



# RISCOS AMBIENTAIS DA DIESELIZAÇÃO DOS VEÍCULOS LEVES

Tim Dallmann e Cristiano Façanha

## AGRADECIMENTOS

O financiamento desta pesquisa foi generosamente fornecido pela Pisces Foundation e pela William and Flora Hewlett Foundation. Os autores gostariam de agradecer ao Josh Miller pela assistência na modelagem de emissões veiculares e à equipe do Conselho Internacional de Transporte Limpo (ICCT), que analisou este trabalho, incluindo Kate Blumberg, Francisco Posada e Ray Minjares.

International Council on Clean Transportation  
1225 I Street NW Suite 900  
Washington, DC 20005 USA

[communications@theicct.org](mailto:communications@theicct.org) | [www.theicct.org](http://www.theicct.org) | [@TheICCT](https://twitter.com/TheICCT)

© 2016 International Council on Clean Transportation

# ÍNDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Sumário executivo</b> .....  | <b>ii</b> |
| <b>1 Histórico</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>2 Qualidade do ar e panorama regulatório</b> .....                       | <b>3</b>  |
| Preocupações com a qualidade do ar no Brasil.....                           | 3         |
| Histórico regulatório de LDVs.....  | 4         |
| Qualidade do combustível.....   | 8         |
| Mercado atual de veículos a diesel leves.....                               | 8         |
| <b>3 Riscos ambientais da dieselização da frota de veículos leves</b> ..... | <b>11</b> |
| Emissões de PM <sub>2,5</sub> .....   | 12        |
| Emissões de NO <sub>x</sub> .....   | 15        |
| Impactos climáticos.....  | 18        |
| <b>Conclusões</b> .....   | <b>21</b> |
| <b>Referências</b> .....  | <b>23</b> |

## SUMÁRIO EXECUTIVO

Embora o Brasil tenha restringido a venda de carros a diesel desde a década de 70, a indústria automotiva vem pressionando o governo para suspender as restrições desde 2013. Embora a poluição veicular contribua bastante para a má qualidade do ar nas cidades do Brasil, esta restrição tem limitado seus impactos adversos, principalmente em comparação com a Europa e Índia, onde as políticas que apoiam a dieselização combinadas com fracas normas de emissão veicular têm contribuído para graves problemas de qualidade do ar e têm resultado em impactos adversos à saúde humana. As agências reguladoras brasileiras devem manter as restrições sobre carros a diesel para evitar a exacerbação de problemas de qualidade do ar, impactos nocivos à saúde humana e aumento das emissões de poluentes climáticos.

Apesar do progresso gerado pelo PROCONVE, o programa brasileiro de controle de emissões veiculares, a qualidade do ar em muitas cidades brasileiras ainda não atende às diretrizes recomendadas pela Organização Mundial da Saúde. Embora as políticas brasileiras restrinjam a venda de carros a diesel, veículos comerciais leves (LCVs, em sua sigla em Inglês) a diesel podem ser vendidos no país. Embora os LCVs representem apenas 6% das vendas de veículos leves (LDVs, em sua sigla em inglês) no país, estima-se que sejam responsáveis por aproximadamente 30% das emissões de óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e 65% das emissões de partículas finas ( $\text{PM}_{2.5}$ ) de novos veículos leves. Devido a este grande impacto, reduzir as emissões desta importante fonte deve ser uma prioridade para ações regulatórias brasileiras. De forma mais ampla, qualquer ação governamental com impacto nas emissões veiculares, tal como uma possível suspensão das restrições sobre carros a diesel, deve ser avaliada sob a ótica dos potenciais impactos à qualidade do ar e saúde humana.

Esta análise examina os riscos ambientais da comercialização de carros a diesel no Brasil, incluindo um potencial aumento nas emissões de  $\text{NO}_x$  e  $\text{PM}_{2.5}$ , que pioram a qualidade do ar e afetam negativamente a saúde humana, assim como os gases do efeito estufa e outros tipos que contribuem para as mudanças climáticas. A análise conclui que, considerando as normas regulatórias atuais, a comercialização ampla de carros a diesel aumentaria significativamente as emissões de  $\text{NO}_x$  e  $\text{PM}_{2.5}$ , contribuindo para uma qualidade do ar inadequada e acrescentando 150.000 mortes prematuras até 2050. Mesmo uma taxa moderada de dieselização, com veículos a diesel representando cerca de 15% das vendas de veículos leves após 2030, poderia resultar em até 32.000 mortes prematuras adicionais até 2050. Além disso, esta análise mostra que a comercialização de carros a diesel também resultaria no aumento de impactos climáticos devido às emissões adicionais de dióxido de carbono e carbono negro.

O Brasil deveria aprender com as experiências regulatórias dos países desenvolvidos que implementaram políticas robustas para mitigar os impactos ambientais de veículos a diesel. Os Estados Unidos, por exemplo, têm não apenas normas de emissões veiculares com limites restritos e ciclos de testes representativos, mas também contam com sólidas práticas de conformidade em uso que garantem que as emissões em condições normais de uso atendam aos limites de certificação. As normas de emissões veiculares na União Europeia (UE) não têm sido suficientes para controlar adequadamente as emissões de veículos a diesel em situações reais, e a qualidade do ar em muitas cidades continua a ser penalizada como consequência da existente frota a diesel assim como da nova frota a diesel sendo atualmente vendida. A UE está atualmente discutindo propostas para fortalecer a conformidade em uso de forma a controlar as emissões de diesel e resolver

os problemas de qualidade do ar, mas mesmo no melhor dos casos os veículos a diesel continuarão podendo ter duas vezes mais emissões de  $\text{NO}_x$  que os veículos a gasolina.

O Brasil atualmente não tem políticas suficientemente robustas para mitigar os impactos ambientais dos carros a diesel. Antes de considerar a suspensão das restrições de carros a diesel, o Brasil deveria implementar as seguintes três ações: Primeiro, o Brasil deveria adotar normas de emissões veiculares equivalentes às normas US Tier 2 ou Euro 6 para garantir que veículos a diesel sejam equipados com filtros de partículas e se proteger contra os piores impactos à saúde e qualidade do ar causados pelos veículos a diesel. Segundo, o diesel de 500 ppm (S500) deveria ser totalmente eliminado para evitar o abastecimento incorreto e danos aos sistemas de controle de pós-tratamento. Por fim, as agências reguladoras brasileiras deveriam implementar um programa eficaz de conformidade em uso e fiscalização para garantir que as emissões de  $\text{NO}_x$  de veículos a diesel em condições normais de uso sejam controladas através de procedimentos de certificação.

# 1 HISTÓRICO

A comercialização de diesel para veículos de passageiro e comerciais com capacidade de menos de 1.000 kg (ou seja, peso do motorista, passageiros e carga) não é permitida no Brasil desde a década de 70 (DNC, 1994). Esta política foi implantada principalmente para reduzir a dependência de petróleo importado e o déficit no comércio, em resposta a preços altos de *commodities* no mercado internacional após a crise do petróleo em 1973. A política do governo também buscou manter impostos menores para o diesel (20% para diesel e 35% para gasolina) para melhorar a competitividade do transporte público e baixar os custos das mercadorias.

Mesmo sem carros a diesel, este combustível ainda gera desequilíbrios na balança comercial do Brasil devido à alta demanda pelo diesel dos setores de transporte rodoviário de cargas, transporte público e geração de eletricidade em comunidades ribeirinhas na Região Amazônica. Embora as refinarias brasileiras procurem maximizar a produção de diesel, o Brasil ainda é um importador de diesel, conforme ilustrado na Figura 1. Entre 2000 e 2014, o Brasil teve importações líquidas de diesel na ordem de 94 milhões de metros cúbicos, gerando um déficit total na balança comercial de \$50 bilhões (FOB). Em 2014, as importações de diesel suprimam cerca de 19% das vendas nacionais de diesel (ANP, 2015).

