## **ESTUDO DE CASO:**

# ADIAMENTO DO CUMPRIMENTO DA RESOLUÇÃO DO CONAMA Nº490/2018 - FASE P8 DO PROCONVE -



nas emissões de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e material particulado (MP)



Outubro de 2020

## Sumário

| 1. | Int   | rodução  | 4  |  |  |
|----|---|--|----|--|--|
| 2. | Esc   | copo e cenários  | 6  |  |  |
| 3. | Mé  | etodo, fontes de informação e premissas                          | 8  |  |  |
| 4. | Res   | sultados   | 10 |  |  |
| 2  | l.1.  | Licenciamentos de veículos novos                                 | 10 |  |  |
| 2  | 1.2.  | Frota circulante, distância percorrida e consumo de combustíveis | 11 |  |  |
| 2  | 1.3.  | Emissões de óxidos de nitrogênio (NO <sub>x</sub> )              | 15 |  |  |
| 2  | 1.4.  | Emissões de material particulado (MP)                            | 18 |  |  |
| 5. | Cor   | nclusões   | 23 |  |  |
| RE | FERÊ  | ÈNCIAS   | 25 |  |  |
| ΑN | NEXO - Fatores de emissão para veículos pesados26 |  |    |  |  |

## **Autores**

David Shiling Tsai

Marcelo dos Santos Cremer

Felipe Barcellos e Silva

André Luis Ferreira

## Revisão

Isis Nóbile Diniz

## Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA)

Rua Artur de Azevedo, 1212, 9º andar, Pinheiros, São Paulo (SP)

CEP 05404-003 | Telefone: +55 (11) 3476-2850

www.energiaeambiente.org.br

## Lista de Figuras

| Figura 1: Perfis de vendas de veículos leves novos por tecnologia propulsora, segundo o PNE 2050                            | 7      |
|---|--------|
| Figura 2: Variáveis que influenciam os fatores de emissão da Agência Ambiental Europeia                                     | 26     |
| Lista de Gráficos   |        |
| Gráfico 1: Histórico e projeção de novos licenciamentos anuais de veículos leves e motocicletas                             | 10     |
| Gráfico 2: Histórico e projeção de novos licenciamentos anuais de caminhões, por porte                                      |        |
| Gráfico 3: Histórico e projeção de novos licenciamentos anuais de ônibus, por tipo  |        |
| Gráfico 4: Projeção de novos licenciamentos de ônibus urbanos e microônibus elétricos                                       |        |
| Gráfico 5: Evolução histórica e projeção da frota circulante por categoria de veículos                                      |        |
| Gráfico 6: Evolução histórica e projeção da distância percorrida por categoria de veículos                                  |        |
| Gráfico 7: Evolução histórica e projeção da frota de veículos pesados, por porte  |        |
| Gráfico 8: Evolução histórica e projeção da distância percorrida por veículos pesados, por porte                            |        |
| Gráfico 9: Evolução histórica e projeção da frota de veículos pesados por tecnologia nos cenários 1 e 2                     |        |
| Gráfico 10: Evolução histórica e projeção da frota de veículos pesados por tecnologia nos cenários 3 e 4                    |        |
| Gráfico 11: Projeções de consumo de diesel rodoviário nos 4 cenários  |        |
| Gráfico 12: Evolução histórica e projeção da frota de veículos pesados por fase do Proconve no cenário 1                    |        |
| Gráfico 13: Evolução histórica e projeção da frota de veículos pesados por fase do Proconve no cenário 2                    |        |
| Gráfico 14: Evolução histórica e projeção da frota de veículos pesados por fase do Proconve no cenário 3                    |        |
| Gráfico 15: Evolução histórica e projeção da frota de veículos pesados por fase do Proconve no cenário 4                    |        |
| Gráfico 16: Evolução histórica e projeção da frota de veículos leves por tecnologia nos cenários 1 e 2                      |        |
| Gráfico 17: Evolução histórica e projeção da frota de veículos leves por tecnologia nos cenários 3 e 4                      |        |
| Gráfico 18: Projeções de consumo de gasolina C no transporte rodoviário nos 4 cenários                                      |        |
| Gráfico 19: Projeções de consumo de etanol hidratado no transporte rodoviário nos 4 cenários                                |        |
| Gráfico 20: Evolução histórica e projeção das emissões de NO <sub>x</sub> no cenário Conama 490/2018                        |        |
| Gráfico 21: Projeções das emissões de NOx no transporte rodoviário nos 4 cenários   |        |
| Gráfico 22: Evolução histórica e projeção de emissões de MP <sub>2.5</sub> total no cenário CONAMA 490/2018                 |        |
| Gráfico 23: Evolução histórica e projeção de emissões de MP <sub>2.5</sub> por combustão no Cenário CONAMA 490/2018         |        |
| Gráfico 24: Projeções de emissões de MP <sub>2.5</sub> total (combustão e desgaste) no transporte rodoviário nos 4 cenários |        |
| Gráfico 25: Projeções de emissões de MP <sub>2.5</sub> por combustão no transporte rodoviário nos 4 cenários                |        |
|   |        |
| Lista de Tabelas  |        |
| Tabela 1: Emissões de NOx no cenário CONAMA 490/2018 e emissões relativas dos outros cenários                               | 17     |
| Tabela 2: Emissões de MP <sub>2.5</sub> total no cenário CONAMA 490/2018 e emissões relativas dos outros cenários           | 21     |
| Tabela 3: Emissões de MP <sub>2.5</sub> por combustão no cenário CONAMA 490/2018 e emissões relativas dos outros cenário    | rios22 |

#### 1. Introdução

O Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve) é um programa de abrangência federal, instituído em 1986, visando reduzir a emissão de poluentes atmosféricos de todos os modelos de veículos automotores vendidos no território nacional. O Proconve estabeleceu limites de emissão de poluentes cada vez mais restritivos com o passar dos anos, contribuindo com a redução significativa da emissão de poluentes desde o início de sua implantação.

Dois dos poluentes regulamentados pelo Proconve são os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e o material particulado (MP). Tratam-se de dois dos principais responsáveis pelos níveis de poluição acima dos limites recomendados pela Organização Mundial da Saúde em várias cidades brasileiras. Tipicamente, nos centros urbanos, os veículos automotores são fonte de grande parcela dos poluentes inalados pela população. Em particular, os veículos pesados – caminhões e ônibus –, movidos a óleo diesel, são caracterizados por elevadas emissões de NO<sub>x</sub> e MP em seus escapamentos. Por isso o controle das emissões desse tipo de veículo é focado principalmente nesses dois poluentes.

No Brasil, os modelos de caminhões e ônibus vendidos desde 2012 atendem à sétima fase do Proconve, intitulada fase P7, que é similar ao Padrão Euro V adotada em semelhante legislação aplicada na Europa. O mercado nacional de veículos pesados é dominado por uma grande maioria de montadoras europeias e a legislação de controle de emissões desses veículos é baseada naquela desenvolvida na União Europeia. Lá, desde 2014 é vigente o Padrão Euro VI, com limites de emissões mais restritivos do que o Padrão Euro V.

Em 2015, o Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) publicou o estudo "Análise Preliminar sobre a Implantação do Padrão Euro VI no Brasil", feito com o propósito de auxiliar a compreensão pela sociedade de um possível novo regulamento nacional baseado na regra europeia e fornecendo subsídios à hoje extinta Comissão de Acompanhamento e Avaliação do Proconve (CAP) e, por consequência, ao Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) para a tomada de decisão. O estudo descreveu e discutiu as principais características do Padrão Euro VI, trazendo uma primeira análise técnica e de custos associáveis à sua eventual implantação no Proconve.

Esse estudo apresentou o que seriam os impactos em termos de emissões de NO<sub>x</sub> e MP de uma fase P8 do Proconve, equivalente ou próxima do Padrão Euro VI, eventualmente, já implantada em 2017. Foram comparados dois cenários, um que considerava a continuidade da fase P7 até 2030 e outro que assumia a implantação da fase P8 já a partir de 2017. O resultados apontaram reduções nas emissões de NO<sub>x</sub> no transporte rodoviário, de cerca de 50% em 2030 considerando todo o país, e em torno de 35% em ambiente urbano. Para o MP, considerando a fração de emissões pela combustão, o estudo estimou, para o ano 2030, uma diminuição de 15% nas emissões anuais em todo o país e cerca de 10% nas emissões em meio urbano.

Em 2018, a Resolução do CONAMA nº490 de 2018 estabeleceu a fase P8 do Proconve para entrar em vigor em 2022 no Brasil. Em 2022, novos limites de emissão mais restritivos serão obrigatórios para modelos inéditos de veículos pesados. No ano seguinte, em 2023, esses novos limites serão obrigatórios para todos os modelos de veículos pesados.

Uma nota da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automores (ANFAVEA), datada de 07 de agosto de 2020, apresenta um pedido de adiamento desse cronograma por parte das montadoras. Essas solicitam até três anos a mais para o início de novas fases do Proconve. Nesse contexto, **este estudo estima o impacto do adiamento da fase P8 do Proconve nas emissões de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e no material particulado (MP) oriundas do transporte rodoviário no país.** 

## 2. Escopo e cenários

O presente exercício tem como intuito principal realizar uma avaliação prospectiva do impacto do adiamento da implantação da fase P8 do Proconve. Mas há de se considerar que novas rotas tecnológicas veiculares – hibridização e eletrificação, principalmente – se apresentam como promessas disruptivas e que podem influenciar sobremaneira as emissões atmosféricas futuras, apesar de que o ritmo de entrada dessas tecnologias é uma incerteza crítica.

