitados pela substituição de diesel por GNV

Na RMC, se a poluição do ar devido ao MP_{2,5} se mantivesse a mesma desde 2016, seriam contabilizadas, de 2018 até 2025, 2.818 mortes, que se referem a 352 mortes anuais ou 1 morte ao dia na RMC. O custo do total das mortes é estimado, em perda de produtividade, em R\$1,2 bilhão. Deste montante, 1.432 mortes se deveriam às emissões de fonte diesel de transporte público – ônibus exclusivamente ou 179 mortes anuais na RMC. Neste caso, o custo do total das mortes devido ao diesel de transporte público – ônibus é estimado, em perda de produtividade, em R\$611,5 Milhões. Considerando o cenário proposto para substituição do diesel por GNV na frota de ônibus, haveria o benefício da redução de 24 mortes de 2018 a 2025 – mortes evitadas (ou vidas salvas) pelo uso do GNV, que significam a produtividade salva em R\$ 10 milhões. Observa-se ainda o número de mortes evitadas a cada ano, e seus

respectivos custos, que refletem o benefício da substituição pelo GNV e a projeção de aumento de mortes na população, a cada ano.

Na RMC, se a poluição do ar devido ao MP_{2,5} se mantivesse a mesma desde 2016, seriam contabilizadas, de 2018 até 2025, 2.467 internações públicas, que se referem a 308 internações públicas anuais na RMC. O custo do total das internações públicas pelo SUS é estimado, em R\$ 7,7 milhões. Deste montante, 1.432 internações públicas se deveriam às emissões de fonte diesel de transporte público – ônibus exclusivamente ou 179 internações anuais na RMC. Neste caso, o custo do total das internações públicas pelo SUS devido ao diesel de transporte público – ônibus é estimado em R\$ 3,9 milhões. Considerando o cenário proposto para substituição do diesel por GNV na frota de ônibus, haveria o benefício da redução de 12 internações de 2018 a 2025 – evitadas pelo uso do GNV que significam a economia em gastos públicos em saúde em R\$ 37,5 mil. Observa-se ainda o número de internações evitadas a cada ano, e seus respectivos custos, que refletem o benefício da substituição pelo GNV e a projeção de aumento de internações na população, a cada ano.

Tabela 26: Eventos em saúde – Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP proveniente de todas as fontes e da fonte diesel – ônibus de 2018 a 2025; a soma dos eventos evitados e os eventos evitados a cada ano - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMC.

CURITIBA											
FROTA DIESEL RMC	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMC - TODAS AS FONTES	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMC - FROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO A DIESEL - ÔNIBUS	NÚMERO DE DESFECHOS EVITÁVEL PELA SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL POR GNV								
DESFECHOS	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Mortalidade	2.818	1.432	-24	0	-1	-2	-3	-4	-4	-5	-5
Morbidade	2.467	1.257	-12	0	-1	-1	-1	-2	-1	-2	-4

Fonte: Elaboração própria

Tabela 27: Custos dos Eventos em Saúde - Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP de todas as fontes e da Fonte Diesel – ônibus de 2018 a 2025; o custo da soma dos eventos evitados e o custo dos eventos evitados a cada ano - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMC.

FROTA DIESEL RMC	CUSTOS ATRIBUÍVEIS À POLUIÇÃO POR MP _{2.5} NA RMC-TODAS AS FONTES	CUSTOS ATRIBUÍVEIS À POLUIÇÃO POR MP _{2.5} NA RMC - FROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO A DIESEL - ÔNIBUS	CUSTOS EVITADOS PELA SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL POR GNV								
			CUSTOS	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL	2018	2019	2020	2021	2022
Mortalidade - Perda de produtividade	1.203.446.495	611.545.915	10.156.856	0	435.586	865.194	1.288.783	1.705.128	1.690.468	2.094.906	2.076.792
Morbidade - Gastos públicos em internações - SUS	7.719.983	3.933.530	37.552	0	3.129	3.129	3.129	6.259	3.129	6.259	12.517

Fonte: Elaboração própria

RM PORTO ALEGRE

Cenário conservador:

Na **Tabela 28** observa-se, para mortalidade e morbidade:

- Número de eventos atribuível à poluição por MP_{2,5} na RMPA - todas as fontes
- Número de eventos atribuível à poluição por MP_{2,5} na RMPA - frota de transporte público a diesel – ônibus
- Número de desfechos evitável pela substituição de diesel por GNV

Na **Tabela 29** observa-se:

- Custos atribuíveis à poluição por MP_{2,5} na RMPA - todas as fontes
- Custos atribuíveis à poluição por MP_{2,5} na RMPA - frota de transporte público a diesel – ônibus
- Custos evitados pela substituição de diesel por GNV

Na RMPA, se a poluição do ar devido ao MP_{2,5} se mantivesse a mesma desde 2016, seriam contabilizadas, de 2018 até 2025, 4.746 mortes, que se referem a 593 mortes anuais ou 1,6 mortes ao dia na RMPA. O custo do total das mortes é estimado, em perda de produtividade, em R\$ 1,64 bilhão. Deste montante, 2.287 mortes se deveriam às emissões de fonte diesel de transporte público – ônibus exclusivamente ou 286 mortes anuais na RMPA. Neste caso, o custo do total das mortes devido ao diesel de transporte público – ônibus é estimado, em perda de produtividade, em R\$ 790,9 Milhões. Considerando o cenário proposto para substituição do diesel por GNV na frota de ônibus, haveria o benefício da redução de 38 mortes de 2018 a 2025 – mortes evitadas (ou vidas salvas) pelo uso do GNV, que significam a produtividade salva em R\$ 13 milhões. Observa-se ainda o número de mortes evitadas a cada ano, e seus

respectivos custos, que refletem o benefício da substituição pelo GNV e a projeção de aumento de mortes na população, a cada ano.

Na RMPA, se a poluição do ar devido ao MP_{2,5} se mantivesse a mesma desde 2016, seriam contabilizadas, de 2018 até 2025, 5.403 internações públicas, que se referem a 675 internações públicas anuais ou 1,8 internações ao dia na RMPA. O custo do total das internações públicas pelo SUS é estimado, em R\$ 10,4 milhões. Deste montante, 2.604 internações públicas se deveriam às emissões de fonte diesel de transporte público – ônibus exclusivamente ou 325 internações anuais na RMPA. Neste caso, o custo do total das internações públicas pelo SUS devido ao diesel de transporte público – ônibus é estimado em R\$ 5 milhões. Considerando o cenário proposto para substituição do diesel por GNV na frota de ônibus, haveria o benefício da redução de 41 internações de 2018 a 2025 –evitadas pelo uso do GNV que significam a economia em gastos públicos em saúde em R\$ 79,4 mil. Observa-se ainda o número de internações evitadas a cada ano, e seus respectivos custos, que refletem o benefício da substituição pelo GNV e a projeção de aumento de internações na população, a cada ano.

Tabela 28: Eventos em saúde – Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP proveniente de todas as fontes e da fonte diesel – ônibus de 2018 a 2025; a soma dos eventos evitados e os eventos evitados a cada ano - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção de substituição da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMPA.

PORTO ALEGRE											
FROTA DIESEL RMPA	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMPA - TODAS AS FONTES	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMPA - FROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO A DIESEL - ÔNIBUS	NÚMERO DE DESFECHOS EVITÁVEL PELA SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL POR GNV								
DESFECHOS	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Mortalidade	4.743	2.287	-38	0	-2	-4	-5	-6	-6	-7	-8
Morbidade	5.403	2.604	-41	0	-2	-3	-4	-7	-6	-9	-10

Fonte: Elaboração própria

Tabela 29: Custos dos Eventos em Saúde - Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP de todas as fontes e da Fonte Diesel – ônibus de 2018 a 2025; o custo da soma dos eventos evitados e o custo dos eventos evitados a cada ano - Mortalidade e Morbidade, devido ao benefício da intervenção da substituição da matriz de energia na frota de transporte público – ônibus pelo GNV na RMPA.

FROTA DIESEL RMPA	CUSTOS ATRIBUÍVEIS À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMPA- TODAS AS FONTES	CUSTOS ATRIBUÍVEIS À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMPA - FROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO A DIESEL - ÔNIBUS	CUSTOS EVITADOS PELA SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL POR GNV								
			CUSTOS	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL	2018	2019	2020	2021	2022
Mortalidade - Perda de produtividade	1.640.365.715	790.967.122	13.017.095	0	708.091	1.404.413	1.740.341	2.068.638	2.049.056	2.367.281	2.679.276
Morbidade - Gastos públicos em internações - SUS	10.476.201	5.049.052	79.497	0	3.878	5.817	7.756	13.573	11.634	17.451	19.390

Fonte: Elaboração própria

RESULTADOS DA SOMA DAS 6 RMs

Cenário conservador para todas as RMs:

Na **Tabela 30** observa-se, para mortalidade e morbidade:

Desfechos de Mortalidade e Morbidade e seus custos de cada RM separadamente e o total pela sua soma atribuível, no cenário conservador:

- à poluição por MP_{2,5} por todas as fontes,
- à poluição por MP_{2,5} emitida pela frota de transporte público a diesel – ônibus.

Desfechos evitáveis (primeira parte) e seus custos (segunda parte) de cada RM separadamente e a sua soma, devido ao benefício da intervenção de substituição do diesel na frota de transporte público – ônibus pelo GNV, no cenário conservador:

Somando-se os resultados de todas as seis RMs, se a poluição do ar devido ao MP_{2,5} se mantivesse a mesma desde 2016, seriam contabilizadas, de 2018 até 2025, 127.919 mortes, que se referem a 15.989 mortes anuais ou 44 mortes ao dia. O custo do total das mortes é estimado, em perda de produtividade, em R\$ 51,5 bilhões. Deste montante, 33.751 mortes se deveriam às emissões de fonte diesel de transporte público – ônibus exclusivamente ou 4.219 mortes anuais ou 11 mortes ao dia, nas seis RMs. Neste caso, o custo do total das mortes devido ao diesel de transporte público – ônibus é estimado, em perda de produtividade, em R\$ 13,6 bilhões. Considerando o cenário conservador proposto para substituição do diesel por GNV na frota de ônibus, haveria o benefício da redução de 578 mortes de 2018 a 2025 – mortes evitadas (ou vidas salvas) pelo uso do GNV, que significam a produtividade salva em R\$ 231,7 milhões. Observa-se ainda o número de mortes evitadas por RM e seus respectivos custos, que refletem o benefício da substituição pelo GNV.

Somando-se os resultados de todas as seis RMs, se a poluição do ar devido ao MP_{2,5} se mantivesse a mesma desde 2016, seriam contabilizadas, de 2018 até 2025, 69.395 internações públicas, que se referem a 8.674 internações públicas anuais ou 24 internações ao dia nas seis RMs. O custo do total das internações públicas pelo SUS é estimado, em R\$126,9 milhões. Deste montante, 19.638 internações públicas se deveriam às emissões de fonte diesel de transporte público – ônibus exclusivamente ou 2.455 internações anuais ou 7 ao dia nas seis RMs. Neste caso, o custo do total das internações públicas pelo SUS devido ao diesel de transporte público – ônibus é estimado em R\$ 37,2 milhões. Considerando o cenário conservador proposto para substituição do diesel por GNV na frota de ônibus, haveria o benefício da redução de 310 internações de 2018 a 2025 –evitadas pelo uso do GNV que significam a economia em gastos públicos em saúde em R\$ 573 mil. Observa-se ainda o número de internações evitadas por RM, e seus respectivos custos, que refletem o benefício da substituição pelo GNV.

Tabela 30: Eventos em Saúde - Mortalidade e Morbidade e seus custos de cada RM separadamente e o total pela sua soma devido à poluição por MP de todas as fontes e da Fonte Diesel, bem como os eventos evitados e seus custos de cada RM separadamente e a sua soma, devido ao benefício da intervenção conservadora de substituição do diesel na frota de transporte público – ônibus pelo GNV.