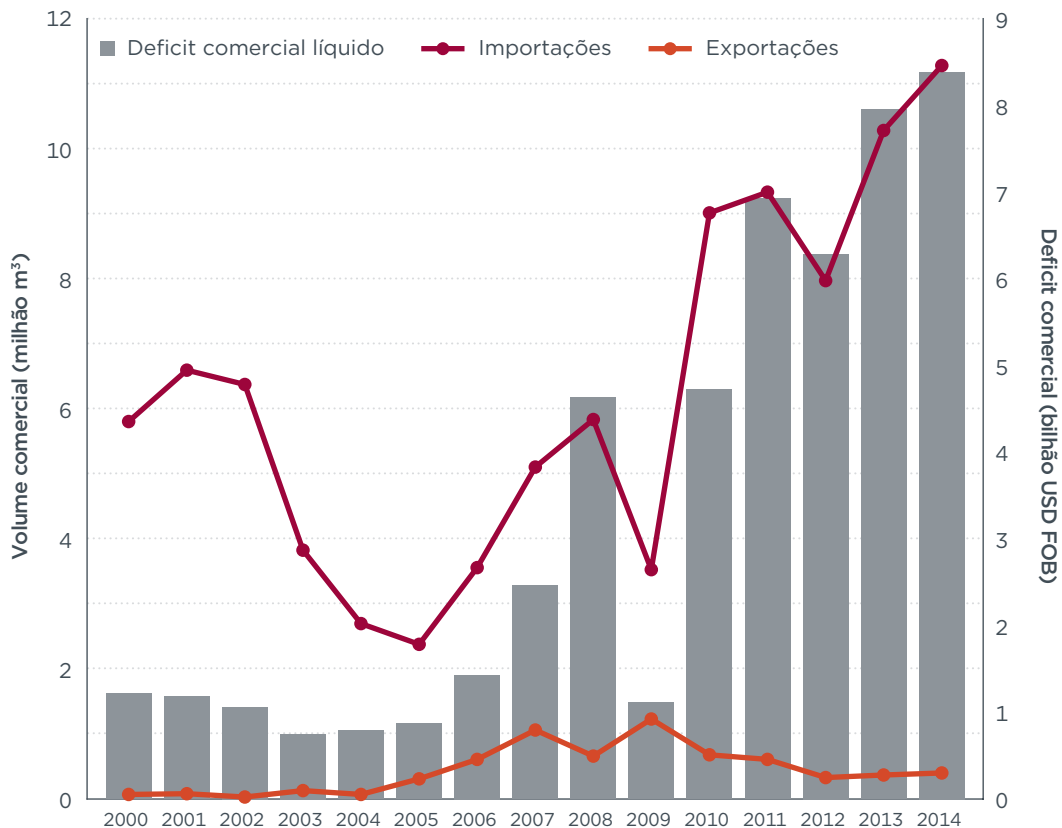


Figura 1. Estatísticas do comércio de diesel (ANP, 2015).

Apesar das antigas restrições sobre a comercialização de LDVs a diesel no Brasil, algumas empresas da indústria automotiva incluindo a Mahle, MWM International, Delphi, Bosch, BorgWarner e Honeywell formaram uma aliança para pressionar as agências reguladoras brasileiras a suspender as restrições (Aprove Diesel, 2015). Para responder a estas pressões, o governo brasileiro criou uma comissão para avaliar a comercialização de carros a diesel no Brasil (Câmara dos Deputados, 2015). Este estudo coloca de forma veemente que permitir a venda de LDVs a diesel com as políticas fiscais e normas de emissão atuais pioraria a qualidade do ar e traria um pesado ônus à saúde humana. Destarte, as agências reguladoras brasileiras devem manter as restrições sobre LDVs a diesel até que as normas de emissões veiculares estejam alinhadas com as normas US Tier 2 ou Euro 6, que o diesel S500 seja totalmente eliminado, e que um programa eficaz de conformidade em uso e fiscalização seja implantado.

## 2 QUALIDADE DO AR E PANORAMA REGULÓRIO

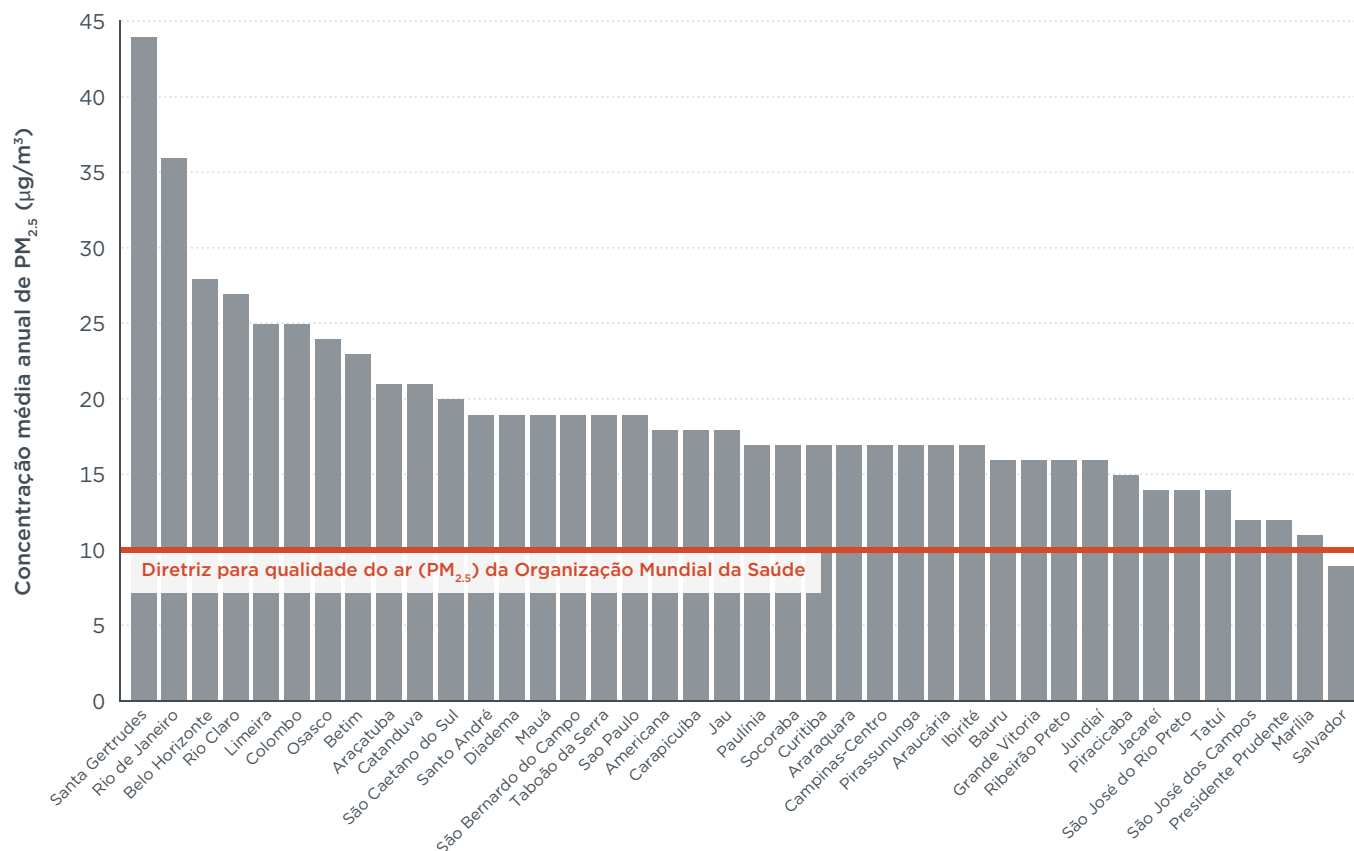
### PREOCUPAÇÕES COM A QUALIDADE DO AR NO BRASIL

A introdução proposta de carros a diesel no Brasil tem o potencial de exacerbar atuais problemas na qualidade do ar no país, particularmente em grandes regiões metropolitanas onde veículos são uma fonte significativa de emissões. A poluição do ar é um risco significativo para a saúde humana, cuja exposição vem sendo associada a 3,2 milhões de mortes prematuras em nível global em 2010 (Lim et al, 2012). Embora haja um grande e diverso conjunto de poluentes contribuindo para os problemas de qualidade do ar, dois dos poluentes que mais impactam a saúde humana são os particulados finos ( $PM_{2,5}$ ) e o ozônio ( $O_3$ ).

Os particulados finos consistem em partículas líquidas ou sólidas com diâmetros de menos de 2,5 micrometro em suspensão no ar. Devido a seu pequeno tamanho, o  $PM_{2,5}$  pode ser aspirado profundamente nos pulmões e tem sido associado a uma série de efeitos à saúde, incluindo doenças pulmonares e cardiovasculares (Pope & Dockery, 2006; Brook et al, 2010). O ozônio ao nível do solo é formado na atmosfera por meio de reações de gases precursores — óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) e compostos orgânicos voláteis (COVs) — e a luz solar. O ozônio é um forte agente irritante respiratório; a exposição em curto prazo pode exacerbar condições respiratórias existentes, enquanto a exposição crônica ao  $O_3$  pode afetar o funcionamento dos pulmões e aumentar o risco de morte por causa respiratória (Jerrett et al, 2009).