Para contemplar o objetivo do estudo considerando o contexto da possível transição energética nos transportes, foram estimadas as emissões anuais de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e de material particulado (MP) por todas as categorias de veículos rodoviários (automóveis, caminhões, comerciais leves, motocicletas e ônibus), até 2050, para quatro cenários:

- 1) Cenário CONAMA 490/2018: considera que a fase P8 do Proconve terá início conforme estabelecido na Resolução do CONAMA nº490 de 2018, ou seja, em 2022 para novos modelos de veículos pesados e 2023 para todos os modelos de veículos pesados. Por simplificação e assumindo o caso mais conservador (de maior emissão), considerou-se que todos os veículos pesados vendidos em 2022 ainda atenderão à fase P7, ou seja, que não haveria novos modelos de veículos pesados nesse ano.
- 2) Cenário P8 adiado para 2025: considera que a fase P8 do Proconve terá início adiado em três anos, ou seja, em 2025 para novos modelos de veículos pesados e 2026 para todos os modelos de veículos pesados. Por simplificação e assumindo o caso mais conservador (de maior emissão), considerou-se que todos os veículos pesados vendidos em 2025 ainda atenderão à fase P7, ou seja, que não haveria novos modelos de veículos nesse ano.
- 3) Cenário CONAMA 490/2018 com maior eletromobilidade: semelhante ao Cenário CONAMA 490/2018, mas assumindo uma maior eletrificação progressiva da frota.
- 4) Cenário P8 adiado para 2025 com maior eletromobilidade: semelhante ao Cenário P8 adiado para 2025, mas assumindo uma maior eletrificação progressiva da frota.

Em relação à eletrificação progressiva da frota, os cenários 1 e 2 consideram que o perfil de vendas de veículos leves novos por tecnologia de propulsão (hibridização e eletrificação) se dará conforme o Cenário de Referência adotado pelo Plano Nacional de Energia (PNE) 2050 (MME/EPE, 2020b) – atualmente em consulta pública – (Figura 1, gráfico à esquerda). Para os caminhões de maior porte – médios, semipesados e pesados¹ – assumiu-se que permanecerão com o uso predominante do diesel em motorização a

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Classificação segundo MMA (2014).

combustão interna, devido à dificuldade para uma mudança tecnológica em função de seu perfil de uso (i.e. distâncias e cargas maiores), conforme também assume o PNE 2050. Na ausência de informações mais detalhadas no PNE 2050 referentes a caminhões que trafegam curtas distâncias e a ônibus, assumiu-se que a hibridização e a eletrificação de caminhões de menor porte – leves e semileves² – se dará no mesmo passo da de veículos leves. Para ônibus, foi assumida uma modesta eletrificação, equivalente à eletrificação gradativa de pelo menos a frota paulistana até 2050.

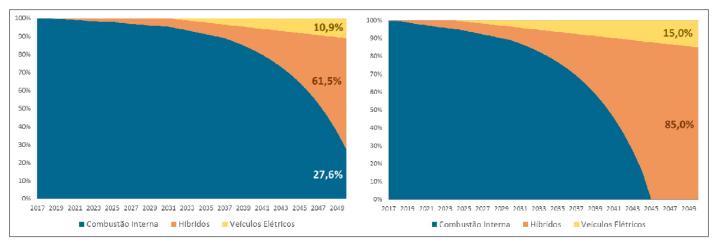


Figura 1: Perfis de vendas de veículos leves novos por tecnologia propulsora, segundo o PNE 2050

Fonte: PNE 2050 (MME, 2020b)

Já os cenários 3 e 4 consideram que o perfil de vendas de veículos leves novos por tecnologia de propulsão (hibridização e eletrificação) se dará conforme o Cenário de Maior Eletromobilidade adotado pelo mesmo PNE 2050 (MME/EPE, 2020b) (Figura 1, gráfico à direita). Assim como nos cenários 1 e 2, para os caminhões de maior porte – médios, semipesados e pesados – assumiu-se que permanecerão com o uso predominante do diesel em motorização a combustão interna, devido à dificuldade para uma mudança tecnológica em função de seu perfil de uso (i.e. distâncias e cargas maiores), conforme também assume o PNE 2050. Na ausência de informações mais detalhadas no PNE 2050 referentes a caminhões que trafegam curtas distâncias e a ônibus, assumiu-se que a hibridização e a eletrificação de caminhões de menor porte – leves e semileves – se dará no mesmo passo da de veículos leves. Para ônibus, foi assumida uma maior eletrificação, equivalente à eletrificação gradativa da frota das 12 capitais de estado mais populosas, até 2050.

Também se considerou, em todos os cenários, que as novas fases do Proconve para veículos leves L7 (2022) e L8 (2025), entrarão em vigor em seu tempo normal, assim como a nova fase do Promot<sup>3</sup>, M5 (2023).

Por último, ressalta-se que o presente exercício não considerou disrupções significativas nos padrões de mobilidade de pessoas e cargas atualmente predominantes no país.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Classificação segundo MMA (2014).

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos similares (Promot) é um programa semelhante ao Proconve, aplicado a motocicletas.

## 3. Método, fontes de informação e premissas

O presente exercício se baseia, com novos cenários, na simulação apresentada no Anexo D da "Análise Preliminar sobre a Implantação do Padrão Euro VI no Brasil" (IEMA, 2015). Foram utilizadas a metodologia e as mesmas fontes de informação do "Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013 Ano-Base 2012" (MMA, 2014), com exceção dos fatores de emissão e consumo de combustível para veículos pesados.

O documento "Urban off-cycle NO<sub>x</sub> emissions from Euro IV/V trucks and buses: Problems and Solutions for Europe and Developing Countries" do Conselho Internacional para o Transporte Limpo – ICCT (2009) – apontou para o fato de veículos pesados da fase Euro V, P7 no Brasil, apresentarem emissões de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) em condições reais de uso bastante superiores quando comparadas às emissões dos motores nos ensaios em bancada (ensaios padronizados para a homologação de

INVENTÁRIO NACIONAL
DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS
POR VEÍCULOS AUTOMOTORES
RODOVIÁRIOS

2013
ANO-BASE 2012
Relatório Final

modelos de motores). O Inventário do MMA (2014) aplica fatores de emissão medidos nesse tipo de ensaio padronizado de motores em bancada. Assim sendo, nesse exercício, buscou-se uma alternativa para esses fatores de emissão para representar mais realisticamente as condições de uso em que os veículos operam.

Considerando-se que o mercado nacional de veículos pesados é dominado por uma grande maioria de montadoras europeias e a legislação de controle de emissões desses veículos é baseada naquela desenvolvida na União Europeia, recorreu-se, então, aos fatores de emissão do Guia de Inventário de Emissões de Poluentes Atmosféricos da Agência Ambiental Europeia (EEA, 2019)<sup>4</sup> em vez de fatores de emissão oriundos da homologação de motores do Proconve. Os fatores de emissão do Guia foram elaborados a partir de medições feitas em dinamômetros de motor, de chassis e medições *on-board* para todas as fases Euro, de modo a simular melhor as condições reais de uso, especialmente em meio urbano. O Anexo – Fatores de emissão para veículos pesados detalha o tratamento de dados para o cálculo dos fatores de emissão aplicados no presente exercício.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook

Assim, reproduziu-se o Inventário do MMA (2014) com esses fatores da Agência Ambiental Europeia, atualizando todo o histórico até o ano de 2019. Todas as outras fontes de informação a que o Inventário recorre foram utilizadas em suas versões mais recentes: Anuário da ANFAVEA<sup>5</sup> (2020), Anuário da ABRACICLO<sup>6</sup> (2019), Anuário da Fenabrave<sup>7</sup> (2020), Balanço Energético Nacional 2020 Ano Base 2019 (MME/EPE, 2020a) e Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo 2019 (CETESB, 2019).

Para projetar as emissões nos cenários, o exercício considera as seguintes premissas:

- Taxa de crescimento anual de vendas de automóveis e veículos comerciais leves novos de 2,5% ao ano, de 2020 a 2050, valor assumido como na Nota Técnica sobre Demanda de Energia 2050 da EPE (2016);
- Taxa de crescimento anual das vendas de caminhões novos de 3,3% ao ano, de 2020 a 2025, e
   1,3% ao ano, de 2026 a 2050, valores assumidos como na Nota Técnica sobre Demanda de Energia
   2050 da EPE (2016);
- <u>Taxa de crescimento anual das vendas de ônibus novos</u> de 1,7% ao ano, de 2020 a 2050, valor assumido como no Plano de Abastecimento de Óleo Diesel de Baixo Teor de Enxofre da ANP (2010);

Vale notar que as taxas de crescimento anual de vendas projetadas para o futuro são bastantes sensíveis às oscilações econômicas de mercado e à amplitude de expectativas futuras, sendo objeto de especulações e atualizações constantes. Como a principal finalidade deste exercício é a comparação entre dois cenários cuja diferença reside tão somente nos fatores de emissão de novos veículos, avaliou-se que a adoção das mesmas taxas de crescimento para os dois cenários, e compatíveis com as premissas do Plano Nacional de Energia 2050, seria suficiente para cumprir com o objetivo, sem uma revisão e investigação exaustiva de projeções mais atuais. Ainda, tais projeções são desafiadas pelo impacto econômico negativo trazido pela crise sanitária do novo coronavírus. Cabe, no entanto, destacar que, quanto maior o número de veículos vendidos no período entre 2023 e 2025, maior a diferença nas emissões absolutas entre os dois cenários.