CENÁRIO FROTA DIESEL - ÔNIBUS	MORTALIDADE 2018-2025							MORBIDADE 2018-2025						
	TOTAL 2018 a 2025	SP	RJ	BH	VI	Curitiba	POA	TOTAL 2018 a 2025	SP	RJ	BH	VI	Curitiba	POA
DESFECHOS														
NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL AO MP _{2,5} EM TODAS AS RMs	127.919	51.367	54.580	12.175	2.236	2.818	4.743	69.395	31.812	19.294	8.942	1.477	2.467	5.403
NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À FROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO A DIESEL - ÔNIBUS EM TODAS AS RMs	33.751	13.928	12.179	3.085	840	1.432	2.287	19.638	8.637	4.310	2.273	557	1.257	2.604
NÚMERO DE DESFECHOS EVITÁVEL AO CENÁRIO PROPOSTO DE SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL - ÔNIBUS - POR GNV	-578	-240	-209	-53	-14	-24	-38	-310	-150	-71	-32	-4	-12	-41
CUSTOS														
CUSTOS DOS EVENTOS ATRIBUÍVEIS AO MP _{2,5} EM TODAS AS RMs	51.856.035.188	22.321.657.332	21.602.556.493	4.376.211.484	711.797.671	1.203.446.495	1.640.365.715	126.972.288	58.781.259	25.756.139	21.151.317	3.087.388	7.719.983	10.476.201
CUSTO DOS EVENTOS ATRIBUÍVEIS À FROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO A DIESEL - ÔNIBUS EM TODAS AS RMs	13.651.642.369	6.052.441.506	4.820.400.553	1.108.879.286	267.407.987	611.545.915	790.967.122	37.236.154	15.959.189	5.753.548	21.151.317	1.164.303	3.933.530	5.049.052
CUSTO DOS DESFECHOS EVITÁVEIS AO CENÁRIO PROPOSTO DE SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL - ÔNIBUS - POR GNV	231.731.526	103.267.393	81.994.065	18.890.802	4.405.316	10.156.856	13.017.095	573.048	277.166	94.780	75.692	8.361	37.552	79.497

Fonte: Elaboração própria

Cenário otimista:

Para a soma das RMSP e RMRJ:

Nas tabelas a seguir, observa-se:

Desfechos de Mortalidade e Morbidade (Tabela 31) e seus custos (Tabela 32) somados das duas RMSP e RMRJ, no cenário otimista:

- à poluição por MP_{2,5} por todas as fontes,
- à poluição por MP_{2,5} emitida pela frota de transporte público a diesel – ônibus.
- Desfechos evitáveis e seus custos devido ao benefício da intervenção de substituição do diesel na frota de transporte público – ônibus pelo GNV

Somando-se os resultados das duas RMs, se a poluição do ar devido ao MP_{2,5} se mantivesse a mesma desde 2016, seriam contabilizadas, de 2018 até 2025, 105.947 mortes (representam 82% das mortes de todas as seis RMs), que se referem a média de 13.243 mortes anuais ou 36 mortes ao dia. O custo do total das mortes é estimado, em perda de produtividade, em R\$ 43,9 bilhões. Deste montante, 26.107 mortes se deveriam às emissões de fonte diesel de transporte público – ônibus exclusivamente ou a média de 3.263 mortes anuais ou 9 mortes ao dia, nas duas RMs, que representam (representam 25% das mortes por todas as fontes de MP). Neste caso, o custo do total das mortes devido ao diesel de transporte público – ônibus é estimado, em perda de produtividade, em R\$ 10,8 bilhões. Considerando o cenário otimista proposto para substituição do diesel por GNV na frota de ônibus, haveria o benefício da redução de 10.679 mortes de 2018 a 2025 – mortes evitadas (ou vidas salvas) pelo uso do GNV, que significam a produtividade salva em R\$ 4,5 bilhões.

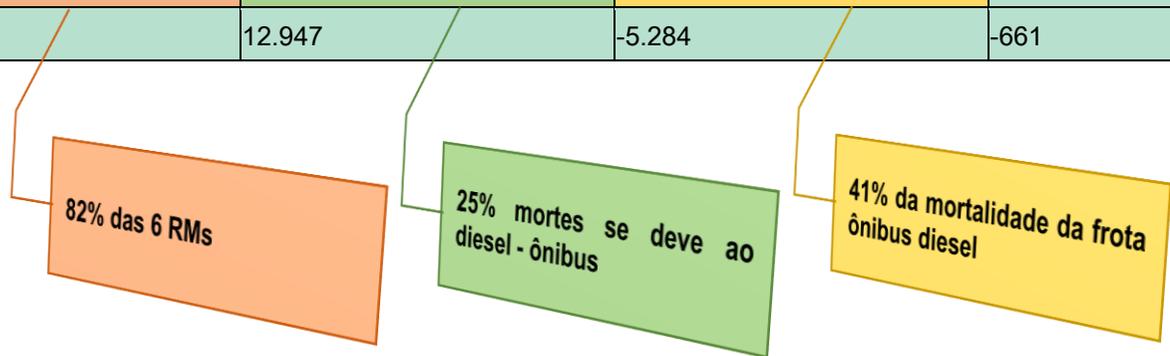
Ou seja, as vidas salvas representadas pelo uso do GNV conforme o cenário otimista, representam 41% da mortalidade causada pela frota diesel.

Somando-se os resultados das duas RMs, se a poluição do ar devido ao MP_{2,5} se mantivesse a mesma desde 2016, seriam contabilizadas, de 2018 até

2025, 51.106 internações públicas, que se referem a média de 6.388 internações públicas anuais ou 17,5 internações ao dia. O custo do total das internações públicas pelo SUS é estimado, em R\$ 84,5 milhões. Deste montante, 12.947 internações públicas se deveriam às emissões de fonte diesel de transporte público – ônibus exclusivamente ou a média de 1.618 internações anuais ou 4 ao dia. Neste caso, o custo do total das internações públicas pelo SUS devido ao diesel de transporte público – ônibus é estimado em R\$ 21,7 milhões. Considerando o cenário otimista proposto para substituição do diesel por GNV na frota de ônibus, haveria o benefício da redução de 5.284 internações de 2018 a 2025 –evitadas pelo uso do GNV que significam a economia em gastos públicos em saúde em R\$ 8,8 milhões.

Tabela 31: Soma dos eventos da RMSP e RMRJ em Saúde - Mortalidade e Morbidade devido à poluição por MP de todas as fontes e da Fonte Diesel, bem como os eventos evitados devido ao benefício da intervenção otimista de substituição do diesel na frota de transporte público – ônibus pelo GNV.

FROTA DIESEL RMSP + RMRJ	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMSP + RMRJ TODAS AS FONTES	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMSP + RMRJ - FROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO A DIESEL	CENÁRIO DE 50% - NÚMERO DE DESFECHOS EVITÁVEL PELA SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL POR GNV	
DESFECHOS	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL	Ano
Mortalidade	105.947	26.107	-10.679	-1.335
Morbidade	51.106	12.947	-5.284	-661



Fonte: Elaboração própria

Tabela 32: Soma dos custos da RMSP e RMRJ devido à poluição por MP de todas as fontes e da Fonte Diesel, bem como os custos evitados devido ao benefício da intervenção otimista de substituição do diesel na frota de transporte público – ônibus pelo GNV.

FROTA DIESEL RMSP + RMRJ	CUSTOS ATRIBUÍVEIS À POLUIÇÃO POR MP2,5 NA RMSP + RMRJ -TODAS AS FONTES	CUSTOS ATRIBUÍVEIS À POLUIÇÃO POR MP2,5 NA RMSP + RMRJ - FROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO A DIESEL	CENÁRIO DE 50% - CUSTOS EVITADOS PELA SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL POR GNV	
CUSTOS	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL	ano
Mortalidade - Perda de produtividade	43.924.213.825	10.872.842.058	4.457.291.320	557.161.415
Morbidade - Gastos públicos em internações - SUS	84.537.399	21.712.738	8.861.531	1.107.691

Fonte: Elaboração própria

FROTA LEVE

Os resultados encontrados para as RMs somadas ou separadas apresentados perante os Cenários de Frota Leve.

Apenas as RMSP e RMRJ apresentaram resultados com impacto em saúde. Tal fato se justifica pelo tímido cenário determinado neste estudo para substituição da frota leve por GNV. Pela mesma razão, os custos não foram calculados nem mesmo para as duas RMs, SP e RJ.

Somando-se os resultados das 6 RMs, na **Tabela 33** observa-se, para mortalidade e morbidade:

- Número de eventos atribuível ao $MP_{2,5}$ por todas as fontes, em todas as RMs
- Número de eventos atribuível à frota leve (comerciais leves e automóveis não diesel) em todas as RMs
- Número de desfechos evitável ao cenário proposto de substituição da motorização de ciclo otto por GNV (resultados positivos encontrados para as RMRJ e RMSP)

Somando-se os resultados de todas as seis RMs, se a poluição do ar devido ao $MP_{2,5}$ se mantivesse a mesma desde 2016, seriam contabilizadas, de 2018 até 2025, 127.919 mortes. Deste montante, 4.628 mortes se deveriam às emissões de $MP_{2,5}$ exclusivas da fonte da frota leve (comerciais leves e automóveis não diesel), que representam os veículos leves movidos pelos combustíveis, gasolina, etanol e flex. Considerando o cenário proposto para substituição da motorização de Ciclo Otto por GNV, haveria o benefício da redução de 53 mortes de 2018 a 2025 – mortes evitadas (ou vidas salvas) pelo uso do GNV. As mortes evitadas representam 1,15% do total de mortes representadas pela emissão de MP apenas por fonte de veículos leves.

Observa-se ainda o número de mortes evitadas pela RMSP (13) e RMRJ, (40) pois as demais não apresentaram, dentro do cenário proposto, nenhum

benefício. A RMRJ apresenta o maior benefício pois o cenário determinado contempla um número maior de veículos substituídos por GNV.

Somando-se os resultados de todas as seis RMs, se a poluição do ar devido ao $MP_{2,5}$ se mantivesse a mesma desde 2016, seriam contabilizadas, de 2018 até 2025, 69.395 internações públicas. Considerando o cenário proposto para substituição da motorização de Ciclo Otto por GNV, haveria o benefício da redução de 8 internações de 2018 a 2025 – evitadas pelo uso do GNV, e que representam, na sua totalidade, às internações evitadas na RMRJ.

Tabela 33: Eventos em saúde – Mortalidade e Morbidade devido à poluição das seis RMs e juntas somadas, de 2018 a 2025: por MP_{2,5} proveniente de todas as fontes; por MP proveniente da frota leve (comerciais leves e automóveis não diesel); a soma dos eventos evitados; e os eventos evitados por RM

CENÁRIO - FROTA LEVE DESFECHOS	MORTALIDADE 2018-2025							MORBIDADE 2018-2025						
	TOTAL 2018 a 2025	SP	RJ	BH	VT	Curitiba	POA	TOTAL 2018 a 2025	SP	RJ	BH	VT	Curitiba	POA
NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL AO MP _{2,5} EM TODAS AS RMs	127.919	51.367	54.580	12.175	2.236	2.818	4.743	69.395	31.812	19.294	8.942	1.477	2.467	5.403
NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À FROTA LEVE EM TODAS AS RMs	4.628	1.898	1.679	421	114	196	320	2.692	1.173	594	312	70	174	369
NÚMERO DE DESFECHOS EVITÁVEL AO CENÁRIO PROPOSTO DE SUBSTITUIÇÃO DA FROTA LEVE POR GNV	-53	-13	-40	0	0	0	0	-8	0	-8	0	0	0	0

Fonte: Elaboração própria

A seguir são apresentadas as Tabelas por RM separadas:

Tabela 34: RMSP: Mortalidade e Morbidade nas situações: número de eventos atribuível ao MP_{2,5} ; número de eventos atribuível à frota leve (comerciais leves e automóveis não diesel) e o número de desfechos evitável ao cenário proposto de substituição da motorização de ciclo otto por GNV

FROTA LEVE RMSP	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMSP - TODAS AS FONTES	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMSP - FROTA LEVE	NÚMERO DE DESFECHOS EVITÁVEL PELA SUBSTITUIÇÃO DA FROTA LEVE POR GNV									
			DESFECHOS	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Mortalidade	51.367	1.898	-13	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2
Morbidade	31.812	1.173	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Elaboração própria