Medições recentes de concentrações ambientes de  $PM_{2,5}$  e  $O_3$  em cidades brasileiras têm mostrado níveis que excedem os valores recomendados e limites regulatórios nacionais. Por exemplo, a Figura 2 mostra a média anual de concentrações de  $PM_{2,5}$  em 45 cidades brasileiras, conforme reportado no Banco de Dados de Poluição do Ar Ambiente da OMS (OMS, 2014). Entre estas 40 cidades, apenas uma atende o valor das diretrizes de qualidade do ar da OMS de  $10 \mu g m^{-3}$  para  $PM_{2,5}$  e os níveis nas cidades mais poluídas estão até quatro vezes maiores que o valor das diretrizes. O Brasil tem uma norma nacional para concentração de  $PM_{10}$ , mas não para  $PM_{2,5}$ . Da mesma forma, uma análise dos dados de monitoramento regulatório de São Paulo mostra excedências regulares sobre a norma nacional para ozônio (IEMA, 2015). Entre 2000 e 2014 houve em média 21 excedências à norma de  $O_3$  por ano em cada uma das estações de monitoramento da região metropolitana de São Paulo. Neste intervalo, não houve mudanças claras nos níveis de poluição de  $O_3$  na região, apesar de esforços do governo para controlar as emissões de precursores de ozônio (Carvalho et al, 2015).





**Figura 2.** Média anual de concentrações em massa de PM<sub>2.5</sub> em cidades brasileiras (OMS, 2014).

Resolver questões de qualidade do ar exige um entendimento completo das fontes responsáveis pelas emissões de poluentes. Para esta finalidade, pesquisadores têm realizado estudos para estimar a contribuição de fontes individuais para concentrações de PM<sub>2.5</sub>. Em um destes estudos, Andrade et al (2010) investigaram contribuições de fontes específicas, incluindo veículos, para concentração de PM<sub>2.5</sub> em seis cidades brasileiras: São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba, Belo Horizonte, Recife, e Porto Alegre. A fração de PM<sub>2.5</sub> ambiente atribuída a veículos motores variava de 18% em Belo Horizonte a 55% em Curitiba. Em média, estima-se que as emissões de veículos representem 40% da concentração de PM<sub>2.5</sub> nestas cidades brasileiras. Estas constatações mostram claramente que qualquer estratégia para mitigar problemas de qualidade do ar no Brasil deve incluir o controle contínuo de emissões veiculares como um componente principal. Qualquer mudança nas políticas atuais sobre veículos, como a proposta da introdução de carros a diesel, deve ser considerada com relação a seu impacto na qualidade do ar nas cidades e na saúde humana.

## HISTÓRICO REGULATÓRIO DE LDVS

As emissões veiculares no Brasil são regulamentadas pelo Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). Implementado em 1986, o PROCONVE estabelece limites sobre a quantidade de poluentes do ar que podem ser emitidos por veículos novos vendidos no país. Tanto veículos pesados quanto leves (HDV e LDV, respectivamente) são regulados por este programa, com os LDVs definidos como aqueles com peso bruto menor ou igual a 3.856 kg. Os LDVs são ainda divididos

em duas categorias com base na aplicação: veículos leves de passageiros e veículos leves comerciais (LCVs). Os veículos leves de passageiros são definidos como aqueles projetados para transporte de até 12 passageiros, enquanto veículos projetados para transporte de mercadorias, de mais de 12 passageiros ou com características de uso específico *off-road* são regulamentados como LCVs (IBAMA, 2011). As políticas atuais restringem a venda de veículos leves de passageiros a diesel no Brasil; no entanto, LCVs a diesel com capacidade maior que 1.000 kg são permitidos.

Emissões de LDVs novos vendidos no Brasil são atualmente regulamentadas por meio da norma PROCONVE L6, que foi totalmente implementada entre 2013 (para motores do ciclo diesel) e 2015 (para motores do ciclo Otto). Se os carros a diesel fossem introduzidos na frota brasileira, eles estariam sujeitos às normas de emissão PROCONVE L6, resumidas na Tabela 1. Em geral, as normas de emissões para LCVs com menos de 1.700 kg são similares àquelas para veículos leves de passageiros. As normas para LCVs com peso maior que 1.700 kg são menos exigentes. Os veículos são certificados seguindo os procedimentos da Norma Brasileira NBR 6601, que inclui um ciclo de testes com dinamômetro baseado no ciclo de testes FTP-75. Os requisitos de durabilidade para LDVs no Brasil são de 80.000 km ou 5 anos.

**Tabela 1.** Detalhes do programa regulatório de veículos leves no Brasil, PROCONVE L6

| Tipo de veículo                         | Descrição  | Motores a diesel permitidos?            | Norma de emissões de NO <sub>x</sub> g/km | Norma de emissões de PM g/km | Ciclo de testes       | Durabilidade        | OBD  |
|---|--|---|---|------------------------------|-----------------------|---------------------|--|
| <b>Veículo de passageiro</b>            | Veículo usado para transporte de até 12 passageiros  | Não                                     | 0,08                                      | 0,025                        | NBR 6601 <sup>c</sup> | 80.000 km ou 5 anos | OBDBr_2 <sup>a</sup><br>OBDBr_D <sup>b</sup> |
| <b>Veículo comercial (≤1.700 kg)</b>    | Veículo usado para transporte de mais de 12 passageiros, mercadorias ou aplicações específicas <i>off-road</i> | Para veículos com capacidade > 1.000 kg | 0,08                                      | 0,03                         |                       |                     |  |
| <b>Veículo comercial (&gt;1.700 kg)</b> |  | Sim                                     | 0,25 <sup>a</sup> ou 0,35 <sup>b</sup>    | 0,04                         |                       |                     |  |

<sup>a</sup>Veículos a gasolina ou etanol

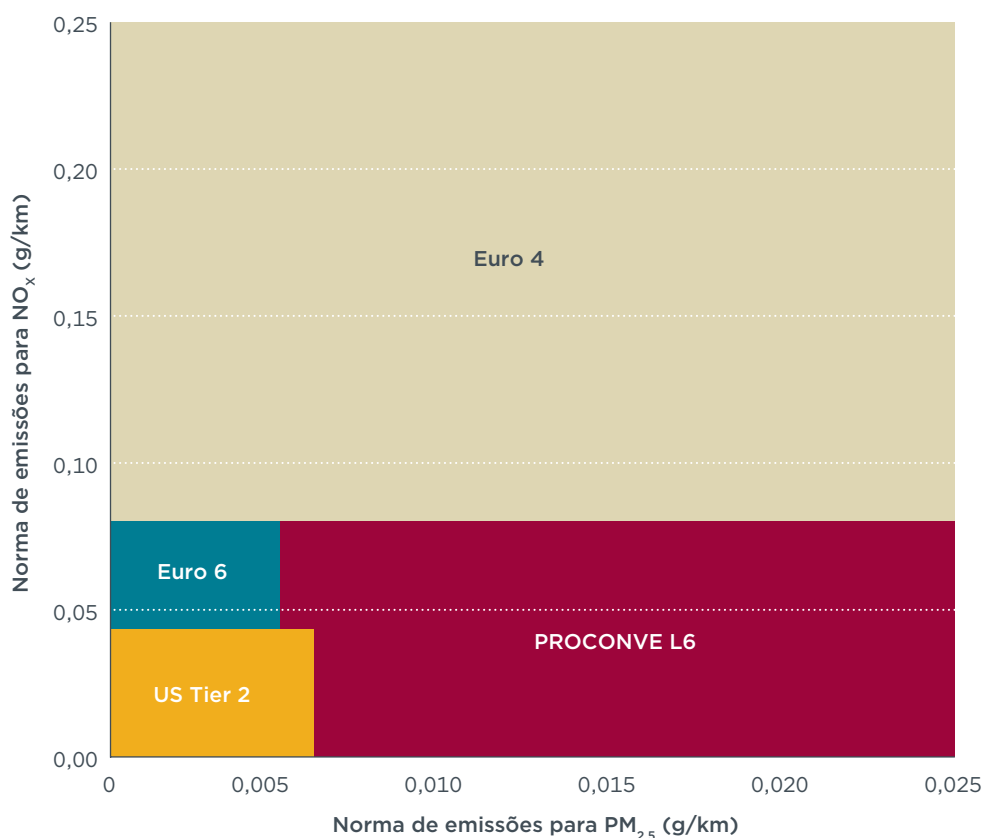
<sup>b</sup>Veículos a diesel

<sup>c</sup>Baseado no ciclo de testes FTP-75

Vale comparar os limites de emissões brasileiras com aqueles de outras regiões onde carros a diesel são mais prevalentes, notadamente a União Europeia (UE). A Figura 3 mostra uma comparação dos limites de emissões de NO<sub>x</sub> e particulados (PM) do PROCONVE L6 com as normas atuais Euro 6 para veículos leves a diesel na UE. Uma diferença chave entre as normas brasileiras e europeias é o nível em que o padrão de emissões de PM é estabelecido. O padrão atual de PM para veículos de passageiros no Brasil é de 0,025 g/km, equivalente à norma Euro 4, implementada na UE há uma década, e cinco vezes maior que o padrão atual da UE de 0,005 g/km. Além disso, ao contrário das normas Euro 6, o PROCONVE L6 não prevê um limite para número de partículas. A inclusão de um limite de número de partículas nas normas europeias foi necessária para garantir que os novos veículos a diesel fossem equipados com a tecnologia de controle de PM mais avançada disponível, o filtro de particulados de diesel (DPF).