Por simplificação e por sua pequena participação na matriz energética do transporte (menos de 3% em 2019), o gás natural veicular (GNV) não foi incluído na análise.

-

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores

#### 4.1. Licenciamentos de veículos novos

A aplicação das taxas de crescimento de vendas de veículos novos do PNE 2050 sobre os dados históricos disponíveis mais recentes geraram as projeções de novos licenciamentos de veículos representados no Gráfico 1 (automóveis, veículos comerciais leves e motocicletas), no Gráfico 2 (caminhões) e no Gráfico 3 (ônibus). Nos três gráficos, observa-se um crescimento acelerado dos novos licenciamentos entre 2005 e 2010, os picos históricos de novos licenciamentos no início da década de 2010 e uma subsequente queda também acentuada. Em 2016 e 2017, os novos licenciamentos regrediram a patamares de décadas anteriores. Em 2018 e 2019, houve recuperação parcial, com a quantidade de licenciamentos retornando a valores próximos ao que se observava no final da década de 2000. Projetando-se a partir desses patamares, os novos licenciamentos crescem, até 2050, aproximadamente 100% no caso de veículos leves e motocicletas, 70% no caso de caminhões e 75% no caso dos ônibus.

Gráfico 1: Histórico e projeção de novos licenciamentos anuais de veículos leves e motocicletas

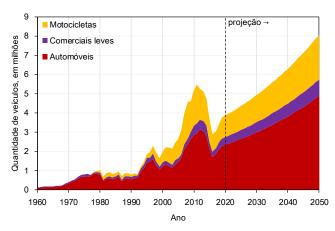


Gráfico 2: Histórico e projeção de novos licenciamentos anuais de caminhões, por porte

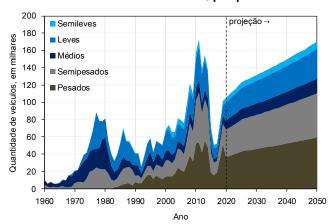


Gráfico 3: Histórico e projeção de novos licenciamentos anuais de ônibus, por tipo

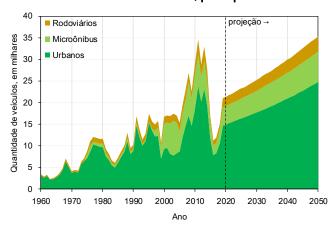
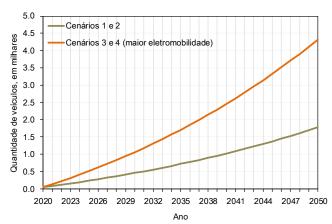


Gráfico 4: Projeção de novos licenciamentos de ônibus urbanos e microônibus elétricos



O Gráfico 4 mostra a introdução progressiva de ônibus elétricos nos cenários considerados. Nos cenários de menor eletromobilidade, 1 e 2, projetou-se que os novos licenciamentos alcançarão cerca de 1800

unidades no ano de 2050. No acumulado, isso seria equivalente à eletrificação de uma frota de ônibus do tamanho da circulante na capital paulista (cerca de 13 mil ônibus) entre 2040 e 2045. Já nos cenários de maior eletromobilidade, 3 e 4, os novos licenciamentos alcançam cerca de 4300 unidades no ano de 2050. No acumulado, o equivalente à eletrificação de uma frota de mais de 40 mil ônibus, o suficiente para eletrificar as 12 capitais mais populosas do país.

## 4.2. Frota circulante, distância percorrida e consumo de combustíveis

A metodologia do Inventário do MMA (2014) permite estimar a frota circulante, a distância percorrida pelos veículos e o consumo de combustíveis, variáveis fundamentais para o cálculo das emissões. As evoluções históricas e as projeções da frota circulante e da distância total percorrida pelos veículos mostram o grande peso relativo que têm os automóveis na frota (Gráfico 5) e na distância total percorrida (Gráfico 6). A frota total de veículos, é estimada em 2020 em quase 60 milhões e atinge mais de 100 milhões de unidades em 2050. A distância total percorrida apresenta crescimento de cerca de 50% entre 2020 e 2050.

Gráfico 5: Evolução histórica e projeção da frota circulante por categoria de veículos

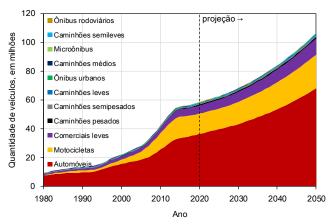
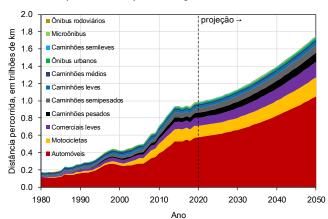


Gráfico 6: Evolução histórica e projeção da distância percorrida por categoria de veículos



No tocante a veículos pesados, a frota circulante parte de um patamar pouco acima de 2 milhões de veículos em 2020 para bater a casa dos 3,5 milhões de veículos em 2050 (Gráfico 7), sendo que os caminhões pesados e semipesados contabilizam quase metade dessa frota. Como esses caminhões de maior porte têm uma taxa de atividade relativamente maior do que as outras categorias de veículos, eles representam mais da metade da distância total percorrida por essa frota (Gráfico 8). A distância total percorrida pelos veículos pesados parte de um patamar de 180 trilhões de quilômetros anuais em 2020 para quase 300 trilhões anuais em 2050.

Os quatro gráficos supracitados são aplicáveis a todos os quatro cenários, uma vez assumida a premissa de que a distância total percorrida pelos veículos independe da sua tecnologia propulsora. Quanto a essa última, podemos observar que a penetração da hibridização e da eletrificação de veículos pesados começam a ocupar participação significativa na frota apenas na década de 2040 (Gráfico 9), mesmo no cenário de maior eletromobilidade (Gráfico 10), assumidas premissas consoantes com o PNE 2050. Projetou-se que o

consumo de óleo diesel, partindo de um patamar de cerca de 45 bilhões de litros atualmente, alcançará aproximadamente entre 70 e 75 bilhões de litros em 2050, a depender da intensidade da hibridização e da eletrificação (Gráfico 11).

Gráfico 7: Evolução histórica e projeção da frota de veículos pesados, por porte

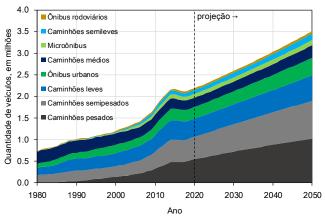


Gráfico 8: Evolução histórica e projeção da distância percorrida por veículos pesados, por porte

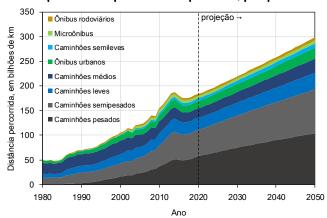


Gráfico 9: Evolução histórica e projeção da frota de veículos pesados por tecnologia nos cenários 1 e 2

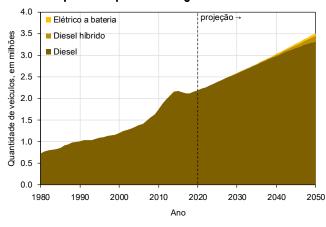
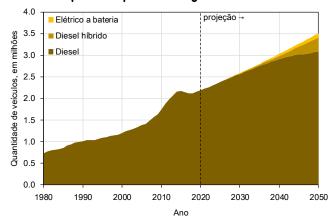


Gráfico 10: Evolução histórica e projeção da frota de veículos pesados por tecnologia nos cenários 3 e 4



Assim, a grande maioria da frota de veículos pesados até 2050 será composta de veículos a diesel, incluindo aí os veículos híbridos diesel-elétricos. Isso indica que as emissões atmosféricas dentro do período analisado serão determinadas fortemente pelos níveis de emissão exigidos para esses veículos. O Gráfico 12, o Gráfico 13, o Gráfico 14 e o Gráfico 15 mostram a evolução da frota de veículos pesados por fase do Proconve, bem como as projeções nos 4 cenários deste estudo. Em 2020, menos da metade dos veículos pesados são da atual fase P7, mas as projeções apontam que até 2050 quase todos os veículos serão da fase P7 ou P8. Nos cenários em que há adiamento da fase P8 para 2025 (Gráfico 13 e Gráfico 15), observase uma maior participação da fase P7 projetada até 2050, em detrimento da fase P8. Os veículos vendidos entre 2022 e 2025 serão utilizados até o fim de suas vidas úteis, assim, o impacto da fase do Proconve a que eles deverão atender se estenderá conforme continuem em circulação.