Tabela 35: RMRJ: Mortalidade e Morbidade nas situações: número de eventos atribuível ao MP_{2,5}; número de eventos atribuível à frota leve (comerciais leves e automóveis não diesel) e o número de desfechos evitável ao cenário proposto de substituição da motorização de ciclo otto por GNV

FROTA LEVE RMRJ	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMRJ - TODAS AS FONTES	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMRJ - FROTA LEVE	NÚMERO DE DESFECHOS EVITÁVEL PELA SUBSTITUIÇÃO DA FROTA LEVE POR GNV								
			DESFECHOS	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL	2018	2019	2020	2021	2022
Mortalidade	54.580	1.679	-40	-2	-2	-4	-4	-6	-6	-8	-8
Morbidade	19.294	594	-8	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2

Fonte: Elaboração própria

Tabela 36: RMBH: Mortalidade e Morbidade nas situações número de eventos atribuível ao MP_{2,5} ; número de eventos atribuível à frota leve (comerciais leves e automóveis não diesel) e nenhum desfecho evitável ao cenário proposto de substituição da motorização de ciclo otto por GNV

FROTA LEVE RMBH	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMBH - TODAS AS FONTES	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMBH - FROTA LEVE	NÚMERO DE DESFECHOS EVITÁVEL PELA SUBSTITUIÇÃO DA FROTA LEVE POR GNV									
			DESFECHOS	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Mortalidade	12.175	421	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Morbidade	8.942	312	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Elaboração própria

Tabela 37: RMVI: Mortalidade e Morbidade nas situações: número de eventos atribuível ao MP_{2,5} ; número de eventos atribuível à frota leve (comerciais leves e automóveis não diesel) e nenhum desfecho evitável ao cenário proposto de substituição da motorização de ciclo otto por GNV

FROTA LEVE RMVI	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMVI - TODAS AS FONTES	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMVI - FROTA LEVE	NÚMERO DE DESFECHOS EVITÁVEL PELA SUBSTITUIÇÃO DA FROTA LEVE POR GNV										
			DESFECHOS	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Mortalidade	2.236	114		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Morbidade	1.477	70		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Elaboração própria

Tabela 38: RMC: Mortalidade e Morbidade nas situações: número de eventos atribuível ao MP_{2,5} ; número de eventos atribuível à frota leve (comerciais leves e automóveis não diesel) e nenhum desfecho evitável ao cenário proposto de substituição da motorização de ciclo otto por GNV

FROTA LEVE RMC	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMC - TODAS AS FONTES	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMC - FROTA LEVE	NÚMERO DE DESFECHOS EVITÁVEL PELA SUBSTITUIÇÃO DA FROTA LEVE POR GNV										
			DESFECHOS	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Mortalidade	2.818	196		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Morbidade	2.467	174		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Elaboração própria

Tabela 39: RMPA: Mortalidade e Morbidade nas situações: número de eventos atribuível ao MP_{2,5} ; número de eventos atribuível à frota leve (comerciais leves e automóveis não diesel) e nenhum desfecho evitável ao cenário proposto de substituição da motorização de ciclo otto por GNV

FROTA LEVE RMPA	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMPA - TODAS AS FONTES	NÚMERO DE EVENTOS ATRIBUÍVEL À POLUIÇÃO POR MP _{2,5} NA RMPA - FROTA LEVE	NÚMERO DE DESFECHOS EVITÁVEL PELA SUBSTITUIÇÃO DA FROTA LEVE POR GNV									
			DESFECHOS	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL 2018 a 2025	TOTAL	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Mortalidade	4.743	320	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Morbidade	5.403	369	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Elaboração própria

DISCUSSÃO

Os resultados se mostram alarmantes sobre o adoecimento e perda de vidas referente à população representada no estudo - cerca de 25% da população brasileira - exposta aos altos níveis de particulados das seis RMs.

Se a poluição do ar devido ao MP_{2,5} se mantivesse a mesma desde 2016, seriam contabilizadas, de 2018 até 2025, 127.919 mortes ao custo estimado de R\$ 51,5 bilhões em perda de produtividade; e 69.395 internações públicas ao custo estimado pelo SUS de R\$ 126,9 milhões para as seis RMs do estudo. Os dados apontam 44 mortes e 24 internações públicas ao dia devido ao MP_{2,5} nas seis regiões metropolitanas.

Segundo a OPAS; OMS Brasil (2018a), 51 mil mortes foram atribuídas à poluição do ar no Brasil em 2017. Este estudo encontrou cerca de 16 mil mortes anuais calculadas sobre ¼ da população brasileira, ao encontro das estimativas da OPAS.

Além disso, sabe-se que as 40 cidades brasileiras contempladas pelo banco de dados de poluição do ar da OMS excederam os limites de qualidade de ar recomendados pelo órgão (OMS, 2014).

Tais fatos, somados aos resultados deste estudo, deveriam estimular iniciativas imediatas para a redução da emissão de poluentes particulados no Brasil, seja por novas políticas públicas ou pelo cumprimento rigoroso das leis em vigor.

E, portanto, aqui se traz algumas evidências interessantes que poderão apoiar diretrizes para decisões futuras no que diz respeito ao transporte urbano com matrizes energéticas mais limpas em prol da mobilidade sustentável, um ambiente urbano mais saudável e da proteção à saúde.

Se somados os números de mortes das RMSP e RMRJ, observa-se 105.947 mortes – que representam 82% da totalidade das mortes para as seis RMs e custam, em perda de produtividade, em R\$ 43,9 bilhões. A parte estimada de mortes - 26.107 - devida apenas à emissão de MP_{2,5} pelo transporte público sobre rodas, ônibus a diesel – é de 25% e custam R\$ 10,8 bilhões.

Importante salientar que neste estudo não foram contabilizadas as internações de ordem privada, cuja participação das internações é relevante em todas as RMs, como se pode ver na **Tabela 40** abaixo.

Tabela 40: Taxa de Cobertura de planos de Saúde Assistência Médica - ANS por RM e total no país, em junho de 2018

LOCALIDADE	TAXA DE COBERTURA %
BRASIL	42%
RMSP	46,7
RMRJ	37,0
RMBH	40,4
RMVI	43,4
RMC	42,0
RMPA	34,8

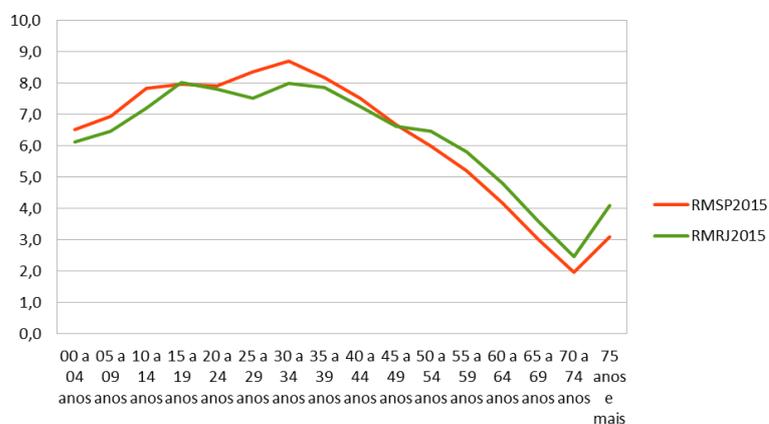
Fonte: ANS, 2018

Outra pesquisa, realizada para o município de São Paulo, sobre os impactos da poluição do ar em internações hospitalares por doenças respiratórias, cardiovasculares e câncer de pulmão atribuíveis ao MP_{2,5}, de 2017 até 2050, calculou cerca de 93.436 internações públicas e 95.862 privadas (189.298 internações) aos custos estimados em R\$ 156 milhões e R\$ 478,5 milhões respectivamente (R\$ 634,7 milhões no total). Observa-se que o município de SP, por exemplo, apresenta praticamente o dobro das internações aqui relatadas e o custo quatro vezes maior, quando consideradas as internações privadas também (INSTITUTO SAÚDE E SUSTENTABILIDADE, 2017).

Um ponto interessante a se observar, como resultado do estudo, é que há um número maior de óbitos devido ao MP_{2,5} na RMRJ (54.580 óbitos) que a RMSP (51.367), embora a RMSP apresente uma população maior que a RMRJ. Há algumas razões que possam ser apontadas para explicar tal situação, como a maior concentração de MP_{2,5} na RMRJ – 24% superior que a RMSP. Do lado demográfico, observa-se que a esperança de vida ao nascer calculada pelo IBGE - disponível apenas para o total do estado (UF) – é de 1,9 anos de vida a

mais para o Estado de São Paulo do que o do RJ: 78,62 e 76,76 anos respectivamente. E ainda, a RMRJ tem uma maior população idosa, como pode ser visto no **Gráfico 25**. Parte importante das causas de mortes atribuíveis a poluição acontece nos grupos acima de 50 anos o que pode contribuir com um peso maior das mortes para a RMRJ. No cálculo do YLL, o número de anos de vida perdidos por morte precoce é maior na RMRJ. No caso das internações, tal inversão não ocorre.

Gráfico 25: População por grupos de idade (%), RMSP e RMRJ



Fonte: Elaboração própria

Veículos pesados (caminhões e ônibus) são uma fonte significativa de emissões de poluentes locais e impactos negativos à qualidade do ar no Brasil. Além de apresentarem as maiores taxas de emissões, veículos pesados percorrem maiores distâncias e apresentam vidas úteis mais longas, o que os tornam um bom alvo para o controle de emissões veiculares.

A frota de veículos pesados (HDVs – *Heavy Duty Vehicles*)⁶ é bem menor do que a frota de veículos leves (LDVs - *Light Duty Vehicles*) no Brasil - o Ministério do Meio Ambiente (MMA), em 2013, apontou que os veículos pesados

⁶ HDV - High Duty Vehicles, termo inglês para veículos pesados, como ônibus e caminhões, enquanto LDV – Light Duty Vehicles é o termo em inglês para veículos particulares ou comerciais leves.

representam menos que 5% da frota rodoviária em 2009. Segundo dados do inventário de fontes de poluição do MMA (2013), em se tratando de categoria de veículos, as emissões de MP têm uma predominância de emissões por caminhões (64%), seguidas por automóveis (14%) e ônibus (13%). As emissões estão relacionadas ao tipo de combustível - o diesel como principal contribuinte - 96% das emissões em 2012, enquanto que a gasolina tem uma participação muito tímida (4%).

Através do modelo *Roadmap* do *International Council on Clean Transportation* (ICCT), estima-se que em 2015, caminhões e ônibus a diesel representavam 88% das emissões de MP_{2,5} e 89% das emissões de NO_x do transporte rodoviário no Brasil - (MILLER; FAÇANHA, 2016).

De acordo com a CETESB (2018), 40% de MP₁₀ (correspondente a 53,33% no caso do MP_{2,5}) é veicular na RMSB, sendo que cerca de 80% da sua emissão se deve às frotas de ônibus e caminhões (diesel). E cerca de 25 % de emissões apenas por ônibus e micro-ônibus. A frota diesel de caminhões e ônibus juntos corresponde a 233 mil veículos. Somando-se os comerciais leves a diesel, a frota diesel corresponde a 419 mil veículos. A frota de ônibus corresponde então a 9,9% da frota diesel (CETESB, 2018).

Dos montantes calculados de mortes e internações neste estudo, 27% (33.751) das mortes e 28% (19.638) das internações públicas se devem às emissões de fonte diesel – transporte público (ônibus) exclusivamente, ao custo estimado, respectivamente de R\$ 13,6 bilhões e R\$ 37,2 milhões. O que mostra que a frota exclusivamente de ônibus – diesel - é responsável por pouco mais de ¼ da mortalidade e internações devido à sua participação na emissão por MP_{2,5} nas seis regiões metropolitanas - 4.219 e 2.454 ao ano respectivamente.

Ou seja, a frota de ônibus que representa apenas 10% da frota de fonte diesel é responsável por 25% das emissões de MP_{2,5}, ou ¼ da mortalidade e internações públicas; tornando-se um excelente alvo para políticas públicas.