Ao contrário das normas de emissão de PM, que ficam atrás dos limites regulatórios europeus, os padrões de emissão de NO<sub>x</sub> do PROCONVE L6 são estabelecidos no

mesmo nível que as normas Euro 6 atuais para veículos leves a diesel, 0,08 g/km. Entretanto, a norma Euro 6 de  $\text{NO}_x$  para veículos leves a diesel é menos exigente que a norma correspondente para veículos leves a gasolina. Carros a diesel novos vendidos na UE podem emitir 33% mais de  $\text{NO}_x$  que carros a gasolina equivalentes. Em contraste, as normas dos EUA aplicam os mesmos limites de emissão para todos os veículos de passageiros, independentemente do tipo de combustível. Consequentemente, o limite de emissão de  $\text{NO}_x$  US Tier 2 para carros novos a diesel é cerca de 45% menor que o do PROCONVE L6 e normas Euro 6, como se pode ver na Figura 3. Esta distinção é significativa, pois o limite menor de emissões nos EUA ajudou os principais fabricantes a empregar as melhores tecnologias de controle de  $\text{NO}_x$  disponíveis em uma fração maior de LDVs a diesel vendidos nos EUA com relação aos carros vendidos na UE (Yang, Franco, Campestrini, German, & Mock, 2015).

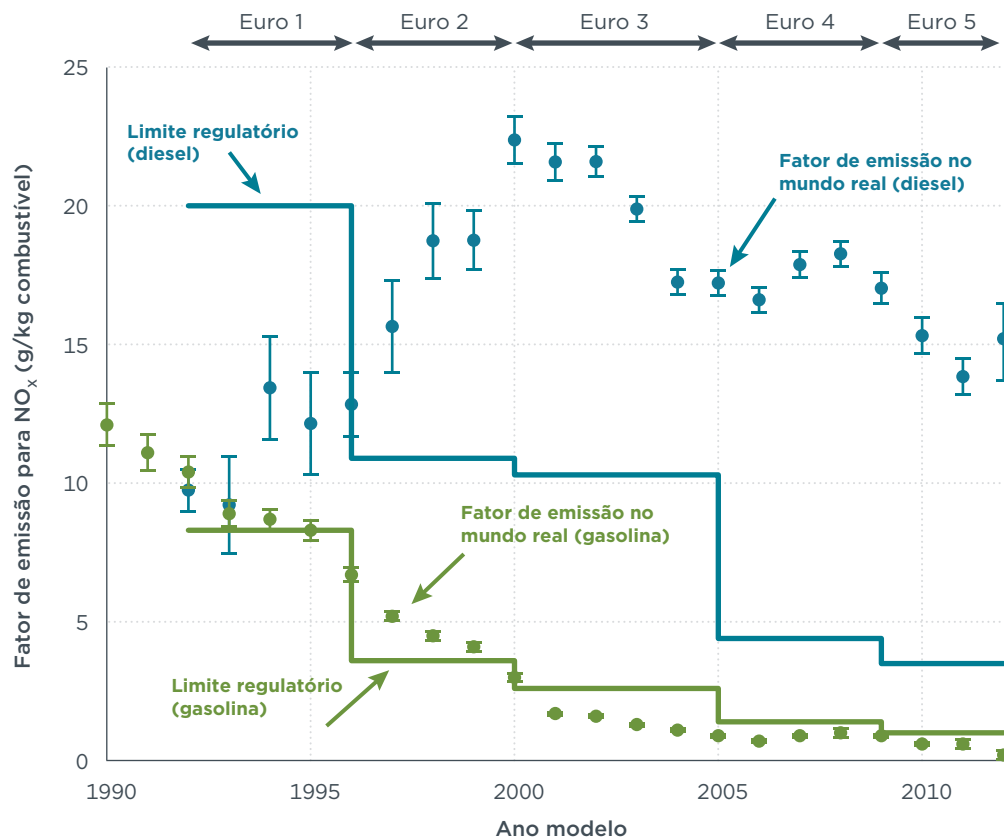


**Figura 3.** Comparação de normas de emissão de poluentes para veículos leves a diesel nos Estados Unidos, Europa e Brasil.

Além dos limites de emissão mais exigentes que aqueles atualmente em vigor no Brasil, os procedimentos de testes usados para certificação de veículos nos EUA também são mais rigorosos. O ciclo de testes usado para certificação de LDVs no Brasil segue o ciclo de testes americano FTP-75 para ensaios de certificação da Agência de Proteção Ambiental dos EUA. Reconhecendo as limitações do ciclo FTP-75 para representar por completo as condições de direção reais, os EUA incluíram ciclos de testes adicionais como requisitos do procedimento federal de testes atualmente aplicado para certificação de LDVs. Estes ciclos de testes adicionais são incluídos nos Procedimentos Federais de Testes Complementares (SFTP, em sua sigla em Inglês)

e são projetados para resolver as deficiências na representação FTP-75 de direção agressiva, de alta velocidade, e do uso do ar condicionado. O Brasil não adotou os SFTP mais robustos, e assim os padrões de direção que aumentam as emissões de poluentes, como direção agressiva, não são representados nos ensaios de certificação.

Ao considerar as normas de emissão de  $\text{NO}_x$  para LDVs a diesel, há uma evidência crescente de grandes disparidades entre taxas de emissão de  $\text{NO}_x$  mensuradas em laboratório durante ensaios de certificação e aquelas mensuradas durante condições de direção reais na Europa. Estudos de emissões veiculares em situações reais têm mostrado consistentemente emissões de  $\text{NO}_x$  de carros a diesel operando em condições de direção realísticas que excedem substancialmente as normas de emissão (Carlslaw et al., 2011; Weiss et al., 2012; Franco et al., 2014; Bishop & Stedman, 2015). Essas constatações contrastam com aquelas de carros a gasolina, que geralmente operam mais perto dos limites de emissão durante testes de direção em situações reais (Weiss et al., 2011; Chen & Borcken-Kleefeld, 2014). Essas tendências são claramente evidentes na Figura 4, que mostra uma comparação de emissões de  $\text{NO}_x$  em uso de carros a gasolina e a diesel com os limites regulatórios. A falta de reduções significativas em emissões de  $\text{NO}_x$  em situações reais de carros a diesel, mesmo com o aumento do rigor nas normas de emissão, tem contribuído para problemas persistentes de qualidade do ar em áreas com altos níveis de utilização de diesel na frota de veículos leves (Beevers et al, 2012).



**Figura 4.** Comparação de emissões de  $\text{NO}_x$  em uso de veículos leves a diesel (círculos) com os limites regulatórios correspondentes (linhas) por veículo, modelo e ano. As medições dos fatores de emissão em uso foram realizadas em Zurique, na Suíça, entre os anos 2000 e 2012, usando sensores remotos veiculares. Embora não seja mostrado aqui, os resultados para LCVs a diesel

e gasolina têm padrões semelhantes àqueles de veículos leves de passageiro. Os dados aqui apresentados são cortesia de Jens Borcken-Kleefeld e seguem Chen e Borcken-Kleefeld (2014).