Gráfico 11: Projeções de consumo de diesel rodoviário nos 4 cenários

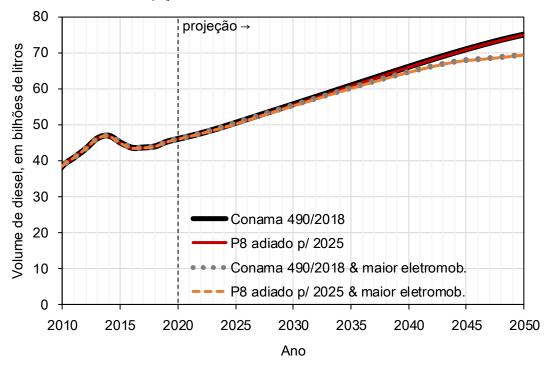


Gráfico 12: Evolução histórica e projeção da frota de veículos pesados por fase do Proconve no cenário 1

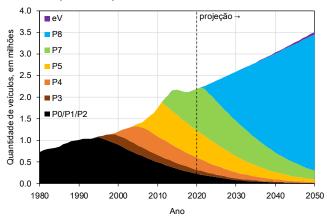


Gráfico 13: Evolução histórica e projeção da frota de veículos pesados por fase do Proconve no cenário 2

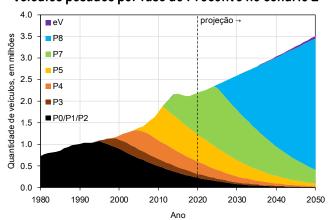


Gráfico 14: Evolução histórica e projeção da frota de veículos pesados por fase do Proconve no cenário 3

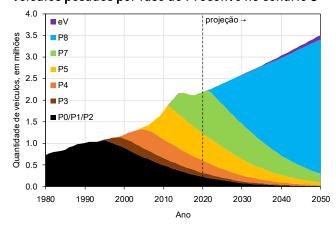
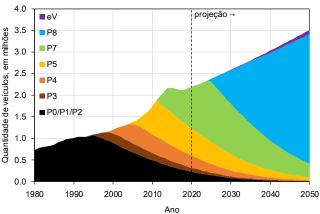


Gráfico 15: Evolução histórica e projeção da frota de veículos pesados por fase do Proconve no cenário 4



Quanto aos veículos leves, a hibridização e a eletrificação projetadas para as frotas é maior do que a de veículos pesados (Gráfico 16 e Gráfico 17). No período projetado, é possível observar uma inflexão na tendência de predominância das tecnologias veiculares híbridas em relação aos motores a combustão convencionais, a partir da década de 2040.

Gráfico 16: Evolução histórica e projeção da frota de veículos leves por tecnologia nos cenários 1 e 2

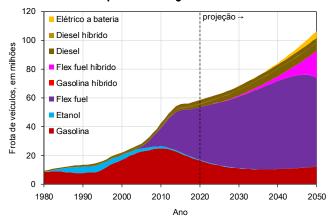
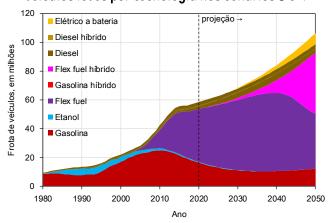


Gráfico 17: Evolução histórica e projeção da frota de veículos leves por tecnologia nos cenários 3 e 4



Projeta-se que a matriz energética que impulsiona os veículos leves sofra mudança significativa, com uma relativa estabilização do consumo de gasolina C (Gráfico 18) e um crescimento sustentado do consumo de etanol hidratado, cujo consumo em 2019 bateu recorde histórico chegando perto dos 25 bilhões de litros e em 2050 ultrapassaria os 40 bilhões de litros.

Gráfico 18: Projeções de consumo de gasolina C no transporte rodoviário nos 4 cenários

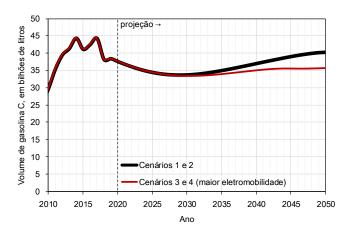
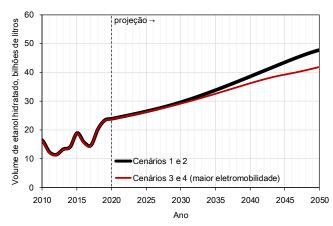


Gráfico 19: Projeções de consumo de etanol hidratado no transporte rodoviário nos 4 cenários



#### 4.3. Emissões de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>)

A evolução histórica das emissões estimadas de NO<sub>x</sub> pelo transporte rodoviário mostra um forte crescimento a partir da segunda metade da década de 1980 até aproximadamente a virada do século, quando se estabilizou por cerca de 10 anos (Gráfico 20), respondendo aos movimentos de crescimento da frota e do controle de emissões. É notório que as emissões de NO<sub>x</sub> no país se dão majoritariamente por veículos pesados, ou seja, caminhões e ônibus. Nota-se que depois de 2012, quando houve o pico de emissões, elas passaram a declinar sustentadamente, o que é explicado pela entrada da fase P7 do Proconve nesse ano, a despeito do sistemático crescimento da frota e da distância percorrida pelos veículos. O gráfico também mostra a projeção das emissões de NO<sub>x</sub> no cenário CONAMA 490/2018. Também fica clara a alteração a ser provocada na curva de emissões pela nova fase P8 do Proconve, a entrar em vigor em 2022, de acordo com a Resolução do CONAMA 490/2018. Com a introdução da fase P8 do Proconve em 2022, projeta-se que no meio da década de 2020, as emissões de NO<sub>x</sub> caiam a patamares abaixo da metade do pico de emissões estimado. A estabilização de emissões é projetada para acontecer poucos anos antes de 2050, num patamar 6 vezes inferior ao pico estimado.

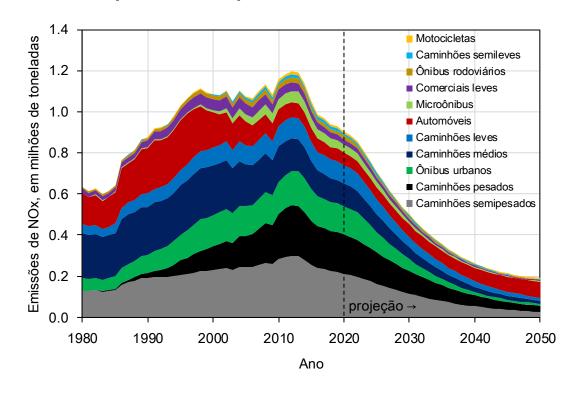
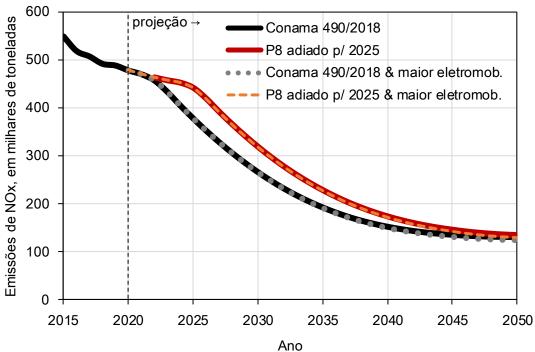


Gráfico 20: Evolução histórica e projeção das emissões de NO<sub>x</sub> no cenário Conama 490/2018

Comparando-se os quatro cenários abordados neste estudo, encontram-se destacadas diferenças nas emissões projetadas de NO<sub>x</sub> entre os cenários em que a Resolução CONAMA 490/2018 é cumprida e os cenários em que o regramento não é cumprido (Gráfico 21). É notável o atraso da queda de emissões nos cenários em que a fase P8 é adiada, com emissões anuais que alcançam níveis até 20% superiores (Tabela 1).

Gráfico 21: Projeções das emissões de NOx no transporte rodoviário nos 4 cenários



Nota-se também que os cenários com maior eletromobilidade, conforme premissas consoantes ao PNE 2050, geram pouco efeito sobre as emissões de NO<sub>x</sub>.