Estes dados mostram que políticas públicas que reduzam o uso de diesel ainda que apenas na frota de ônibus - trará benefícios relevantes em saúde pública, principalmente no que diz respeito às cidades.

O benefício encontrado para a substituição do diesel por GNV na frota de ônibus, segundo o cenário conservador proposto pela COMGÁS e para todas as regiões metropolitanas - iniciando a substituição da de 1% da frota em 2019, e gradativamente, 0,5% ao ano, até alcançar 4%, em 2025 – é a redução de 578 mortes (83 vidas salvas ao ano) e 310 internações públicas (43 internações públicas ao ano) de 2018 a 2025 – as mortes e internações evitadas (ou vidas salvas): ambas representam 1,7% das mortes e internações estimadas devido às emissões de MP_{2,5} por fonte diesel – ônibus. Em termos de custos, significam a produtividade salva em R\$ 231,7 milhões e a economia em gastos públicos em saúde (SUS) em R\$ 573 mil.

De outro lado, considerando o cenário otimista proposto para substituição do diesel por GNV na frota de ônibus, somando-se as duas RMs analisadas, RMSP e RMRJ, há o benefício da redução de 10.679 mortes de 2018 a 2025 – mortes evitadas (ou vidas salvas) pelo uso do GNV, que significam a produtividade salva em R\$ 4,5 bilhões, bem como benefício da redução de 5.284 internações e a economia em gastos públicos em saúde em R\$ 8,8 milhões – apenas SUS.

Ou seja, as vidas salvas e internações evitadas, representadas pelo uso do GNV conforme o cenário otimista, representam 41% da mortalidade e internações públicas causadas pela frota diesel.

No caso de mortes, para as RMSP e RMRJ, entre os dois cenários propostos há um salto em benefício em vidas salvas de 449 mortes no cenário proposto conservador para 10.679 mortes no otimista. E para internações, de 221 para 5.284 internações públicas. O impacto positivo é muito alto.

A preocupação dos impactos da poluição do ar na saúde humana nas cidades tem chamado cada vez mais a atenção de instituições internacionais, inclusive nas discussões ambientais globais (OPAS, OMS Brasil, 2018b).

Durante a realização da Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP24) em Katowice, Polônia, a Organização Mundial da Saúde (OMS) apresentou o relatório que informa que aproximadamente um milhão de vidas por ano em todo o mundo poderiam ser salvas até o ano de 2050 se as metas definidas no Acordo de Paris fossem cumpridas (OPAS, OMS Brasil, 2018b). Destaca a importância de se considerar as consequências das mudanças climáticas sobre a saúde da população mundial. Informa ainda que a exposição à poluição do ar causa a morte de sete milhões de pessoas em todo o mundo por ano e um custo de US\$ 5,11 trilhões em perdas de bem-estar (OPAS, OMS Brasil, 2018b). De acordo com o relatório, a emissão dos gases de efeito estufa pode custar 4% do PIB global nos 15 países mais poluentes. Além disso, aponta que a mitigação das mudanças climáticas é um investimento para a saúde pública, contrapondo os custos percebidos nos hospitais e na perda de vidas (OPAS, OMS Brasil, 2018b).

Entre os trabalhos propostos pela OMS, destacam a avaliação dos ganhos em saúde da implementação das diretrizes do Acordo de Paris e da necessidade de ações mais severas para limitar o aquecimento global a 2 ou 1,5 °C; e o acompanhamento dos avanços nacionais quanto as medidas de proteção e mitigação as mudanças climáticas para a saúde. Como recomendações, a OMS propõe ações para identificação e promoção da redução das emissões de carbono e poluentes do ar e a inclusão de compromissos específicos para a redução desses poluentes em níveis nacionais (OPAS, OMS Brasil, 2018b).

Vale ressaltar que, até o momento, o Brasil se comprometeu com o Acordo de Paris em reduzir as emissões de gases de efeito estufa em até 37% em 2025 e em 43% em 2030, em relação às emissões do ano de 2005.

Políticas específicas de mitigação que possam reduzir as emissões de gases efeito estufa nas cidades e ao mesmo tempo resultar em co-benefícios para a saúde referem-se principalmente às medidas nas áreas de transporte e energia, entre elas, a geração de energia mais limpa, de fontes renováveis ou de outras fontes de baixo carbono, ao invés de combustíveis fósseis.

Inspirado na Lei de Mudança do Clima do município de São Paulo, um estudo recente do Greenpeace estimou que somente as emissões de ônibus urbanos em São Paulo resultaram em 180.000 mortes prematuras até 2.050 caso os ônibus não se tornassem mais limpos. A avaliação e valoração dos impactos da poluição do ar na saúde da população decorrentes da substituição do diesel por uma matriz energética renovável no transporte público sobre rodas no município de São Paulo (MSP) foi determinada para três cenários, de 2017 até 2050: 1) o pior cenário, que reflete a continuidade das políticas atuais para toda a frota; 2) o cenário 100% renováveis, que considera a substituição do diesel por uma combinação de três tipos de matriz energética limpa: Biodiesel (B100), Híbrida (B100 + Elétrica) e Elétrica; e, 3) o cenário otimista, que considera a substituição de 100% de diesel por matriz elétrica a partir de 2020. O cenário 1 avalia a os efeitos sobre a saúde e sua valoração atribuíveis à poluição atmosférica na cidade devido à concentração ambiental de particulados fino por todas as fontes. Os cenários 2 e 3 avaliam os riscos evitáveis a partir da intervenção da substituição do diesel (B7 - 7% de adição de biodiesel ao diesel) por uma matriz energética limpa em diferentes composições. Mantendo-se o padrão das políticas adotadas para toda a frota em 2017 - o uso de B7 -na matriz energética de transporte público durante 33 anos, entre 2017 a 2050,

contabilizam-se 178.155 mortes atribuíveis à poluição do ar devido ao MP_{2,5} no MSP. Considerando a perda de produtividade, estima-se o custo destas mortes precoces em aproximadamente R\$ 54 bilhões em valores de 2015. Com a substituição da matriz energética de transporte público pelo Cenário 2 (composição por três tipos de matriz energética limpa: B100 + Híbrido (B100 + Elétrico) + Elétrico), estimam-se 12.191 vidas salvas até 2050, que passariam a 12.796 vidas salvas se já se tivesse adotado a matriz 100 % Elétrica (INSTITUTO SAÚDE E SUSTENTABILIDADE, 2017). O que significa valores evitados em mortes (perda de produtividade evitada) estimados em R\$ 3,6 bilhões no caso do benefício pela introdução do Cenário 2, e em R\$ 3,8 bilhões se tivesse sido adotado o Cenário 3, uma diferença de R\$ 227,6 milhões em perda de produtividade evitada. Em relação às internações públicas e privadas, seriam contabilizadas 189.298 internações públicas com custo estimado em R\$ 634,7 milhões. Com a introdução do Cenário 2, estima-se, até 2050, a redução de 13.082 internações públicas, que passariam a ser 13.723 internações evitadas caso o Cenário 3, a matriz 100% elétrica, já tivesse sido adotada. A substituição da matriz energética atual pelos cenários 2 e 3 representa uma economia de aproximadamente R\$ 44, 5 milhões e R\$ 46,5 milhões respectivamente em relação ao B7 (INSTITUTO SAÚDE E SUSTENTABILIDADE, 2017).

Outro exemplo de intervenção benéfica diz respeito ao biodiesel. Mantendo a concentração do biodiesel no diesel como é atualmente (7%) estima-se que no período de 2015 até 2025 as mortes atribuíveis à poluição atmosférica sejam de 50.531 mortes ao todo em seis regiões metropolitanas no Brasil. Com a adição de 20% de biodiesel no diesel dos veículos das regiões metropolitanas de São Paulo e Rio de Janeiro, nesse mesmo período, estima-se o benefício da redução de 13.000 mortes. Além do benefício da saúde, essas reduções

economizariam US\$ 25 milhões em custos hospitalares e US\$ 816 milhões devido a redução das mortes atribuíveis à poluição (VORMITTAG et al., 2018).

No entanto, a realidade é outra. O Brasil possui um dos piores padrões de qualidade de ar, não cumpre uma série de determinações legais que poderiam melhor controlar as emissões de poluentes, entre elas, a inspeção veicular nacional e está defasado em quase uma década quanto às normas de emissões de veículos em relação a União Europeia e aos EUA.

No Brasil, os limites máximos de emissão de poluentes por veículos pesados são estabelecidos pelo Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve) - Resolução Conama nº 18/1986. Desde 2012, está vigente a fase P-7 (correspondente a norma europeia Euro V) para veículos pesados no Brasil. Recentemente (segundo semestre de 2018), a Resolução foi revisada no CONAMA, tendo sido definida a sua atualização para a nova fase (P-8 correspondente ao Euro VI) para pesados a vigorar apenas a partir de 2023.

A fase do programa P-8 ou tecnologia Euro VI restringe rigorosamente as emissões de particulados e NOx na atmosfera - segundo Miller e Façanha - a redução das taxas de emissão para particulados e NOx em quase 90%, comparado às taxas das tecnologias atualmente vigentes no Brasil. Além dos limites de emissões mais rígidos (**Tabela 42**), a nova tecnologia deverá estabelecer melhoria dos sistemas OBD e dos ciclos de testes mais reais, acompanhados de requisitos mais rigorosos de conformidade em uso.

Tabela 41: Limites de emissão de poluentes para veículos pesados

Norma Proconve/ EURO	P-7/ EURO V			P-8/Euro VI	
	Diesel/ETC	Diesel/E SC/ELR	GNV/ETC	WHSC	WHTC
Combustível/Ciclo de teste	Diesel/ETC	Diesel/E SC/ELR	GNV/ETC	WHSC	WHTC
Monóxido de Carbono (CO – g/kW.h)	4,00	1,50	4,00	1,50	4,00
Hidrocarbonetos não metano (NMHC – g/kW.h)	0,55	0,46	0,55	–	0,16
Óxidos de Nitrogênio (NOx em g/kw.h)	2,00	2,00	2,00	0,40	0,46
Material Particulado (MP em g/kW.h)	0,03	0,02	Não elegível	0,01	0,01
Metano (CH4 g/kw.h)	Não elegível	–	1,10	–	0,50

Fonte: IBAMA (2016); MILLER; FAÇANHA (2018).

O *International Council on Clean Transportation* (ICCT) (MILLER; FAÇANHA, 2016) avaliou os benefícios e custos para a implementação da fase P-8 (equivalente ao Euro VI) para veículos pesados a diesel no Brasil, a qual monetiza os impactos mais importantes da norma P-8: o risco reduzido de mortes prematuras por exposição a emissões de partículas finas, o aumento dos custos de tecnologias para o controle de emissões veiculares e da manutenção dos veículos P-8. Segundo o estudo, seriam evitadas 74.000 mortes prematuras por exposição ao MP_{2,5} em zonas urbanas, por um período de 30 anos, de 2.018 a 2.048. Esta análise conclui que a norma P-8 no Brasil é altamente custo-efetiva para reduzir os impactos ambientais e de saúde pelos veículos pesados a diesel no país. Os benefícios em saúde, para este período, são avaliados em USD 74 bilhões a um custo de USD 7 bilhões, com uma relação benefício-custo de 11:1. Tal valor é consistente com análises de custo-benefício equivalentes em outros mercados, variando de 11:1 no México a 16:1 nos EUA.

No entanto, embora uma política de redução de emissões de extrema importância e necessária, no Brasil, ela chegará já tarde, não só em referência ao atraso na sua implementação perante ao mundo, mas também diante dos novos tempos pela necessidade premente na mudança nos sistemas de

matrizes energéticas de transporte, principalmente dos veículos automotores movidos pela queima de combustíveis fósseis para combustíveis mais limpos - uma das principais premissas para reduzir a emissão de poluentes e de gases de efeito estufa - que conseqüentemente trará benefícios para a saúde pública.