Medidas estão sendo tomadas para resolver este problema na Europa através da inclusão de um componente de teste para situações reais durante o processo de certificação. Para emissões veiculares de poluentes do ar, a introdução do procedimento de Emissões em Direção Real (RDE, em sua sigla em Inglês) deve gerar resultados de testes de emissão mais alinhados com condições normais de uso (Franco et al, 2014). Para RDE, em vez de testar o veículo somente em laboratório (ou seja, o método atualmente aplicado no Brasil), ensaios adicionais serão realizados na estrada em condições normais de direção. As emissões veiculares serão analisadas e registradas com sistemas portáteis de medição de emissões (PEMS, em sua sigla em Inglês). A conjuntura geral do procedimento RDE foi adotada por Estados membros da UE em maio de 2015, com uma fase de monitoramento a ser iniciada imediatamente e aplicação total iniciando em 2017.

Em suma, os dados mostram que as emissões de veículos a diesel não são devidamente controladas com os mecanismos regulatórios atuais na Europa. Devido ao Brasil ter adotado requisitos similares, mas menos exigentes que aqueles adotados na Europa e nos EUA, está claro que os procedimentos brasileiros de certificação e testes não são suficientes para garantir que as emissões de  $\text{NO}_x$  em condições normais de uso de LDVs a diesel estejam alinhadas com as normas de emissão.

## **QUALIDADE DO COMBUSTÍVEL**

Além das normas de emissão para novos veículos, normas que regulamentam a qualidade do combustível são um componente importante dos programas de controle de emissões veiculares. Um importante parâmetro de combustíveis visado por estas normas é a quantidade de enxofre permitida nos combustíveis. O enxofre no combustível contribui para as emissões de PM e dióxido de enxofre e limita a eficiência e eficácia das novas tecnologias de controle de pós-tratamento. Reduzir o teor de enxofre dos combustíveis proporciona benefícios para o meio ambiente e saúde pública, por meio da redução de emissões de poluentes diretos e melhor desempenho de sistemas de controle de emissões. Com a introdução das normas PROCONVE L6 no Brasil, a gasolina com 50 ppm de enxofre foi disponibilizada em todo o país. Em contraste, os níveis de enxofre no diesel variam por região. Em grandes regiões metropolitanas, os níveis de enxofre no diesel são limitados a 10 ppm (diesel S10), enquanto os limites de enxofre no diesel no interior são estabelecidos em 500 ppm (diesel S500). O recente aumento no rigor das normas de emissão de caminhões pesados no Brasil aumentou a disponibilidade de diesel S10 em postos de combustível fora das regiões metropolitanas; no entanto, a presença do diesel S500 limita as possibilidades da introdução de veículos leves a diesel equipados com sistemas de controle de emissão avançados.

## **MERCADO ATUAL DE VEÍCULOS A DIESEL LEVES**

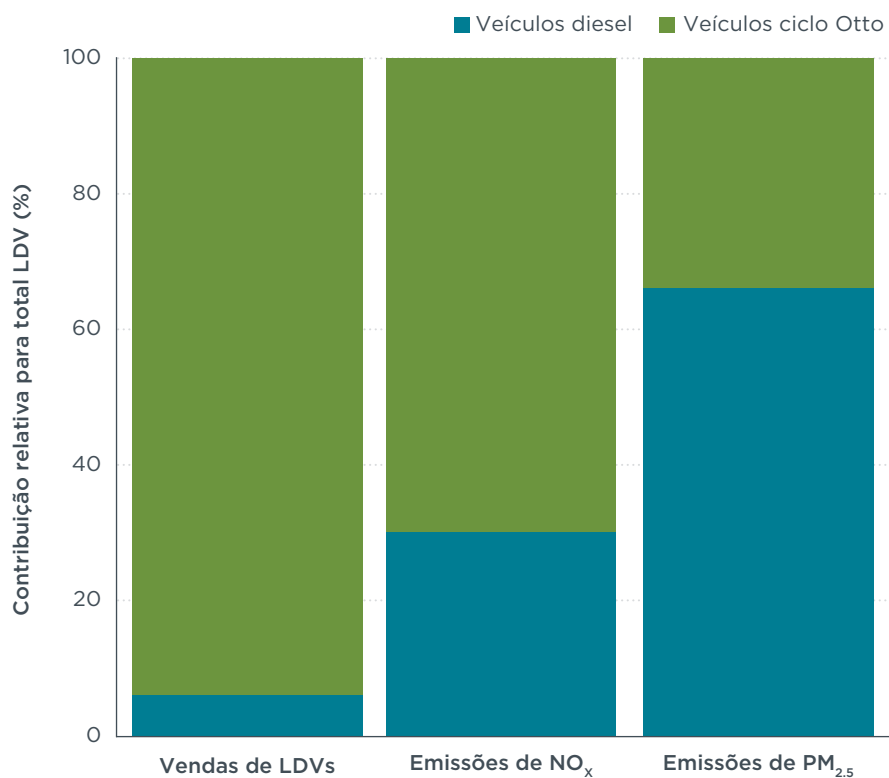
Embora as normas atuais impeçam a venda de carros a diesel no Brasil, veículos a diesel leves maiores (ou seja, com capacidade maior que 1.000 kg) classificados como veículos comerciais podem ser vendidos no país. Os dados de vendas de LDVs no Brasil, incluindo veículos de passageiro e comerciais leves, mostram veículos a diesel representando 6% das vendas totais entre 2012 e 2014 (ADK, 2015). Para o

subconjunto de LDVs classificados como veículos comerciais, os veículos a diesel somaram 25% das vendas totais no mesmo período de tempo. Exemplos de LCVs a diesel mais vendidos de 2012 a 2014 são mostrados na Tabela 2. Os dois modelos mais vendidos, a Toyota Hilux e a Mitsubishi L200, que juntas representam 22% das vendas de LCVs a diesel, são camionetes adequadas para transporte de passageiros além de aplicações comerciais. Da mesma forma, o terceiro modelo mais vendido, a Toyota Hilux S4, é um veículo utilitário esportivo que é provavelmente mais usado para o transporte de passageiros.

**Tabela 2.** Características de LCVs a diesel mais vendidos no Brasil, 2012-2014 (ADK, 2015).

| Marca             | Modelo    | Lataria                      | Cilindrada do motor (L) | Potência do motor (kW) | Peso bruto do veículo (kg) | Porcentagem total nas vendas de LCVs a diesel (%) |
|-------------------|-----------|------------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|---|
| <b>Toyota</b>     | Hilux     | camionete                    | 3,0                     | 127                    | 2960                       | 15  |
| <b>Mitsubishi</b> | L200      | camionete                    | 3,2                     | 127                    | 2950                       | 7   |
| <b>Toyota</b>     | Hilux SW4 | veículo utilitário esportivo | 3,0                     | 127                    | 2600                       | 6   |
| <b>Hyundai</b>    | HR        | caminhão de entrega          | 2,5                     | 97                     | 3400                       | 5   |
| <b>Volkswagen</b> | Amarok    | camionete                    | 2,0                     | 134                    | 3100                       | 5   |

Apesar de representar uma pequena fração de vendas de LDVs no Brasil, os LCVs a diesel têm um impacto desproporcional nas emissões de poluentes do ar. A Figura 5 mostra as contribuições relativas de veículos a diesel e Otto para as vendas totais de LDVs e emissões de poluentes para veículos novos vendidos no país em 2014. Embora os veículos a diesel representem apenas 6% das vendas de LDVs em 2014, eles representaram cerca de 30% das emissões de  $\text{NO}_x$  e 65% das emissões de  $\text{PM}_{2,5}$  por LDVs vendidos no Brasil em 2014. Isto demonstra o impacto desproporcional que qualquer aumento nas vendas de carros a diesel teria nas emissões destes poluentes de maior preocupação.