Tabela 1: Emissões de NOx no cenário CONAMA 490/2018 e emissões relativas dos outros cenários

|      | Emissões de NOx (kt) | Emissões de NOx relativas ao cenário Conama 490/2018 |                   |                     |  |
|------|----------------------|--|-------------------|---------------------|--|
| Ano  | Cenário              | Cenário Cenário                                      |                   | Cenário             |  |
| Allo | Conama 490/2018      | P8 adiado p/ 2025                                    | Conama 490/2018 & | P8 adiado p/ 2025 & |  |
|      | Conama 490/2016      | - F6 aulau0 μ/ 2025                                  | maior eletromob.  | maior eletromob.    |  |
| 2015 | 548.2                | 0%   | 0.0%              | 0.0%                |  |
| 2016 | 517.9                | 0%   | 0.0%              | 0.0%                |  |
| 2017 | 506.5                | 0%   | 0.0%              | 0.0%                |  |
| 2018 | 491.1                | 0%   | 0.0%              | 0.0%                |  |
| 2019 | 487.5                | 0%   | 0.0%              | 0.0%                |  |
| 2020 | 477.3                | 0%   | 0.0%              | 0.0%                |  |
| 2021 | 469.3                | 0%   | 0.0%              | 0.0%                |  |
| 2022 | 456.4                | 1.3%   | 0.0%              | 1.3%                |  |
| 2023 | 432.4                | 5.6%   | 0.0%              | 5.5%                |  |
| 2024 | 403.8                | 11.8%  | 0.0%              | 11.7%               |  |
| 2025 | 376.7                | 17.0%  | 0.0%              | 16.9%               |  |
| 2026 | 351.1                | 19.1%  | -0.1%             | 18.9%               |  |
| 2027 | 327.1                | 19.5%  | -0.1%             | 19.3%               |  |
| 2028 | 304.7                | 19.8%  | -0.1%             | 19.6%               |  |
| 2029 | 283.7                | 20.1%  | -0.2%             | 19.8%               |  |
| 2030 | 264.3                | 20.3%  | -0.2%             | 20.0%               |  |
| 2031 | 246.4                | 20.4%  | -0.3%             | 20.0%               |  |
| 2032 | 230.1                | 20.5%  | -0.4%             | 20.0%               |  |
| 2033 | 215.4                | 20.3%  | -0.4%             | 19.8%               |  |
| 2034 | 202.2                | 20.1%  | -0.6%             | 19.4%               |  |
| 2035 | 190.4                | 19.7%  | -0.7%             | 18.9%               |  |
| 2036 | 179.9                | 19.1%  | -0.9%             | 18.1%               |  |
| 2037 | 170.7                | 18.4%  | -1.1%             | 17.3%               |  |
| 2038 | 162.7                | 17.5%  | -1.3%             | 16.2%               |  |
| 2039 | 155.9                | 16.5%  | -1.5%             | 14.9%               |  |
| 2040 | 150.2                | 15.4%  | -1.8%             | 13.6%               |  |
| 2041 | 145.3                | 14.2%  | -2.0%             | 12.1%               |  |
| 2042 | 141.3                | 12.9%  | -2.3%             | 10.6%               |  |
| 2043 | 138.1                | 11.6%  | -2.6%             | 9.0%                |  |
| 2044 | 135.5                | 10.4%  | -2.9%             | 7.4%                |  |
| 2045 | 133.4                | 9.2%   | -3.3%             | 5.8%                |  |
| 2046 | 131.6                | 8.0%   | -3.7%             | 4.3%                |  |
| 2047 | 130.3                | 7.0%   | -4.1%             | 2.9%                |  |
| 2048 | 129.4                | 6.0%   | -4.4%             | 1.6%                |  |
| 2049 | 128.9                | 5.2%   | -4.6%             | 0.6%                |  |
| 2050 | 128.6                | 4.6%   | -4.8%             | -0.3%               |  |

#### 4.4. Emissões de material particulado (MP)

Neste estudo adotamos a classe de material particulado de diâmetro aerodinâmico de 2,5 micrômetros (MP<sub>2.5</sub>)<sup>8</sup> para realizar as estimativas e apresentar os resultados. Além da queima de combustíveis, as emissões de material particulado (MP<sub>2,5</sub>) também ocorrem pelo desgaste de pneus, freio e pista, conforme já indicado no Inventário do MMA (2014). Apesar de essas duas gêneses de material particulado poderem ser reunidas sob uma mesma classe, determinada pelo tamanho máximo das partículas, tratam-se de poluentes que diferem nas suas características físicas e químicas – tamanho das partículas, quantidade de partículas e substâncias na composição – e, portanto, podem apresentar impactos diversos ao meio ambiente e à saúde humana. Para contemplar tais diferenciações mas também uma visão do conjunto, são apresentadas aqui as emissões totais de MP<sub>2,5</sub> – o que inclui as emissões pela combustão e as emissões por desgaste de pneus, freio e pista – e, de forma isolada, as emissões de MP<sub>2,5</sub> originadas da combustão.

Para o transporte rodoviário como um todo, a série histórica das emissões de MP<sub>2.5</sub> total tem um comportamento similar à série histórica das emissões de NO<sub>x</sub>, evidenciando a importância das já transcorridas fases do Proconve para a contenção de emissões a despeito do crescimento da frota de veículos (Gráfico 22 e Gráfico 23). No entanto, a participação das categorias de veículos difere do caso do NO<sub>x</sub>, em que os veículos pesados foram responsáveis por quase toda a emissão até o momento atual. No caso do MP<sub>2.5</sub> total, os automóveis e comerciais leves têm apresentado relevância crescente. A projeção de emissões de MP<sub>2.5</sub> no cenário CONAMA 490/2018 mostra que, ainda que reduções nas emissões sejam esperadas com a introdução da fase P8, apenas essa nova fase não bastará para evitar uma trajetória de emissões crescentes no longo prazo. A projeção indica que haverá uma estabilização do decrescimento num patamar equivalente ao final da década de 1980 seguida de uma inflexão para cima na curva de emissões, que passam a aumentar a partir de 2035, aproximadamente.

Gráfico 22: Evolução histórica e projeção de emissões de MP<sub>2.5</sub> total no cenário CONAMA 490/2018

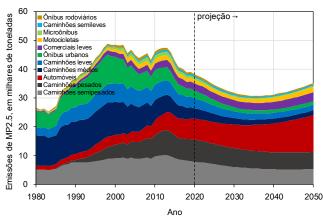
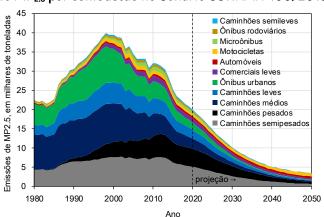


Gráfico 23: Evolução histórica e projeção de emissões de MP<sub>2.5</sub> por combustão no Cenário CONAMA 490/2018



<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> A Resolução CONAMA 491/2018, que dispõe sobre padrões de qualidade do ar, regulamentou o MP<sub>2,5</sub> como um poluente a ser monitorado na determinação da qualidade do ar.

Assim, diferentemente do caso do NO<sub>x</sub>, as emissões de MP<sub>2.5</sub> não mostram tendência de queda no longo prazo, mesmo com a entrada do P8. Ao contrário, os resultados apontam uma tendência de crescimento após 2035. Isso se deve à tendência de crescimento das emissões por desgaste de pneus, freio e pista, cujo controle de emissões nunca foi discutido no país. Em 2020, as emissões por desgaste representam cerca de metade das emissões de MP<sub>2.5</sub>, enquanto as emissões por combustão representam a outra metade (Gráfico 23). É notória a grande participação dos automóveis nessas emissões por desgaste.

Vale lembrar que as emissões de MP<sub>2.5</sub> devido ao desgaste de pista, pneus e freios foram estimadas, no Inventário do MMA (2014), também a partir dos fatores de emissão disponíveis no Guia Europeu para Inventários de Emissões de Poluentes Atmosféricos (EEA, 2009), ou seja, consistem na mesma base de informações onde são adotados os fatores de emissão da Agência Ambiental Europeia, usados neste trabalho para os veículos pesados.

Cabe destacar que, por se tratarem de fatores de emissão europeus, esses podem não refletir a realidade brasileira, tanto no que diz respeito à qualidade da pavimentação, quanto ao material de pneus e freios. Ainda assim, mesmo com tais incertezas destacadas no Inventário do MMA (2014), o aumento dessas emissões, causado pelo aumento da quilometragem percorrida pelos veículos ao longo do tempo, demonstra a importância de realizar tais estimativas.

Comparando-se os cenários em que a Resolução CONAMA 490/2018 é cumprida com os cenários em que o regulamento é descumprido, as diferenças entre os cenários são notáveis, mas não tão destacadas quanto no caso do NO<sub>x</sub>.

Quando se olha para todas as emissões de MP<sub>2.5</sub> total, ou seja, considerando-se, além da combustão, o desgaste de pneus, freio e pista, o atraso em três anos na introdução da fase P8 tem sua significância reduzida, gerando acréscimos de emissões anuais menores que 4% (Tabela 2). Entretando, no caso apenas das emissões por combustão, as diferenças alcançam quase 12% (Tabela 3).

Novamente, assim como para o NO<sub>x</sub>, nota-se que os cenários com maior eletromobilidade, conforme premissas consoantes ao PNE 2050, pouco efeito têm sobre as emissões de MP<sub>2.5</sub>.