Há uma série de iniciativas no mundo que consideram a exclusão do diesel da matriz energética de transporte - como assim já se programaram alguns países europeus como França, Reino Unido e Alemanha. Paris banirá os veículos leves movidos a diesel e a gasolina a partir de 2030, bem como o Reino Unido que anunciou o fim da venda de carros movidos a diesel até 2040 (FERNANDES, 2017); e a Alemanha, que proibirá a produção desses veículos a partir de 2030 (ZIMMERMANN, 2018).

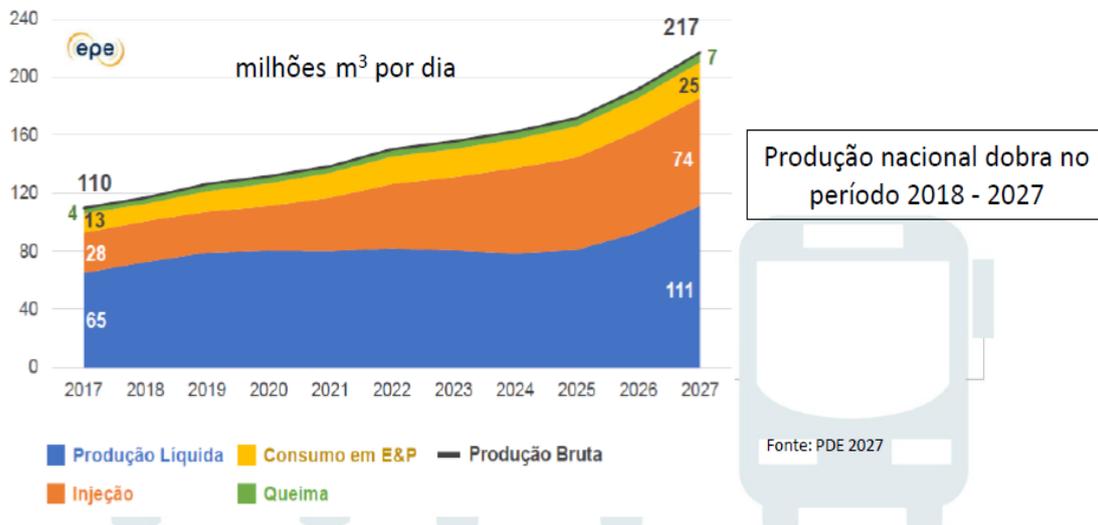
Nesse contexto, a participação do gás natural na matriz de transportes vem crescendo – no mundo, principalmente no transporte de passageiros, de carga e coleta de lixo – como opção para substituição ao diesel – contribuindo para a redução da poluição atmosférica nos centros urbanos e melhora a qualidade de vida da população.

No caso do Brasil, a opção pelo GNV como matriz energética de transporte é uma oportunidade muito bem-vinda, considerando o longo período para a implementação da fase P8 e ainda maior benefício na redução de poluentes particulados, NOx e GEE, bem como outras limitações existentes para outros tipos de energia, como a produção insuficiente de biodiesel perante a demanda – o GNV terá um papel importante para complementar essa necessidade.

Segundo o Ministério de Minas e Energia, em apresentação durante o Seminário de Mobilidade a Gás Natural (ARAUJO, 2018), o mercado de gás natural no Brasil poderá triplicar até 2030, atraindo investimentos de até R\$ 50 bilhões, segundo a **Figura 8**:

Figura 8: Perspectiva de produção nacional de gás natural até 2027

- Perspectiva de produção nacional



Fonte: ARAUJO, 2018

Mesmo após um período de retração da atividade econômica vivida pelo país, o consumo de gás natural segue em crescimento - no primeiro semestre de 2018 houve um crescimento médio de 6% frente aos números da média dos seis meses iniciais do mês anterior. Foram consumidos 61,2 milhões m³/dia na média do acumulado do semestre ante 57,7 milhões m³/dia de igual período em 2017. Na comparação com junho de 2017, a alta foi de 23,5%. Na indústria, no primeiro semestre de 2018, o segmento apresentou um crescimento de 3,8%, na comparação com o mesmo período de 2017, com um consumo médio de 27,6 milhões de m³/dia. No segmento automotivo, o uso de GNV no País registrou alta de 10,8% no primeiro semestre.

Devido a diferentes tecnologias existentes para os motores de ônibus e seus sistemas de combustíveis, há a dificuldade de se mensurar e comparar as emissões de poluentes por diferentes tipos de combustíveis, e, assim se determinar a vantagem da utilização do GNV frente a outros, principalmente o diesel. Um dos fatores pode ser explicado pela falta de sensibilidade dos equipamentos de medição, dificultando a mensuração de emissões, principalmente em veículos híbridos (NAVC, 2000).

Há alguns anos, diversos estudos foram realizados para averiguar se existe a vantagem do uso do gás natural frente à utilização do diesel em diversos tipos de veículos, equipados com diversas tecnologias de motores, possuindo ou não catalizadores ou captadores de partículas.

Um deles, realizado por Wang et al (1998), avaliou a emissão de poluentes como MP, NOx, CO e HC, por tipos de combustíveis e em diferentes tipos de motores utilizados em ônibus. Foram avaliados os combustíveis como o gás natural comprimido (GNC) e o gás natural liquefeito (GNL); os álcoois, incluindo o M100 (100% metanol), o E93 (93% etanol, 5% metanol, 2% K-1 querosene por volume), o E95 (95% de etanol, 5% de gasolina), BD20 (20% de biodiesel de soja, 80% diesel por volume) e BD35 (35% de biodiesel de soja, 65% diesel por volume); e diesel convencional nº 1 e nº 2 (D1 e D2).

O Gás Natural apresentou o menor nível de emissões de MP quando comparado com todos os outros combustíveis. Os níveis do metanol M100 e Etanol E93 / E95 têm o segundo e terceiro níveis mais baixos. Apesar de suas médias serem muito superiores à média do GN, seus níveis ainda são significativamente inferiores aos do diesel. Quanto ao NOx, o metanol M100 foi o que apresentou a menor emissão, seguido pelo Etanol (E93/E95), enquanto que o gás natural e o diesel apresentaram os mesmos níveis de emissão. A razão para emissões mais baixas de NOx de combustíveis de álcool pode ser explicado devido à maioria das emissões de NOx por motores de combustão - formados pela oxidação na atmosfera de nitrogênio a altas temperaturas: como o metanol e etanol precisam de menor calor do que o diesel e o gás natural para a combustão, a oxidação do nitrogênio ocorre em menor proporção. Já quanto a emissão de hidrocarbonetos, os álcoois e o gás natural apresentaram emissões maiores do que o diesel, justamente por esses elementos serem compostos por hidrocarbonetos, conforme a

Tabela 42, a seguir (WANG et al., 1997).

Tabela 42: Comparação de emissões de poluentes (g/mi)

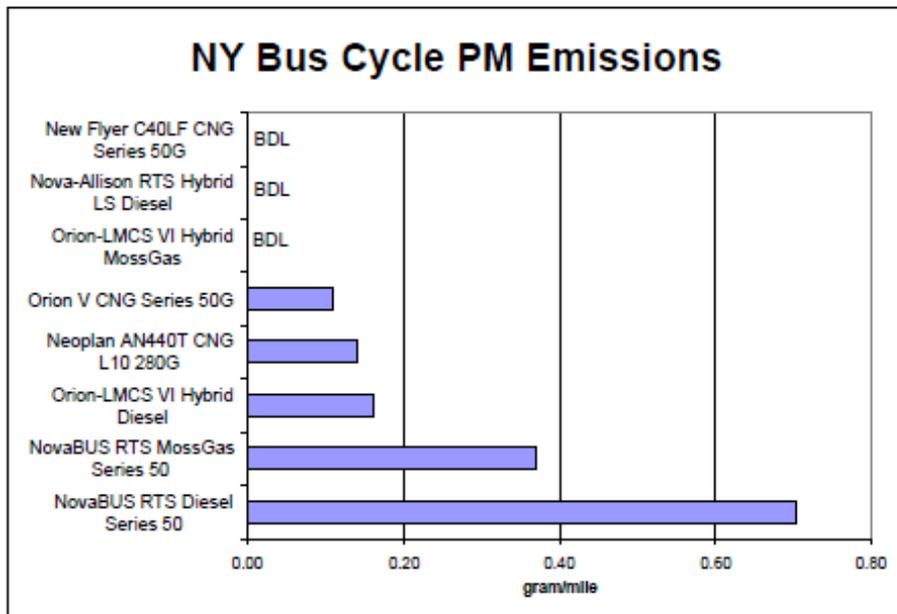
		GN	M100	E93/E95	D1	D2
PM	média	0,03	0,26	0,49	0,96	1,48
	amostra	60	46	28	61	70
Nox	média	14,7	18,2	30	31,8	32
	amostra	46	28	60	70	61
HC	média	2,1	2,6	10,5	14,7	14,8
	amostra	61	60	70	46	28

Fonte: WANG et al. (1997).

Em 2000, pesquisadores da Universidade da West Virgínia conseguiram verificar que os veículos híbridos podem emitir de 50 a 70% menor concentração de material particulado do que os veículos movidos a diesel. E que as emissões de MP dos ônibus de GNV, movidos pelos motores DDC da Série 50G, eram consistentemente cerca de 80 a 90% mais baixas que os de um ônibus convencional a diesel (NAVC, 2000).

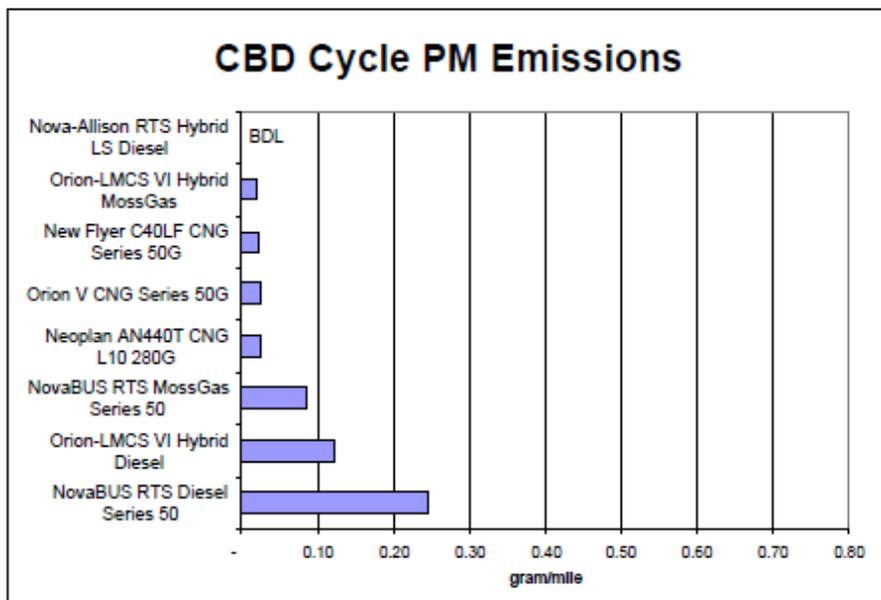
A **Figura 9** e **Figura 10**, a seguir, fornecem uma comparação gráfica das emissões de MP de cada tipo de ônibus testado pelos pesquisadores (NAVC, 2000). Verifica-se por exemplo, a redução das emissões de MP sendo equivalentes, inclusive aos ônibus híbridos.

Figura 9: Emissões de MP dos ônibus com ciclo NY



Fonte: NAVC (2000)

Figura 10: Emissões de MP de ônibus com ciclo CBD



Fonte: NAVC (2000)

Quando o Híbrido Orion-LMCS foi operado com combustível diesel D1 convencional, os níveis de MP emitidos pelos ônibus movidos a GNV foram 50 a 80% inferiores aos níveis do híbrido.

Quando os ônibus híbridos operam diesel com baixo teor de enxofre e com frenagem regenerativa, apresentam taxas de emissão mais baixas do que os ônibus movidos a GNV. Quanto às emissões de NO_x, os veículos movidos a gás emitem de 50 a 60% das emissões dos ônibus movidos a diesel convencional. Mas dependendo da tecnologia e da velocidade, as emissões de NO_x foram superiores, ou quando inferiores, as medições indicavam o aumento das emissões de CO ou NMOC (NAVC, 2000).