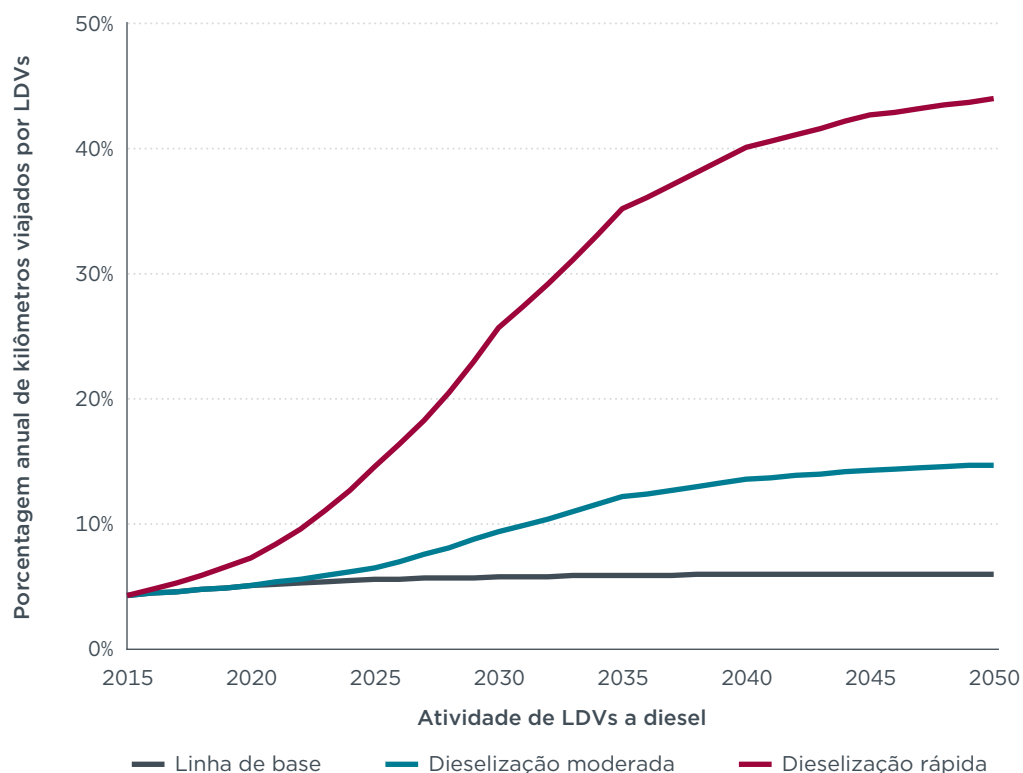


**Figura 5.** Contribuições relativas de motores a diesel e ciclo Otto para as vendas e emissões de LDVs novos vendidos no Brasil em 2014. Esta análise considera tanto veículos leves de passageiro quanto comerciais. Presume-se que veículos novos de ciclo Otto estejam em um nível de tecnologia equivalente às normas Euro 6. Veículos novos a diesel são modelados como equivalentes às normas Euro 4 a respeito de emissões de PM<sub>2,5</sub> e a normas Euro 6 no tocante a emissões de NO<sub>x</sub>.

### 3 RISCOS AMBIENTAIS DA DIESELIZAÇÃO DA FROTA DE VEÍCULOS LEVES

Para avaliar as consequências da dieselização da frota de veículos leves no Brasil, esta análise estima mudanças projetadas na atividade de veículos a diesel, emissões de poluentes e impactos à saúde humana resultantes da introdução proposta de carros a diesel no país entre 2015 e 2050. Esta análise usa o modelo Global Transportation Roadmap do ICCT, uma ferramenta projetada para estimar mudanças em emissões de transporte devido a várias medidas políticas (ICCT, 2014a). Esta investigação considera dois cenários de dieselização e os compara com um cenário de linha de base, em que nenhuma mudança é feita nas políticas brasileiras atuais sobre LDVs.

O cenário de linha de base presume que 6% das vendas de novos LDVs, tanto comerciais quanto de passageiro, serão com motores a diesel. Esta porcentagem permanece constante durante todo o período da modelagem. O cenário de dieselização moderada presume que, mediante a revogação de restrições em carros a diesel, este combustível comece a ganhar espaço no mercado em 2020, com aumento nas vendas de 1% ao ano, entre 2020 e 2030, estabilizando-se em 15% do total de vendas de veículos leves de 2030 a 2050. No cenário de dieselização rápida, as vendas de carros a diesel começam a crescer em 2015 a uma taxa de 3% ao ano, semelhante à taxa observada em países europeus em meados da década de 90 (Minjares, Blumberg, & Posada, 2013). Esta taxa de crescimento é mantida por 15 anos, com as vendas de diesel permanecendo em 45% das vendas de veículos novos de 2030 a 2050. Este nível de dieselização é semelhante à penetração no mercado europeu atual de veículos leves a diesel, que representou 53% dos novos licenciamentos em 2013 (ICCT, 2014b). Os efeitos destes cenários da dieselização na atividade de carros a diesel são resumidos na Figura 6.





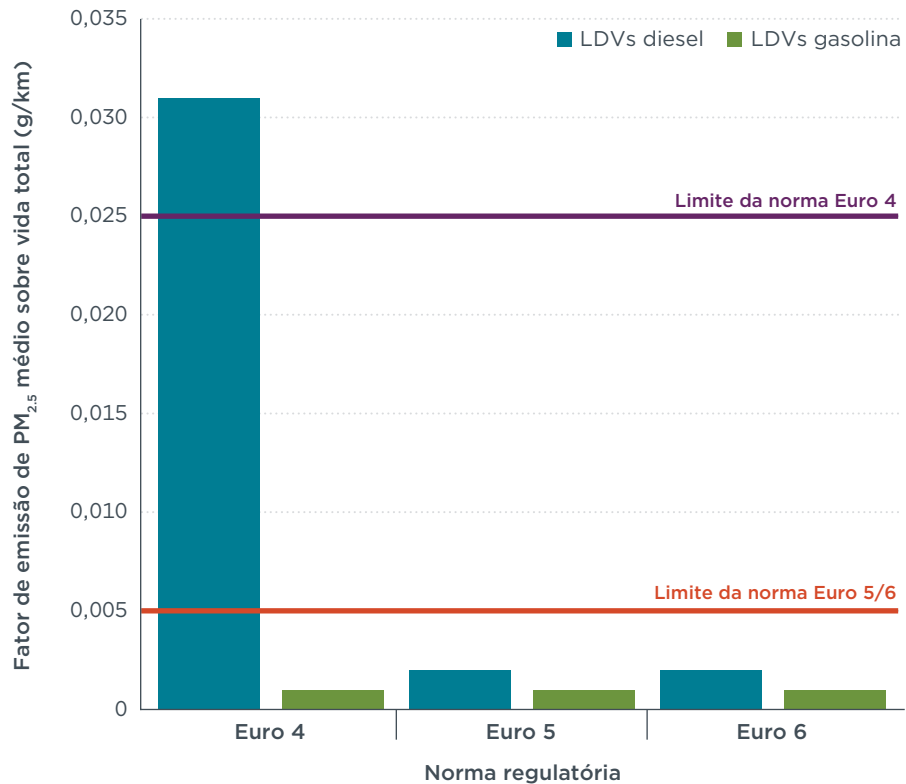
**Figura 6.** Atividade de veículos leves a diesel como porcentagem dos quilômetros totais de veículos leves percorridos nos três cenários de dieselização.

Esta análise foca nas emissões de  $PM_{2,5}$  e  $NO_x$ , que estão entre os poluentes que mais preocupam no setor de transportes e que tendem a ser emitidos em uma proporção maior por motores a diesel que por motores a gasolina. Além das emissões de poluentes locais, esta análise também considera o impacto da dieselização da frota de veículos leves sobre as emissões de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e outros poluentes climáticos como metano ( $CH_4$ ), óxido nitroso ( $N_2O$ ) e carbono negro (BC).