Gráfico 24: Projeções de emissões de MP<sub>2.5</sub> total (combustão e desgaste) no transporte rodoviário nos 4 cenários

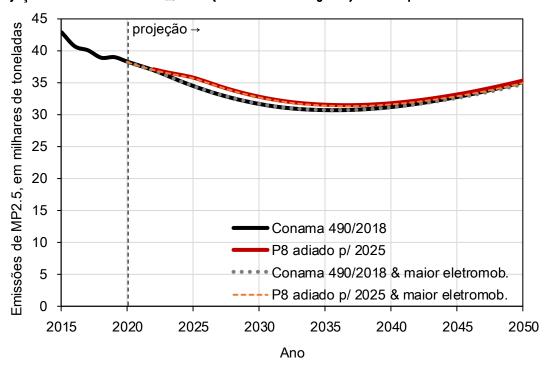


Gráfico 25: Projeções de emissões de MP<sub>2.5</sub> por combustão no transporte rodoviário nos 4 cenários

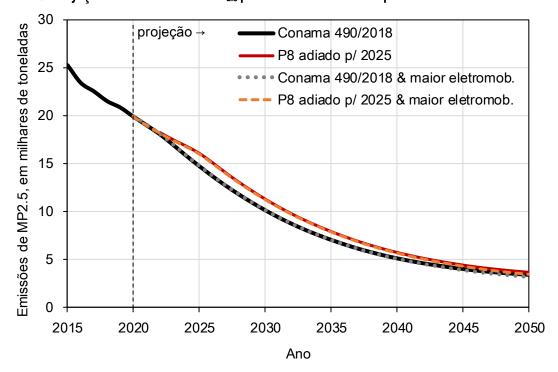


Tabela 2: Emissões de MP<sub>2.5</sub> total no cenário CONAMA 490/2018 e emissões relativas dos outros cenários

|      | Emissões de MP <sub>2.5</sub> (kt) | issões de MP <sub>2.5</sub> (kt) Emissões de MP <sub>2.5</sub> relativas ao cenário Conama 490/2018 |                 |       |                |       |                 |
|------|------------------------------------|---|-----------------|-------|----------------|-------|-----------------|
| Ano  | Cenário                            |   | Cenário Cenário |       | Cenário        |       |                 |
|      | Conama 490/2018                    | <br>  P8 a  | idiado p/ 2025  |       | ma 490/2018 &  |       | diado p/ 2025 & |
|      |                                    |   |                 |       | ior eletromob. |       | ior eletromob.  |
| 2015 | 42.8                               | 0%  |                 | 0.0%  |                | 0.0%  |                 |
| 2016 | 40.6                               | 0%  |                 | 0.0%  |                | 0.0%  |                 |
| 2017 | 40.0                               | 0%  |                 | 0.0%  |                | 0.0%  |                 |
| 2018 | 38.8                               | 0%  |                 | 0.0%  |                | 0.0%  |                 |
| 2019 | 38.9                               | 0%  |                 | 0.0%  |                | 0.0%  |                 |
| 2020 | 38.2                               | 0%  |                 | 0.0%  |                | 0.0%  |                 |
| 2021 | 37.5                               | 0%  |                 | 0.0%  |                | 0.0%  |                 |
| 2022 | 36.8                               | 0.3%  |                 | 0.0%  |                | 0.3%  |                 |
| 2023 | 36.0                               | 1.3%  |                 | 0.0%  |                | 1.3%  |                 |
| 2024 | 35.2                               | 2.7%  |                 | 0.0%  |                | 2.7%  |                 |
| 2025 | 34.4                               | 3.7%  |                 | 0.0%  |                | 3.7%  |                 |
| 2026 | 33.7                               | 4.0%  |                 | 0.0%  |                | 4.0%  |                 |
| 2027 | 33.1                               | 3.9%  |                 | 0.0%  |                | 3.9%  |                 |
| 2028 | 32.5                               | 3.8%  |                 | 0.0%  |                | 3.7%  |                 |
| 2029 | 32.0                               | 3.7%  |                 | -0.1% |                | 3.6%  |                 |
| 2030 | 31.6                               | 3.5%  |                 | -0.1% |                | 3.4%  |                 |
| 2031 | 31.3                               | 3.4%  |                 | -0.1% |                | 3.3%  |                 |
| 2032 | 31.0                               | 3.2%  |                 | -0.1% |                | 3.1%  |                 |
| 2033 | 30.8                               | 3.1%  |                 | -0.2% |                | 2.9%  |                 |
| 2034 | 30.7                               | 2.9%  |                 | -0.2% |                | 2.7%  |                 |
| 2035 | 30.7                               | 2.7%  |                 | -0.2% |                | 2.5%  |                 |
| 2036 | 30.7                               | 2.5%  |                 | -0.2% |                | 2.3%  |                 |
| 2037 | 30.7                               | 2.4%  |                 | -0.3% |                | 2.1%  |                 |
| 2038 | 30.8                               | 2.2%  |                 | -0.3% |                | 1.9%  |                 |
| 2039 | 31.0                               | 2.0%  |                 | -0.3% |                | 1.7%  |                 |
| 2040 | 31.1                               | 1.9%  |                 | -0.4% |                | 1.5%  |                 |
| 2041 | 31.4                               | 1.7%  |                 | -0.4% |                | 1.3%  |                 |
| 2042 | 31.7                               | 1.5%  |                 | -0.4% |                | 1.1%  |                 |
| 2043 | 32.0                               | 1.4%  |                 | -0.5% |                | 0.9%  |                 |
| 2044 | 32.3                               | 1.3%  |                 | -0.5% |                | 0.7%  |                 |
| 2045 | 32.7                               | 1.1%  |                 | -0.6% |                | 0.6%  |                 |
| 2046 | 33.1                               | 1.0%  |                 | -0.6% |                | 0.4%  |                 |
| 2047 | 33.6                               | 0.9%  |                 | -0.7% |                | 0.2%  |                 |
| 2048 | 34.0                               | 0.8%  |                 | -0.8% |                | 0.1%  |                 |
| 2049 | 34.5                               | 0.7%  |                 | -0.8% |                | -0.1% |                 |
| 2050 | 35.0                               | 0.6%  |                 | -0.8% |                | -0.2% |                 |

Tabela 3: Emissões de MP<sub>2.5</sub> por combustão no cenário CONAMA 490/2018 e emissões relativas dos outros cenários

|      | Emissões de MP <sub>2.5</sub> (kt) | Emissões de MP <sub>2.5</sub> relativas ao cenário Conama 490/2018 |                   |                     |  |
|------|------------------------------------|--|-------------------|---------------------|--|
| Ano  | Cenário                            | Cenário Cenário  |                   | Cenário             |  |
| Allo | Conama 490/2018                    | P8 adiado p/ 2025  | Conama 490/2018 & | P8 adiado p/ 2025 & |  |
|      | Conama 490/2010                    | F 6 adiado p/ 2025   | maior eletromob.  | maior eletromob.    |  |
| 2015 | 25.22                              | 0%   | 0.0%              | 0.0%                |  |
| 2016 | 23.39                              | 0%   | 0.0%              | 0.0%                |  |
| 2017 | 22.50                              | 0%   | 0.0%              | 0.0%                |  |
| 2018 | 21.48                              | 0%   | 0.0%              | 0.0%                |  |
| 2019 | 20.82                              | 0%   | 0.0%              | 0.0%                |  |
| 2020 | 19.85                              | 0%   | 0.0%              | 0.0%                |  |
| 2021 | 18.96                              | 0%   | 0.0%              | 0.0%                |  |
| 2022 | 18.02                              | 0.7%   | 0.0%              | 0.7%                |  |
| 2023 | 16.92                              | 2.8%   | 0.0%              | 2.8%                |  |
| 2024 | 15.78                              | 6.0%   | 0.0%              | 5.9%                |  |
| 2025 | 14.69                              | 8.7%   | 0.0%              | 8.6%                |  |
| 2026 | 13.64                              | 9.9%   | 0.0%              | 9.8%                |  |
| 2027 | 12.66                              | 10.2%  | -0.1%             | 10.1%               |  |
| 2028 | 11.75                              | 10.4%  | -0.1%             | 10.3%               |  |
| 2029 | 10.89                              | 10.7%  | -0.1%             | 10.6%               |  |
| 2030 | 10.10                              | 11.0%  | -0.2%             | 10.8%               |  |
| 2031 | 9.36                               | 11.3%  | -0.2%             | 11.0%               |  |
| 2032 | 8.69                               | 11.5%  | -0.3%             | 11.2%               |  |
| 2033 | 8.08                               | 11.7%  | -0.3%             | 11.3%               |  |
| 2034 | 7.52                               | 11.8%  | -0.4%             | 11.3%               |  |
| 2035 | 7.01                               | 11.9%  | -0.5%             | 11.3%               |  |
| 2036 | 6.55                               | 11.9%  | -0.6%             | 11.2%               |  |
| 2037 | 6.12                               | 11.9%  | -0.8%             | 11.1%               |  |
| 2038 | 5.74                               | 11.8%  | -0.9%             | 10.8%               |  |
| 2039 | 5.40                               | 11.6%  | -1.1%             | 10.4%               |  |
| 2040 | 5.09                               | 11.4%  | -1.4%             | 10.0%               |  |
| 2041 | 4.82                               | 11.1%  | -1.7%             | 9.4%                |  |
| 2042 | 4.57                               | 10.7%  | -2.0%             | 8.7%                |  |
| 2043 | 4.36                               | 10.3%  | -2.4%             | 7.9%                |  |
| 2044 | 4.16                               | 9.8%   | -2.8%             | 7.0%                |  |
| 2045 | 3.99                               | 9.3%   | -3.5%             | 5.8%                |  |
| 2046 | 3.83                               | 8.8%   | -4.3%             | 4.5%                |  |
| 2047 | 3.70                               | 8.3%   | -5.0%             | 3.2%                |  |
| 2048 | 3.58                               | 7.7%   | -5.8%             | 1.9%                |  |
| 2049 | 3.47                               | 7.2%   | -6.4%             | 0.8%                |  |
| 2050 | 3.38                               | 6.7%   | -6.9%             | -0.2%               |  |

#### 5. Conclusões

Este estudo foi realizado segundo métodos oficiais, informações e dados atuais e disponíveis. Vale ressaltar que os resultados obtidos são caracterizados pelas incertezas que incorrem em todas as premissas e limitações dos métodos e dados de insumo para as estimativas, podendo e devendo ser questionados, aprofundados e revisitados à luz de estudos mais avançados por vir.