Outro estudo realizado para o transporte rodoviário no Reino Unido, cuja frota predominante é movida a diesel, avaliou-se alternativas de combustíveis, tecnologias e ações para a redução de poluentes na atmosfera. Comparados com motores a diesel, o GLP oferece vantagem na redução da emissão de partículas de NO_x, porém, ao se comparar com a gasolina, a vantagem do GLP é menor no que diz respeito a qualidade do ar - mas mostram ser melhores quanto às emissões de gases de efeito estufa (CLEANER BUS WORKING GROUP, 2003).

Os veículos abastecidos com o gás natural, em comparação com os veículos a diesel, oferecem benefícios maiores em redução de 80 a 95% das emissões de partículas NO_x, mas envolve um pequeno aumento das emissões de metano, e esse problema pode ser resolvido com a instalação de um catalisador. Entretanto, a diferença nas emissões de material particulado entre um veículo movido a gás natural a um movido a diesel com capturador de partículas é nula (CLEANER BUS WORKING GROUP, 2003).

CANNON; SUN (2000) revisaram os resultados de nove programas de testes que compararam as emissões dos ônibus convencionais a diesel e GNC.

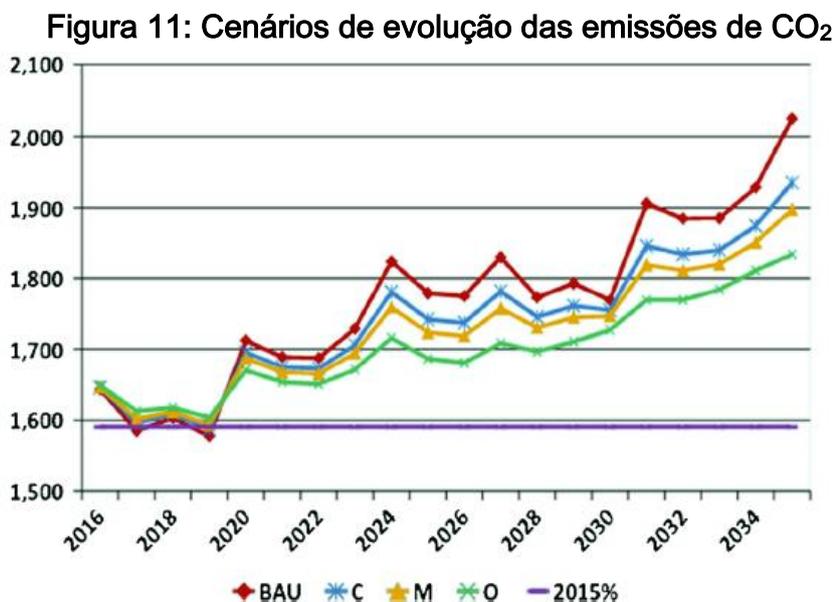
A maioria dos estudos comparou veículos fabricados em meados da década de 1990, e nenhum dos veículos a diesel testados usou ULSD ou foi equipado com um filtro para material particulado. Descobriu-se que os ônibus movidos a GNC emitiam de 40% a 86% menos material particulado e 38% a 58% menos óxido de nitrogênio do que os ônibus a diesel. No entanto, as emissões de NO_x variaram muito e, em alguns casos, os motores diesel sintonizados emitiram menos NO_x do que os motores CNG mal ajustados.

De acordo com CANNON; SUN (2000) foram comparados cinco tipos de motores envolvendo o GNV mais vendido e os motores a diesel fabricados por duas das maiores empresas de motores para veículos pesados dos EUA, Cummins Engine Co. e Detroit Diesel Corp. As comparações lado-a-lado mostraram que o uso de gás natural reduz as emissões de partículas entre 71 e 80%, em comparação com as emissões de motores a diesel. As reduções de NO_x variaram de 44 a 56%.

Já o estudo recente de Galbieri et al (2018) desenvolveu a análise de quatro cenários para os anos de 2015 a 2035, para a cidade de São Paulo, considerando em cada cenário o aumento da frota de ônibus movidos a GNV, um conservador (C), que compreende a inclusão de 20% de novos ônibus movidos a GNV, um moderado (M) que inclui 30%, e um otimista (O), que acrescenta 50% dos veículos movidos a GNV, além do cenário de tendência, também denominado BAU (Business-As-Usual), que assume que nenhum veículo de GNV entra na frota. Os estudos foram realizados utilizando fatores de emissão considerando os padrões do Euro IV e V. Os resultados indicam que conforme maior a introdução de ônibus movidos a GNV, menores são as emissões de MP₁₀ e CO₂.

Em todos os cenários existirá um aumento de CO₂ a partir de 2015, o maior aumento é no cenário BAU. Porém, a redução dos cenários moderado e

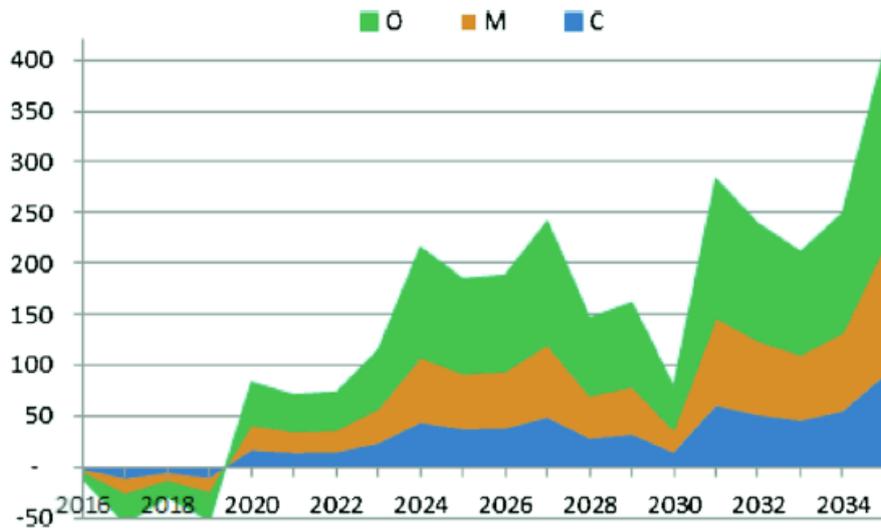
conservador é significativo, com valores de 55 e 92 em 2025 e a longo prazo de 128 e 192 Mt. Esse resultado é ilustrado na seguinte **Figura 11**.



Fonte: GALBIERI et al. (2017)

No cenário otimista é possível evitar a emissão de até 1.373 mil toneladas de CO₂ ao longo de 20 anos, enquanto que no cenário conservador se evita 579 mil toneladas de CO₂, no cenário moderado, que apresentaria uma frota de 50% de GNV, até 852 mil toneladas podem deixar de serem emitidas, conforme apresenta a **Figura 12** a seguir.

Figura 12: Comparação de cenários alternativos de redução de emissões de CO₂ comparados a BAU

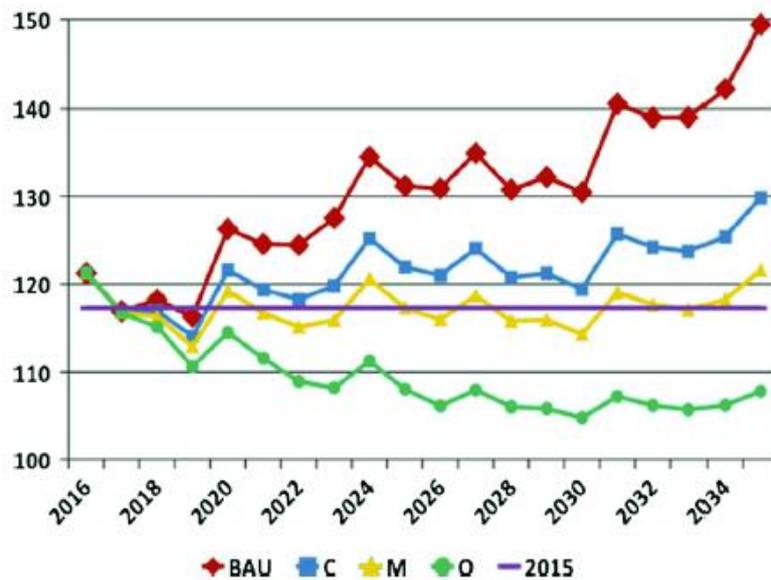


Fonte: GALBIERI et al. (2017)

Já para o MP₁₀ as diferenças são bastante visíveis, como é possível verificar na

Figura 13. Enquanto que no cenário BAU há o aumento das emissões de material particulado, nos demais cenários as emissões diminuem de acordo com a introdução de ônibus movidos a GNV. No cenário otimista, as emissões passam a ser menores do que em 2015 (GALBIERI et al., 2017).

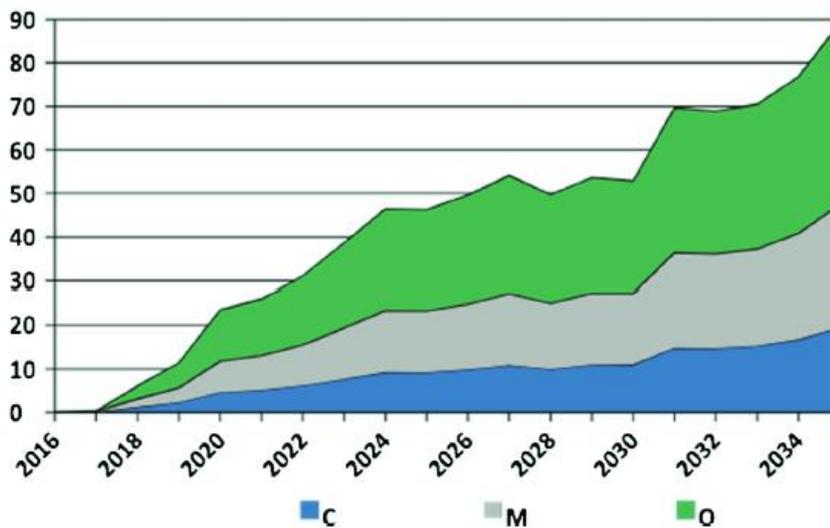
Figura 13: Cenários de evolução das emissões de MP



Fonte: GALBIERI et al. (2017)

A Figura 14 demonstra as emissões acumuladas de MP evitadas por 20 anos que variam de 584 toneladas, no cenário otimista, para 251 toneladas no cenário conservador.

Figura 14: Comparação de cenários alternativos de redução de emissões de MP comparados a BAU



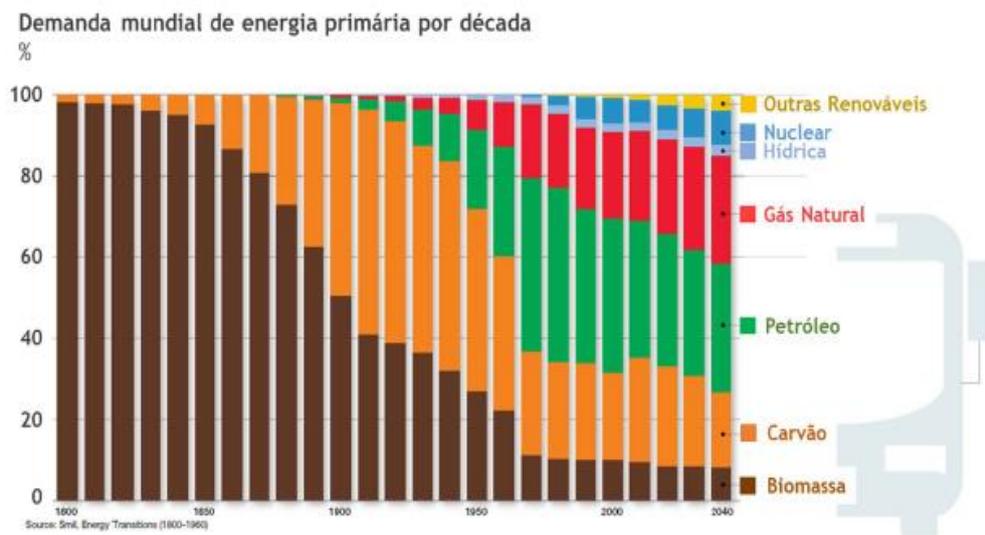
Fonte: GALBIERI et al. (2017)

Como pode se observar, apesar das pesquisas terem sido realizadas em diversos períodos e contextos, utilizando-se ônibus com diferentes tipos de motores ou com equipamentos para captura de partículas, entende-se que, de forma geral, o gás natural apresenta, na maioria das vezes, resultados melhores para o controle de poluentes atmosféricos prejudiciais à saúde e ao meio ambiente.