## EMISSÕES DE $PM_{2,5}$

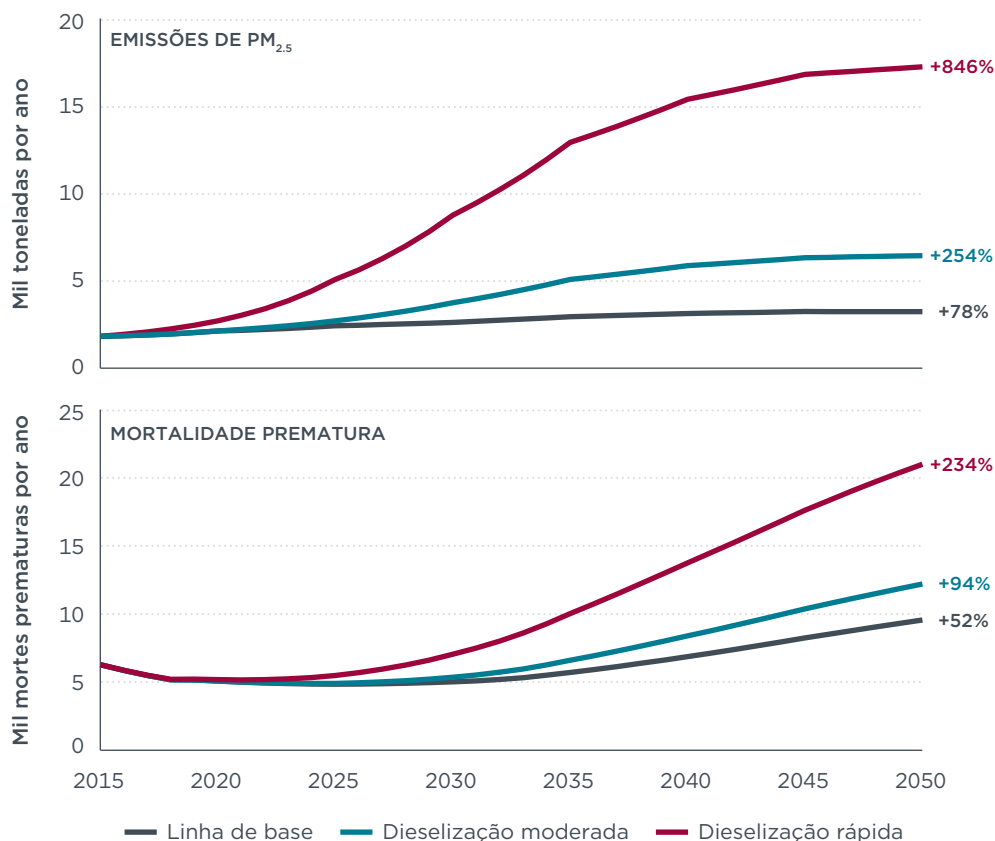
A preocupação principal com a introdução de carros a diesel no Brasil é o aumento potencial de emissões de particulados finos da frota de veículos de passageiro. O PM do diesel é um poluente tóxico e foi elencado pela OMS como um agente carcinógeno humano (Benbrahim-Tallaa et al., 2012). Reduzir as emissões de PM de veículos a diesel de passageiro tem sido visto como uma importante estratégia na redução do ônus à saúde pública causado pelos veículos, e os avanços em tecnologia de motores e controles de emissões têm reduzido bastante as emissões de PM de motores a diesel modernos.

Infelizmente, as normas atuais de emissão veicular de PM no Brasil não são suficientemente rigorosas para garantir o uso da tecnologia principal necessária para controlar as emissões de PM, o filtro de partículas diesel (DPF). Conforme notado acima, a norma atual para veículos de passageiro no Brasil, PROCONVE L6, é equivalente à norma da UE Euro 4 para emissões de PM. Uma avaliação das tecnologias usadas para atender a norma Euro 4 na Europa sugere que os fabricantes conseguirão atender a norma PROCONVE L6 para PM sem o DPF (Posada, Bandivadekar, & German, 2012). Se for este o caso, as taxas de emissões de veículos leves a diesel no Brasil serão substancialmente maiores que as de carros a gasolina ou carros a diesel vendidos em países com normas de emissão de PM mais exigentes. A Figura 7 compara os fatores de emissões médio de  $PM_{2,5}$  para LDVs por nível de controle de emissão. O fator de emissão médio para um carro Euro 4 a diesel, 0,031 g/km, é 30 vezes maior que o fator de emissão para carros a gasolina, e 15 vezes maior que fatores de emissão de carros a diesel modernos equipados com DPF. Além das taxas de emissão relativamente altas, a falta de suprimento em nível nacional do diesel com ultrabaixo teor de enxofre (diesel S10) também servirá para desencorajar o uso de carros a diesel equipados com DPF no Brasil se as restrições sobre carros a diesel forem suspensas.



**Figura 7.** Comparação de fatores de emissões de  $PM_{2,5}$  para veículos leves a diesel e veículos a gasolina por nível de controle de emissão. Os fatores de emissão são derivados do modelo de emissões de transportes rodoviários COPERT4 e representam o fator de emissão médio de  $PM_{2,5}$  para um veículo de determinado nível de tecnologia sobre o decorrer de sua vida útil (Chambliss et al., 2013).

Em todos os cenários, incluindo a linha de base, espera-se que as emissões de  $PM_{2,5}$  de veículos leves a diesel aumentem substancialmente. A parte superior da Figura 8 mostra as emissões anuais projetadas de  $PM_{2,5}$  de LDVs no Brasil para a linha de base e dois cenários de dieselização modelados neste estudo. Em ambos os cenários de dieselização, as emissões de  $PM_{2,5}$  da frota de LDVs aumentam significativamente com relação às condições da linha de base. Em 2050, as emissões anuais de  $PM_{2,5}$  são projetadas como sendo cinco e duas vezes maiores que as emissões de linha de base em curso rápido e moderado da dieselização, respectivamente. Cumulativamente, a rápida dieselização da frota de veículos leves brasileira resulta em mais 270.000 toneladas de emissões de  $PM_{2,5}$  com relação ao cenário de linha de base de 2015 a 2050. Da mesma forma, a dieselização moderada gera 60.000 toneladas de emissões de  $PM_{2,5}$  a mais que a linha de base no mesmo intervalo de tempo.



**Figura 8.** Efeitos da dieselização em veículos de passageiros nas emissões de PM<sub>2,5</sub> de LDVs e mortalidade prematura no Brasil. As porcentagens indicam mudanças relativas em 2050 a partir dos valores de 2015.

Mesmo no cenário de linha de base, os impactos de veículos leves a diesel são consideráveis. Neste cenário, os únicos veículos leves a diesel incluídos são aqueles classificados como LCVs, que representam apenas 4% a 6% da atividade total de LDVs (Figura 6). Entretanto, apesar de formar uma pequena fração da quilometragem total percorrida por veículos, os LCVs a diesel são responsáveis por 60% a 70% das emissões anuais de PM<sub>2,5</sub> da frota de LDVs. No cenário de linha de base, as emissões de PM<sub>2,5</sub> de LDVs aumentam de 1.800 para 3.300 toneladas por ano entre 2015 e 2050. Aproximadamente 85% deste crescimento nas emissões é atribuível ao aumento na atividade de LCVs a diesel. Estas constatações sugerem que as políticas de veículos motores destinadas a controlar as emissões de PM<sub>2,5</sub> de LCVs a diesel atualmente permitidos no Brasil gerariam reduções substanciais em emissões de PM<sub>2,5</sub> da frota de LDVs.

O painel inferior da Figura 8 mostra estimativas de mortalidade prematura atribuíveis a emissões de PM<sub>2,5</sub> de LDVs para cada cenário analisado neste estudo. Estas estimativas são derivadas usando metodologias comprovadas que relacionam mudanças nas emissões veiculares de PM<sub>2,5</sub> primário a mudanças nas concentrações ambientais urbanas e respectivos impactos à saúde humana (Chambliss et al., 2013). Entre 2015 e 2050, a dieselização rápida resultará em aproximadamente 150.000 mortes prematuras a mais com relação ao cenário de linha de base. Mesmo no cenário de dieselização moderada, em que os veículos a gasolina ainda dominam a atividade total, estima-se

que as mortes prematuras aumentem na ordem de 32.000 com relação à linha de base. Em 2050, os cenários moderado e rápido da dieselização gerarão aumentos na mortalidade prematura anual atribuível a LDVs no Brasil de 28% e 119%, respectivamente, com relação ao cenário de linha de base, em que as restrições sobre carros a diesel permanecem em vigor.

Estas estimativas de mortalidade prematura são limitadas aos impactos do  $PM_{2,5}$  primário em zonas urbanas, e não representam os impactos à saúde do ozônio no nível do solo, do  $PM_{2,5}$  secundário, ou de outros poluentes locais. Haja visto que os impactos à saúde quantificados neste estudo são um subconjunto do total esperado, a mortalidade prematura reportada da dieselização no Brasil deve ser interpretada como uma estimativa conservadora.

Nesta conjuntura, os custos cumulativos com saúde resultantes da introdução de carros a diesel no Brasil ainda estão estimados em \$114 bilhões e \$24 bilhões nos cenários de dieselização rápida e moderada, respectivamente. Os custos destes impactos à saúde foram monetizados usando um valor padrão de vida estatística (VSL, em sua sigla em Inglês), que reflete a disposição agregada das pessoas de pagar para reduzir a incidência de mortes prematuras na população por um, multiplicado pelo número de mortes prematuras a mais em cada ano em decorrência do aumento das emissões de partículas finas (US EPA, 2011; Minjares et al., 2014). Estes impactos são descontados usando uma taxa de 5% e acrescentados ao prazo da análise. Para este estudo, o VSL foi derivado do valor recomendado pela US EPA de \$7,6 milhões (dólares americanos de 2006) e ajustado para representar a média menor de renda per capita no Brasil.