Em especial, conforme já destacado no Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2014), existem significativas incertezas quanto a fatores de emissão de escapamento. Por enquanto, esses dependem da durabilidade de sistemas catalíticos, condições de uso e condições de manutenção. Ademais, os fatores de emissão por desgaste de pneus, freio e pista também são objeto de estudo apenas recente no mundo. No Brasil, assim como em diversos países, essas emissões não são regulamentadas.

Foi possível averiguar a importância que a introdução da fase P8 do Proconve terá na consolidação de uma trajetória de redução de emissões de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), a nível nacional. O atraso na implementação da fase implicará em emissões anuais, entre 2025 e 2037, próximas a 20% maiores em comparação com a implementação no prazo. Os NO<sub>x</sub>, além de causarem danos à saúde por si só, também são precursores da formação do ozônio (O<sub>3</sub>) troposférico, um poluente cujas concentrações ambientais vêm há décadas violando os padrões de qualidade do ar em cidades brasileiras que o monitoram.

Quanto ao material particulado (MP<sub>2.5</sub>), o exercício o aponta como um poluente de controle mais desafiador. Ainda que reduções nas emissões sejam esperadas com a introdução da fase P8, os resultados indicam que apenas essa nova fase não basta para evitar uma trajetória de emissões crescentes no longo prazo. Os resultados mostraram que o Proconve contribuiu para estabelecer uma trajetória decrescente de emissões de MP<sub>2.5</sub> desde o final da década de 1980. Mas as projeções indicam que haverá uma inflexão na curva de emissões, que passam a aumentar a partir de 2035, aproximadamente.

Isso se dará por conta das emissões por desgaste de pneus, freio e pista, que seguem em crescimento proporcional ao aumento da distância total percorrida pelos veículos. Conforme já apontado no Inventário do MMA (2014) é preciso atenção sobre essas emissões, que até o momento nunca foram objeto de medidas de controle:

"Uma vez que as emissões provenientes do desgaste não podem ser controladas por medidas similares àquelas adotadas pelo PROCONVE, a estimativa é que essas emissões venham a crescer e tomar importância cada vez maior, apontando, assim, a necessidade de estudos mais detalhados sobre estas emissões, dos processos envolvidos em sua geração e de métodos para seu controle." (MMA, 2014)

No caso do MP<sub>2.5</sub>, o adiamento da fase P8 não se destaca tanto quanto no caso do NO<sub>x</sub>. Quando se olha para todas as emissões de MP<sub>2.5</sub>, ou seja, considerando-se a combustão e o desgaste de pneus, freio e pista, o atraso em três anos na introdução da fase P8 tem sua significância menor, com emissões

aumentadas em 4%. Mas tomando-se apenas as emissões por combustão, as emissões alcançam patamares até quase 12% maiores.

Ademais, a partir da consideração de cenários de menor e maior eletromobilidade, baseando-se nas premissas do Plano Nacional de Energia 2050, foi possível constatar que o Proconve foi e continuará sendo um instrumento efetivo para o controle de emissões de veículos pesados, dentro do horizonte até 2050. Os motores a diesel, incluindo aí os híbridos diesel-elétricos, tenderão a predominar no mercado, produzindo um cenário de crescimento sustentado da demanda por óleo diesel no transporte rodoviário.

Este estudo adotou o abrangente recorte da totalidade do transporte rodoviário. No entanto, sabemos que as emissões não ocorrem de forma espacialmente homogênea no país, variando com a concentração de veículos nos centros urbanos e as características da frota de cada local. Assim, o comportamento das emissões aqui apresentados varia de localidade a localidade, ou seja, o impacto da introdução de novas fases do Proconve ou outras tecnologias propulsoras será mais ou menos acentuado a depender de características locais. Portanto, o impacto no meio ambiente e na saúde humana também variará de acordo com o local.

As redes de monitoramento da qualidade do ar mostram que as concentrações de material particulado em muitas cidades brasileiras se encontram há décadas em níveis superiores àqueles recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), o que evidencia o desafio que é controlar o poluente. Estudos de saúde pública apontam a poluição do ar, e em especial as partículas inaláveis, como a principal causa de mortes prematuras no país e no mundo. Em 2020, as mortes estimadas como relacionadas a poluição do ar foram menores apenas do que aquelas em decorrência da síndrome respiratória aguda grave provocada pelo novo coronavírus (Sars-Cov2).

Dentro deste contexto, ações para reduzir as emissões de material particulado são necessidades de primeira ordem para a preservação da vida e da saúde da população. Nesse sentido, o cumprimento da Resolução CONAMA 490/2018 se mostra um instrumento valioso do qual a sociedade não pode prescindir para atingir concentrações do poluente em níveis compatíveis com as recomendações da OMS. Considerando que se trata de tecnologia dominada há mais de 5 anos pelas matrizes no exterior das empresas fabricantes de veículos no Brasil, mesmo que insuficiente, a introdução da fase P8 do Proconve em tempo hábil se apresenta necessária para a consecução desse objetivo.

Por fim, as projeções das emissões totais de MP<sub>2,5</sub> evidenciam a forte ligação entre o crescimento da atividade veicular e o crescimento das emissões em todo o horizonte futuro analisado, indicando que apenas o progressivo aprimoramento tecnológico dos veículos, apesar de fundamental, não será suficiente para reduzir completamente as emissões. Disrupções nos padrões de mobilidade de pessoas e cargas no país não foram consideradas neste estudo. Mas ações para reduzir a necessidade de viagens motorizadas, encurtar as distâncias de viagens, e promover o uso de modos mais eficientes de transporte são estratégias de mitigação de emissões complementares à aplicação de novas tecnologias, e que podem trazer outros benefícios sócioeconômicos.

## **REFERÊNCIAS**

ABRACICLO, 2019. Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares. "Anuário da Indústria Brasileira de Duas Rodas 2019".

ANFAVEA, 2020. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. "Anuário da Indústria Automobilítica Brasileira 2020". Janeiro de 2020.

CETESB, 2019. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. "Relatório de Emissões veiculares no Estado de São Paulo". 2019.

ANP, 2010. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. "Plano de Abastecimento de Óleo Diesel de Baixo Teor de Enxofre." 2010.

EEA, 2019. European Environment Agency. Air Pollution Emission Inventory Guidebook. 2019.

EPE, 2016. Empresa de Pesquisa Energética. "Nota Técnica DEA 13/15 - Demanda de Energia 2050". Janeiro de 2016.

FENABRAVE, 2020. Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores. "Anuário do Setor de Distribuição de Veículos Automotores no Brasil/2019". Março de 2020.

ICCT, 2009. International Council on Clean Transportation. "A policy-relevant summary of black carbon climate science and appropriate emission control strategies". 2009.

IEMA, 2014. Instituto de Energia e Meio Ambiente. "Avaliação dos efeitos da implantação de faixas exclusivas em SP: tempo de viagem, consumo de combustível e emissões de poluentes - 1ª etapa". Agosto de 2014.

IEMA, 2015. Instituto de Energia e Meio Ambiente. "Análise Preliminar sobre a Implantação do Padrão Euro VI no Brasil". Fevereiro de 2015.

IPT, 2007. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. "Ensaios comparativos de ônibus urbanos - Relatório Técnico nº 91.377-205". Junho de 2007.

MMA, 2014. Ministério do Meio Ambiente. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013 Ano Base 2012. 2014.

MME/EPE, 2020a. Ministério de Minas e Energia e Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional. 2020.

MME/EPE, 2020b. Ministério de Minas e Energia e Empresa de Pesquisa Energética. Documento sobre Transporte do Plano Nacional de Energia 2050. Em consulta pública desde 13 de julho de 2020.

## ANEXO - Fatores de emissão para veículos pesados

Uma diferença do presente exercício em relação ao Inventário do MMA (2014) foi a adoção, para os veículos pesados, de fatores de emissão e consumo de combustível recomendados pela Agência Ambiental Europeia para estimar emissões do transporte rodoviário – Livro-guia de inventários de emissões de poluentes atmosféricos (EEA, 2019). Tais fatores foram elaborados a partir de medições feitas em dinamômetros de motor, de chassis e medições *on-board* para todas as fases Euro, de modo a simular melhor as condições reais de uso, especialmente em meio urbano, em comparação com os testes de motor realizados para a homologação de veículos.

A base de dados de fatores de emissão e consumo de combustível disponível na página da Agência Ambiental Europeia $^9$  apresenta fatores de emissão de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e material particulado emitido na combustão (MP<sub>combustão</sub>), além de consumo de óleo diesel por quilômetro para veículos pesados – caminhões e ônibus. Esses fatores são apresentados na forma de funções dependentes do tipo de veículo, da fase tecnológica do motor (fases Euro), da carga do veículo (0%, 50% ou 100% carregado), da declividade da pista (-6%, -4%, -2%, 0%, 2%, 4% ou 6%) e da velocidade média de circulação (Figura 2).