Desta forma, não há dúvidas que o GNV é parte das opções futuras para a transição energética limpa, como se pode observar na **Figura 15**.

Figura 15: Previsão da demanda mundial de energia primária até 2040.

GÁS NATURAL COMO COMBUSTÍVEL DESTA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA.



Fonte: Coelho, 2018 (Empresa de Pesquisa Energética –EPE)

Considerando que o Brasil já se encontra atrasado em cumprir o Acordo de Paris, corroborado pela demora nas tratativas referentes às atualizações de seus padrões qualidade do ar nacionais e às tecnologias que restringem os limites de emissões de poluentes - com consequente altos impactos em saúde pública e econômicos - como demonstrado neste estudo - faz-se necessária a rápida consideração de outras alternativas existentes, como o GNV, para que se

alcancem as reduções urgentes de emissões - que sejam ao menos próximas das metas estabelecidas, mesmo que a conjectura aponte para o não cumprimento das mesmas. Ainda assim, mais qualidade de vida e um ambiente mais saudável aos brasileiros estarão mais garantidos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Se a poluição do ar devido ao MP_{2,5} se mantivesse a mesma desde 2016, seriam contabilizadas, de 2018 até 2025, 127.919 mortes (5.989 mortes anuais ou 44 mortes ao dia), por um custo, em perda de produtividade, estimado em R\$ 51,5 bilhões, e 69.395 internações públicas (8.674 internações públicas anuais ou 24 internações ao dia), a um custo estimado pelo SUS em R\$ 126,9 milhões, para todas as seis RMs do estudo.

O estudo aponta 44 mortes e 24 internações públicas ao dia devido ao MP_{2,5} nas seis regiões metropolitanas.

Do total de mortes, 33.751 devem-se às emissões de fonte diesel de transporte público – ônibus exclusivamente ou 4.219 mortes anuais ou 11 mortes ao dia, nas seis RMs. Neste caso, o custo do total das mortes devido ao diesel de transporte público – ônibus é estimado, em perda de produtividade, em R\$ 13,6 bilhões.

Do total de internações, 19.638 devem-se às emissões de fonte diesel de transporte público – ônibus exclusivamente ou 2.455 internações anuais ou 7 ao dia nas seis RMs. Neste caso, o custo do total das internações públicas pelo SUS devido ao diesel de transporte público – ônibus é estimado em R\$ 37,2 milhões.

Se somados os números de mortes das RMSP e RMRJ, observa-se 105.947 mortes por todas as fontes de poluição – que representam 82% da totalidade das mortes para as seis RMs e custam, em perda de produtividade, em R\$ 43,9 bilhões. A parte estimada de mortes - 26.107 - devida apenas à emissão de MP_{2,5} pelo transporte público sobre rodas, ônibus a diesel – é de 25% e custam R\$ 10,8 bilhões.

O benefício encontrado para a substituição do diesel por GNV na frota de ônibus das seis regiões metropolitanas, segundo o cenário conservador - iniciando a substituição de 1% da frota em 2019, e gradativamente, 0,5% ao ano,

até alcançar 4%, em 2025 – é a redução de 578 mortes (83 vidas salvas ao ano) e 310 internações públicas (43 internações públicas ao ano) de 2018 a 2025.

Em termos de custos, significam a produtividade salva em R\$ 231,7 milhões e a economia em gastos públicos em saúde (SUS) em R\$ 573 mil.

As mortes (ou vidas salvas) e internações evitadas representam, ambas, 1,7% das mortes e internações estimadas devido às emissões de MP_{2,5} por fonte diesel – ônibus - nas seis RMs incluídas do estudo.

O benefício encontrado para a substituição do diesel por GNV na frota de ônibus nas RMSP e RMRJ, segundo o cenário otimista - implementando a substituição de 50% da frota em todos os anos, até 2025 – é a redução de 10.679 mortes e 5.284 internações públicas de 2018 a 2025.

Em termos de custos, significam a produtividade salva em R\$ 4,5 Bilhões e a economia em gastos públicos em saúde (SUS) em R\$ 8,8 milhões.

Ou seja, as vidas salvas e internações evitadas, apresentadas pelo uso do GNV conforme o cenário otimista, representam 41% da mortalidade e internações públicas causadas pela frota diesel.

Na RMSP, a frota de ônibus representa apenas 10% da frota de fonte diesel e é responsável por 25% das emissões de MP_{2,5} ou seja, por ¼ da mortalidade e internações públicas; tornando-se um excelente alvo para políticas públicas.

Os resultados são relevantes mesmo para uma proposta tímida de intervenção do GNV na frota de ônibus, revelando-se uma alternativa altamente promissora para substituição do diesel e para o desenvolvimento da mobilidade sustentável no país.

No caso da frota leve, os resultados encontrados em benefício para a saúde, de acordo com os cenários propostos de substituição da motorização do ciclo otto por GNV, neste estudo, não se mostraram relevantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ JR, O. M. Rota 2030 colide com Proconve e Política Nacional do Clima. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/rota-2030-colide-com-proconve-e-politica-nacional-do-olimpio/?published=t>

ANDERSON, H. R. et al. **Meta-analysis of time-series studies and panel studies of Particulate Matter (PM) and Ozone (O3)**. Copenhagen: WHO, 2004.

ANDRADE, R. T. G.; SANTOS, E. M. Quantificação das emissões de gases efeito estufa – gees – segundo matriz energética diesel ou GNV no transporte público por ônibus em Natal–RN. **HOLOS**, vol. 3, 2009, pp. 3-15 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte Natal, Brasil. ISSN: 1518-1634.

ANS. Agência Nacional de Saúde Suplementar. 2018. Disponível em http://www.ans.gov.br/anstabnet/cgi-bin/dh?dados/tabnet_br.def. Acesso em: 01 out. 2018.

ANTP – Associação Nacional de Transportes Públicos. Impactos ambientais da substituição dos ônibus urbanos por veículos menos poluentes. São Paulo, 2016.

ARAUJO, S. Perspectivas e Oferta de Gás Natural no Brasil. Apresentação no Seminário Internacional de Mobilidade a Gás Natural, organizado pela ABEGÁS, em 2018, Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.abegas.org.br/portal/wp-content/uploads/2018/11/12-Semin%C3%A1rio-Internacional-Pol%C3%ADticas-P%C3%BAblicas-Symone-Ara%C3%BAjo-MME.pdf> Acesso em 20 Dez 2018.

ASSOCIAÇÃO PAULISTA DE MEDICINA, INSTITUTO SAÚDE E SUSTENTABILIDADE. **Exposição Um Minuto de Ar Limpo**. Dados não publicados. São Paulo, 2018.

BAIRD, Colin. **Química Ambiental**. Maria Angeles Lobo Recio; Luiz Carlos Marques Carrera (trads.). 2 ed. Bookman. Porto Alegre, 2002.

BASTOS, S. A. P; FORTUNATO, G. Conversão de veículos flex para o gás natural: problema de escassez e contribuição à sustentabilidade. RAM, REV. ADM. MACKENZIE, 15(5), 171-194. ISSN 1678-6971 (on-line).

BRASIL. CONAMA. **Resolução CONAMA nº18, de 7 de dezembro de 1986**. Institui o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res1886.html> Acesso em 20 Dez 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**/ Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética . Brasília : MME : EPE, 2007.

BRASIL. CONAMA. Resolução CONAMA nº 490, de 16 de novembro de 2018. Estabelece a Fase PROCONVE P8 de exigências do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE para o controle das emissões de gases poluentes e de ruído para veículos automotores pesados novos de uso rodoviário e dá outras providências. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=369514> Acesso em 20 Dez 2018.

BRITO, J. et al. Disentangling vehicular emission impact on urban air pollution using ethanol as a tracer. **Scientific Reports**, 2018 v 8. Doi: 10.1038/s41598-018-29138-7.

CANÇADO, E. D. et al. **The Impact of Sugar Cane - Burning Emissions on the Respiratory System of Children and the Elderly**. Environmental Health Perspectives, v. 114, n. 5, p. 725, 2006.

CANNON, J. S.; SUN, C. **Bus Future: New Technologies for Cleaner Cities**. New York: 2000. Disponível em: <www.informinc.org>.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade do ar no estado de São Paulo 2015**. São Paulo; 2016. 165p. ISSN 0103-4103. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em 10 de agosto de 2017.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade do ar no estado de São Paulo 2017**. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2018/05/relatorio-qualidade-ar-2017.pdf> Acesso em 17 de setembro de 2018.

CLEANER BUS WORKING GROUP. **The Route to Cleaner Buses: A Guide to Operating Cleaner, Low Carbon Buses**. 2003.

Coelho, J.M (Empresa de Pesquisa Energética –EPE). Inserção do Gás Natural na Matriz de Mobilidade Urbana. Apresentação no Seminário Internacional de Mobilidade a Gás Natural, organizado pela ABEGÁS, em 2018, Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.abegas.org.br/portal/wp-content/uploads/2018/11/13-Semin%C3%A1rio->

[Internacional-Pol%C3%ADticas-P%C3%ABlicas-Jos%C3%A9-Mauro-Ferreira-EPE.pdf](#)

Acesso em 20 Dez 2018.

EEA. European Environment Agency. **Air quality in Europe – 2017 report**. Luxembourg: 2017. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2017> Acesso em 28 set 2018

EEA. European Environment Agency. **Health Impacts of Air Pollution**. 2016. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2013/infographics/health-impacts-of-air-pollution/view> Acesso em 17 de setembro de 2018

ERVATTI, L., BORGES, G.M., JARDIM, A. P. Mudança demográfica no Brasil no início do século XXI: Subsídios para as projeções da população. **Estudos e análises. Informação demográfica e socioeconômica**. IBGE. 2015.

FAÇANHA, C. Deixado para trás: Brasil poderá ser o último grande mercado automotivo a adotar o padrão Euro VI. The International Council on Clean Transportation. 2018. Disponível em: <https://www.theicct.org/blog/staff/deixado-para-brasil-podera-ultimo-mercado-automotivo-adoptar-padrao> Acesso em: 22 Out 2018.

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Monitoramento da qualidade do ar na Região Metropolitana de Belo Horizonte**: ano base 2013: relatório técnico. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <<http://www.feam.br/>>. Acesso em 8 de novembro de 2017.

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. **Rede Estadual de Monitoramento Automático da Qualidade do Ar**: Relatório 2017. Porto Alegre: FEPAM: 2018. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/>. Acesso em 18 de setembro de 2017.

FERNANDES, D. Por que os carros movidos a gasolina e diesel estão com os dias contados em países europeus e vários emergentes. BBC News. Paris. 20 de novembro de 2017. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-42046977> Acesso em 18 Out 2018.

FINLAYSON, G.S. et al. Anticipating change: how many acute hospital beds will Manitoba regions need in 2020? **Canadian Journal on Aging**, 24(1): 133-140.

GALBIERI, R. et al. Bus fleet emissions: new strategies for mitigation by adopting natural gas. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, p. 1–24, 2017.

GOUVEIA N, DE FREITAS CU, MARTINS LC, MARCILIO IO. Respiratory and cardiovascular hospitalizations associated with air pollution in the city of São Paulo, Brazil. **Cad Saude Publica**. 2006 Dec;22(12):2669-77.

HAMRA, G. B.; GUHA, N.; COHEN, A.; LADEN, F.; RAASCHOU-NIELSEN, O.; SAMET, J. M.; VINEIS, P.; FORASTIERE, F.; SALVIDA, P.; YORIFUJI, T.; LOOMIS, D. **Outdoor Particulate Matter Exposure and Lung Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis**. Environmental Health Perspectives. DOI:10.1289/ehp.1408092. National Institute of Environmental Health Sciences. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1408092>>. Acesso em: 29 jun 2015.