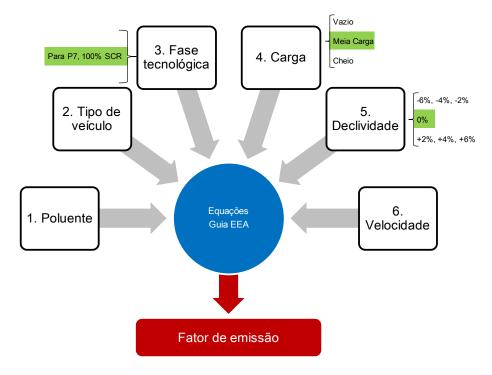


Figura 2: Variáveis que influenciam os fatores de emissão da Agência Ambiental Europeia

-

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/road-transport-appendix-4-emission/view

Neste estudo, assumimos as seguintes simplificações para o cálculo dos fatores de emissão:

- (a) Para a composição da frota P7, foi assumido que 100% dos veículos dessa fase possuem sistemas SCR. Além disso, a correlação dos tipos de veículos da segmentação do Inventário do MMA (2014) com as classes adotadas pela Agência Ambiental Europeia foi feita com base em dados de vendas, no Brasil, de veículos pesados novos em 2013, levantados pela empresa ADK Automotive e adquiridos pelo IEMA, de acordo com a tabela abaixo;
- (b) Os veículos circulam com 50% de sua carga máxima;
- (c) A declividade das vias é de 0%;
- (d) Com base no "Estudo Comparativo de Ônibus Urbanos" do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2007), na "Avaliação dos Efeitos da Implantação de Faixas Exclusivas em São Paulo" (IEMA, 2014) e no tipo de uso mais característica para cada categoria de veículo, foram atribuídas velocidades médias de acordo com a tabela na página seguinte.

Classificação de veículos para as classes do Guia EEA (2019) e para as do Inventário do MMA (2014)

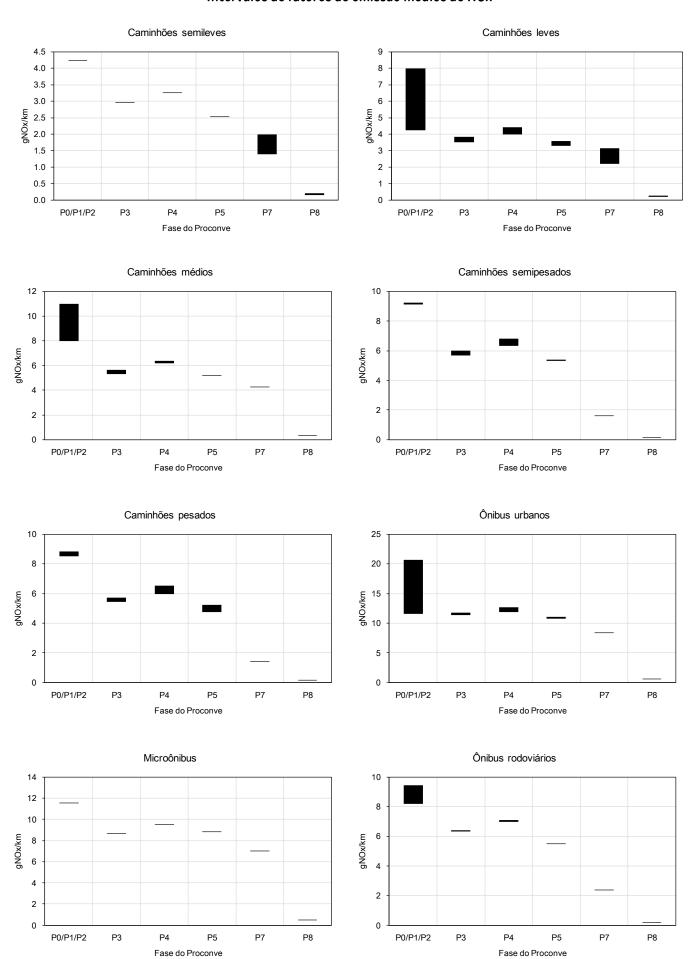
|                              |                                | <u> </u>                    |
|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Dados ADK ———                |                                | → Inventário do MMA (2014)  |
|                              | Rigid <=7,5 t                  | Semileves 3,5 - 6 t         |
|                              | Rigid <=7,5 t                  | Leves 6 - 10 t              |
|                              | Rigid 7,5 - 12 t               | Leves 6 - 10 t              |
|                              | Rigid 7,5 - 12 t               |                             |
|                              | Rigid 12 - 14 t                | Médios 10 - 15 t            |
|                              | Rigid 14 - 20 t                | Wedios 10 - 15 t            |
|                              | Articulated 14 - 20 t          |                             |
|                              | Rigid 14 - 20 t                |                             |
|                              | Rigid 20 - 26 t                |                             |
|                              | Rigid 26 - 28 t                |                             |
| Vendas de veículos ano a ano | Rigid 28 - 32 t                |                             |
| por tipo, modelo e peso      | Rigid >32 t                    | Semipesados e Pesados >15 t |
| por lipo, modelo e peso      | Articulated 14 - 20 t          | Sempesados e resados > 15 t |
|                              | Articulated 20 - 28 t          |                             |
|                              | Articulated 28 - 34 t          |                             |
|                              | Articulated 34 - 40 t          |                             |
|                              | Articulated 40 - 50 t          |                             |
|                              | Urban Buses Midi <=15 t        | Microônibus                 |
|                              | Urban Buses Midi <=15 t        |                             |
|                              | Urban Buses Standard 15 - 18 t | Ônibus Urbanos              |
|                              | Urban Buses Articulated >18 t  |                             |
|                              | Coaches Standard <=18 t        | Ônibus Rodoviários          |
|                              | Coaches Articulated >18 t      | Offibus (Youdvialios        |

Velocidade média assumida para cada categoria de veículo

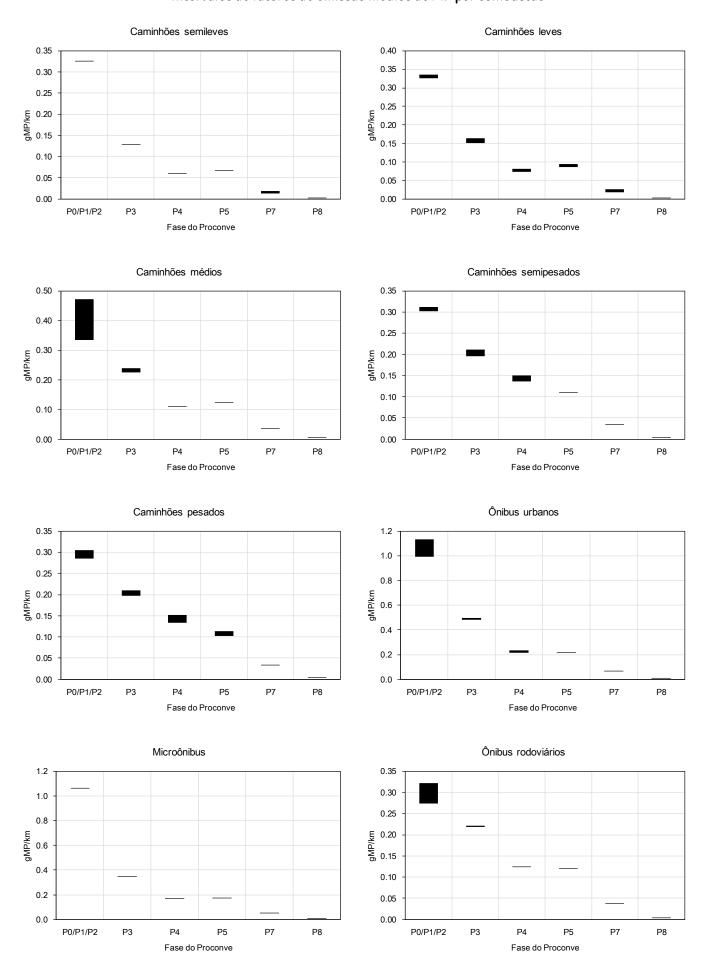
| Categoria de veículo  | Ciclo de teste         | Velocidade média (km/h) |
|-----------------------|------------------------|-------------------------|
| Caminhões semileves   | Ciclo urbano NBR 7024  | 34,3                    |
| Caminhões leves       | Ciclo urbano NBR 7024  | 34,3                    |
| Caminhões médios      | Ciclo urbano NBR 7024  | 34,3                    |
| Caminhões semipesados | Ciclo estrada NBR 7024 | 77,7                    |
| Caminhões pesados     | Ciclo estrada NBR 7024 | 77,7                    |
| Microônibus           | Ciclo Manhattan        | 19,8                    |
| Ônibus urbanos        | Ciclo Manhattan        | 19,8                    |
| Ônibus rodoviários    | Ciclo estrada NBR 7024 | 77,7                    |

Como resultado dessas entradas, foram obtidos os fatores de emissão para óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e material particulado emitido na combustão (MP<sub>comb</sub>) para as categorias de interesse.

#### Intervalos de fatores de emissão médios de NOx



## Intervalos de fatores de emissão médios de MP por combustão





www.energiaeambiente.org.br



instituto-de-energia-e-meio-ambiente



@energiaeambiente



institutoenergiaeambiente



@iema\_instituto