IAP - Instituto Ambiental do Paraná. **Relatório Anual da Qualidade do Ar na Região Metropolitana de Curitiba – Ano de 2013**. Curitiba, 2016. Disponível em: <<http://www.iap.pr.gov.br/>>. Acesso em 8 de novembro de 2017.

IARC - International Agency for Research on Cancer. **Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths**. Lyon: WHO, 2013. Disponível em: <http://www.iarc.fr/en/media-centre/iarcnews/pdf/pr221_E.pdf> Acesso em 25 de abril de 2017.

IBAMA. **Programa de controle de emissões veiculares** (Proconve). Brasília, 2016. Disponível: <http://www.ibama.gov.br/emissoes/veiculos-automotores/programa-de-controle-de-emissoes-veiculares-proconve> Acesso em: 19 Dez 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE – Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>> Acesso em 7 de novembro de 2017.

_____. **Projeção de população**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html?=&t=o-que-e> Acesso em 01 ago 2017.

_____. **Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios ano base 2015**. Brasília, 2016. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/rendimento-despesa-e-consumo/9127-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios.html?=&t=o-que-e>>> Acesso em: 01 ago. 2017

_____. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais. **Estimativas da população residente com data de referência 1o de julho de 2018**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/> Acesso em 17 set 2018

IEMA – Instituto de Energia e Meio Ambiente. **Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG)** - emissões dos setores de Energia e de Processos Industriais e Uso de Produtos (PIUP), período 1970 – 2015. Documento de Análise. Observatório do Clima & IEMA, 2017. Disponível em: < <http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2017/09/Relatorios-Seeg-2017-Energia-final.pdf>>. Acesso em: 9 de dez 2017.

IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Relatório da Qualidade do Ar-2013: Grande Vitória. Cariacica, 2015.** Disponível em: https://iema.es.gov.br/Media/iema/CQAI/Relatorios_anuais/Relat%C3%B3rio_Anual_de_Qualidade_do_Ar_2013.pdf >. Acesso em 17 de setembro de 2018.

_____. **Relatório da Qualidade do Ar- 2014: Grande Vitória. Cariacica, 2017.** Disponível em: < https://iema.es.gov.br/Media/iema/CQAI/Relatorios_anuais/Relat%C3%B3rio_Anual_de_Qualidade_do_Ar_2014_site_atualizado.pdf >. Acesso em 17 de setembro de 2018.

IGU – International Gas Union. **Case Studies in Improving Urban Air Quality**. Published by the International Gas Union (IGU). Norway, 2016

_____. **The energy for today and the future**. Global Natural Gas Insight. 2017a. Disponível em: http://www.igu.org/sites/default/files/node-play_book-field_file/RGB%20IGU%20Booklet%202017.pdf Acesso em 28 Ago 2018.

_____. **Urban Air Quality**. Mar, 2017b. Disponível em: <https://www.igu.org/the-case-of-natural-gas/urban-air-quality> Acesso em: 28 Ago 2018.

INEA - Instituto Estadual do Ambiente. Gerência de Qualidade do Ar - GEAR. **Relatório da Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro – Ano Base 2015**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/Portal/MegaDropDown/Monitoramento/Monitoramentodoar-EmiQualidade/Qualidoar/RelatorioAnualAr/index.htm&lang=PT-BR>. Acesso em 17 de setembro de 2018.

INSTITUTO SAUDE E SUSTENTABILIDADE. **Avaliação do impacto da poluição atmosférica no Estado de São Paulo sob a visão da saúde**. São Paulo. 2013. Disponível em: < <http://www.saudeesustentabilidade.org.br/publicacoes/pesquisa-avaliacao-doimpacto-da->

poluicao-atmosferica-no-estado-de-sao-paulo-sob-a-visao-da-saude/ > Acesso em 25 de abril de 2017.

INSTITUTO SAUDE E SUSTENTABILIDADE. **Monitoramento da qualidade do ar no Brasil. São Paulo.** 2014. Disponível em: <http://www.saudeesustentabilidade.org.br/publicacoes/avaliacao-do-impacto-dapoluicao-atmosferica-no-estado-do-rio-de-janeiro-sob-a-visao-da-saude/> > Acesso em 25 de abril de 2017.

INSTITUTO SAUDE E SUSTENTABILIDADE. **Projeção da mortalidade, internações hospitalares na rede pública e gastos públicos em saúde:** decorrentes da poluição atmosférica no Estado de São Paulo de 2012 a 2030. São Paulo, 2015

INSTITUTO SAUDE E SUSTENTABILIDADE. **Avaliação e valoração dos impactos da poluição do ar na saúde da população decorrente da substituição da matriz energética no transporte público na cidade de São Paulo.** São Paulo, 2017.

KNIGHT, V. M.; YOUNG, C. E. F. Análise de custo-benefício da substituição do diesel por gás natural veicular em ônibus na Região Metropolitana de São Paulo. **Revista de Economia Mackenzie**, v. 7, n. 3, p. 24-36. São Paulo, 2009.

MARTINS, Lourdes Conceição et al. The effects of air pollution on cardiovascular diseases: lag structures. **Rev. Saúde Pública**, São Paulo, v. 40, n. 4, p. 677-683, Aug. 2006 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102006000500018&lng=en&nrm=iso>. access on 01 Oct. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-89102006000500018>.

MILLER, J., FAÇANHA, C. Análise de Custo Benefício da Norma P-8 de emissões de veículos pesados no Brasil. **International Council on Clean Transportation.** 2016.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Epidemiológicas e morbidade.** Disponível em <<<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0203&id=6927&VObj=http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sih/cnv/nr>>> Acesso em: 01 ago. 2017

MIRAGLIA, S. G. E. K., GOUVEIA, N. Custos da poluição atmosférica nas regiões metropolitanas brasileiras. **Ciência e Saúde Coletiva.** v. 19, n. 10 p. 4141 -4147, 2014.
DOI: 10.1590/1413-812320141910.09232014

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2013). **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013**, Ano-Base 2012. Brasília, 2013

MME/EPE – Ministério de Minas e Energia / Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2016**, Ano-base 2015. Relatório Síntese. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2016.

MME/EPE – Ministério de Minas e Energia / Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2017**, Ano-base 2016. Relatório Síntese. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2017.

MURRAY, C. J.; LOPEZ, A. D. **The Global Burden of Disease**: a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries and risk factors in 1990 and projected to 2020. Boston: Harvard School of Public Health on behalf of the World Health Organization and the World Bank, 1996.

NAVC. HYBRID-ELECTRIC DRIVE HEAVY-DUTY VEHICLE TESTING PROJECT Final Emissions Report. **Northeast Advanced Vehicle Consortium**, n. West Virginia University, 2000.

NTU (Associação Nacional das Empresas de Transporte Urbano). **Utilização do gás natural no transporte público urbano**. Relatório. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<http://www.ntu.org.br/publicacoes/gnv.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2005.

OECD - Organization for Economic Co-operation and Development, 2016 **The Economic Consequences of Outdoor Air Pollution**. Policy Highlights. 2016. Disponível em: <<https://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/Policy-Highlights-Economic-consequences-of-outdoor-air-pollution-web.pdf>> Acesso em: 31 de julho 2017.

OMS. Organização Mundial da Saúde. **CID-10 Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde**. 10a rev. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2007. vol.1.

OPAS, OMS Brasil. **OMS divulga estimativas nacionais sobre exposição à poluição do ar e impacto na saúde**. 2016. Disponível em: https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5249:oms-divulga-estimativas-nacionais-sobre-exposicao-a-poluicao-do-ar-e-impacto-na-saude&Itemid=839
Acesso em 28 set 2018.

_____. **Nove em cada dez pessoas em todo o mundo respiram ar poluído.** 2018a. Disponível em: https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5654:nove-em-cada-dez-pessoas-em-todo-o-mundo-respiram-ar-poluido&Itemid=839 Acesso em 21 Ago 2018.

_____. Benefícios para a saúde superam custos do cumprimento das metas de mudança climática. **2018b.** Disponível em: https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5815:beneficios-para-a-saude-superam-custos-do-cumprimento-das-metas-de-mudanca-climatica&Itemid=839. Acesso em 06 Dez 2018.

OSTRO, B. **Outdoor air pollution:** assessing the environmental burden of disease at national and local levels. Geneva: WHO, 2004 (WHO Environmental Burden of Diseases Series, n. 5).

PEREIRA, L. A. et al. Association between air pollution and intrauterine mortality in São Paulo, Brazil. **Environ Health Perspect**, v. 106, p. 325 - 329, 1998.

POPE, C. A.; DOCKERY, D. W. Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. **Air & Waste Management Association**, v. 56, p. 709 - 742, 2006.

ROTHMAN KJ AND GREENLAND S. **Modern Epidemiology**, 2nd Edition. Chapter 21, 401-32. Lippincott-Raven Publishers, Washington, 1998.

SCANIA. **Scania buses e coaches.** Disponível em: www.fiesp.com.br/arquivo-download/?id=239154. Acesso em: 20 Dez 2018.

SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. Portal de Estatísticas do Estado de São Paulo. **IMP – Informações dos Municípios Paulistas.** Disponível em: < <http://www.imp.seade.gov.br/frontend/#/>> Acesso em 7 de novembro de 2017.

The World Bank. **The cost of air pollution.** Strengthening the economic case for action. 2016. The World Bank and Institute for Health Metrics and Evaluation, University of Washington, Seattle. 2016. Disponível em: <http://documents.worldbank.org/curated/pt/781521473177013155/The-cost-of-air-pollution-strengthening-the-economic-case-for-action> Acesso em 13 set 2018

ULIRSCH, G.V., BALL, L.M., KAYE W., SHY C.M., LEE, C.V., CRAWFORD-BROWN D, SYMONS M, HOLLOWAY T. Effect of particulate matter air pollution on hospital admissions and medical visits for lung and heart disease in two southeast Idaho cities. **J Expo Sci Environ Epidemiol.** 2007 Aug;17(5):478-87. Epub 2007 Feb 14.

U.S. Energy Information Administration. Annual Energy Outlook 2011 with projections to 2035. Washington, 2011. Disponível em: [https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383\(2011\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383(2011).pdf) Acesso em 20 Dez 2018.

VORMITTAG, E. M. A.; RODRIGUES, C. G.; ANDRÉ, P. A.; SALDIVA, P. H. N. Assessment and Valuation of Public Health Impacts from Gradual Biodiesel Implementation in the Transport Energy Matrix in Brazil. **Aerosol and Air Quality Research**. v. 18, 2018. doi: 10.4209/aaqr.2017.11.0449

WANG, W. G. et al. Emissions Comparisons from Alternative Fuel Buses and Diesel Buses with a Chassis Dynamometer Testing Facility. **Environ. Sci. Technol.** v. 31, n. 11, p. 3132–3137, 1997.

WHO - World Health Organization. 2015. **Health and the Environment: Addressing the health impact of air pollution**. Draft resolution proposed by the delegations of Albania, Chile, Colombia, France, Germany, Monaco, Norway, Panama, Sweden, Switzerland, Ukraine, United States of America, Uruguay and Zambia. Sixty-Eighth World Health Assembly. Agenda item 14.6. A68/CONF./2 Rev.1. 26 May 2015. Disponível em: < http://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA68/A68_ACONF2Rev1-en.pdf>. Acesso em 25 de abril de 2017.

_____. **WHO Global Urban Ambiente Air Pollution Database** (update 2016). Disponível em: http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/cities/en/ Acesso em 21 Ago 2018.

_____. **Air Quality Guidelines** - Global Update 2005. Copenhagen: WHO, 2006. Disponível em: < http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf>. Acesso em 25 de abril de 2017

YEH, S. An empirical analysis on the adoption of alternative fuel vehicles: The case of natural gas vehicles. **Energy Policy**. v. 35. P 5865-5875. 2007. doi:10.1016/j.enpol.2007.06.012.

ZIMMERMANN, N. Cidades aceleram para proibir carros a diesel. **Deutsche Welle Brasil**. 27 de fevereiro de 2018. Disponível em: <https://p.dw.com/p/2tQPw>. Acesso em: 18 Out 2018.