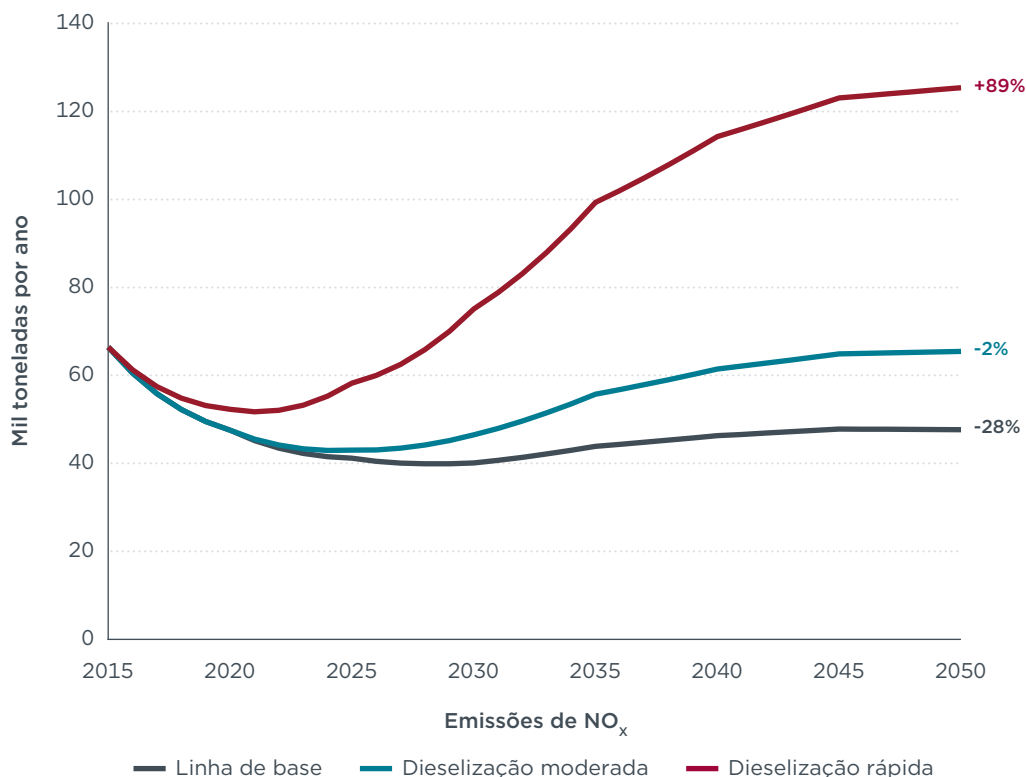
Estes resultados mostram o grande risco para a qualidade do ar e saúde humana com a introdução de carros a diesel no Brasil. O aumento das emissões de  $PM_{2,5}$  mediante os dois cenários de dieselização são o resultado direto da introdução de carros a diesel sem o DPF na frota brasileira. Os padrões atuais de emissão PROCONVE L6 não impõem limites rigorosos o suficiente para obrigar o uso de DPFs, e tampouco existe um padrão de número de partículas para tal. Além disso, mesmo se os padrões de emissão de PM fossem baixados para LDVs a diesel, o uso de DPFs em carros a diesel vendidos no país seria limitado devido ao risco de abastecimento incorreto com diesel S500 que ainda está disponível fora das regiões metropolitanas. As políticas para resolver estas questões, como limites de emissões e padrões de qualidade de combustível mais exigentes, deveriam ser implementadas antes de considerar a suspensão das restrições atuais sobre carros a diesel no Brasil.

## EMISSÕES DE $NO_x$

Além do aumento de emissões de  $PM_{2,5}$ , há também o risco de que a dieselização da frota de veículos de passageiro no Brasil leve a um aumento nas emissões de  $NO_x$ . Esta é uma preocupação pois a exposição direta ao  $NO_x$  é associada a problemas respiratórios (Hoek et al, 2013). O  $NO_x$  é um precursor do ozônio, e a exposição ao ozônio pode reduzir a capacidade dos pulmões em crianças pequenas, aumentando as taxas de asma e levando a mortes prematuras (Jerrett et al, 2009).

Os efeitos da dieselização nas emissões de  $NO_x$  de LDVs no Brasil são mostrados na Figura 9. O cenário de linha de base prevê que as políticas atuais de controle de emissões de LDVs resultem em uma redução de quase 30% de emissões de  $NO_x$  em 2050 com relação aos níveis de 2015. Estas reduções ocorrem apesar de um aumento de 84% na atividade total de LDVs no país sobre o mesmo período e refletem bem os

benefícios da redução de emissões obtidos com a introdução do PROCONVE L6 e da lenta retirada de veículos a gasolina antigos da frota.



**Figura 9.** Efeitos da dieselização em veículos de passageiros nas emissões de  $\text{NO}_x$  de LDVs no Brasil. As porcentagens indicam mudanças relativas em 2050 a partir dos valores de 2015.

As reduções nas emissões de  $\text{NO}_x$  calculadas para o cenário de linha de base não são mantidas com a introdução de carros a diesel na frota brasileira. No cenário de dieselização moderada, as reduções iniciais de  $\text{NO}_x$  entre 2015 e 2030 são anuladas pelo aumento da penetração de carros a diesel após 2030 e conseqüentemente não haverá mudanças significativas nas emissões anuais de  $\text{NO}_x$  entre 2015 e 2050. De maneira similar às emissões de  $\text{PM}_{2,5}$ , o aumento das emissões de  $\text{NO}_x$  nos cenários de dieselização é gerado principalmente pela diferença nos fatores de emissão de  $\text{NO}_x$  em carros modernos a gasolina e a diesel. Para o  $\text{NO}_x$ , os fatores de emissão para carros a diesel com nível de controle Euro 6 são cerca de sete vezes maiores que aqueles dos veículos a gasolina nível Euro 6. Conseqüentemente, mesmo pequenas porcentagens de veículos a diesel na frota de LDVs podem contribuir com uma quantidade desproporcional de emissões de  $\text{NO}_x$ .

A Figura 10 mostra estimativas de atividade e emissões de  $\text{NO}_x$  em cada cenário detalhado por tipo de combustível. No cenário de dieselização moderada, embora os carros a diesel representem apenas 15% da atividade total de veículos leves em 2050, eles serão responsáveis por 55% das emissões totais de  $\text{NO}_x$  da frota de veículos leves. Este efeito é ainda mais proeminente no cenário de dieselização rápida, onde os veículos a diesel se tornam a fonte dominante de emissões de  $\text{NO}_x$  de veículos leves a partir do ano de 2024 e representam 85% das emissões totais em 2050. Estes grandes aumentos nas emissões de  $\text{NO}_x$  com a introdução de carros a diesel no Brasil podem

exacerbar problemas existentes de qualidade do ar e colocar em risco o progresso que já foi obtido no controle das emissões de NO<sub>x</sub> de LDVs no país.



**Figura 10.** Atividade projetada de LDVs (parte esquerda) e emissões de NO<sub>x</sub> (parte direita) por tipo de motor. As contribuições de motores ciclo Otto e a diesel de veículos leves são mostradas em cada cenário, em verde e azul, respectivamente.

Embora estes resultados deixem claro os impactos negativos da dieselização nas emissões de NO<sub>x</sub> de LDVs, também é importante observar que muito provavelmente eles representem uma estimativa conservadora. Conforme foi previamente observado, há grande evidência que as emissões de NO<sub>x</sub> de carros a diesel sejam maiores em condições de direção reais do que quando mensuradas em laboratório usando ciclos de direção simulados. Até um certo limite, as diferenças entre emissões de carros a diesel em uso e em laboratório são refletidas nos fatores de emissão usados neste estudo, principalmente em veículos categoria Euro 5 e mais antigos. Entretanto, devido às incertezas no desempenho em situações reais das tecnologias de controle usadas em veículos categoria Euro 6 e à falta de dados de testes representativos, é provável que os fatores de emissão de NO<sub>x</sub> destes veículos estejam subestimados nesta análise (ERMES, 2015). Uma vez que se presume que a maioria dos carros a diesel novos esteja no nível Euro 6 nesta análise, qualquer subestimativa no fator de emissão de NO<sub>x</sub> levará a uma estimativa conservadora de emissões de NO<sub>x</sub> resultantes da dieselização da frota de veículos leves.

Em uma observação mais ampla, há problemas fundamentais no desempenho atual de carros a diesel no que se refere às emissões de  $\text{NO}_x$ , e nos procedimentos de testes usados para certificar tal desempenho. As práticas atuais de certificação de veículos não são adequadas para garantir o desempenho ambiental de veículos leves a diesel em condições de direção normais. Os fabricantes têm conseguido projetar carros que atendam aos limites regulatórios quando mensurados em laboratório, mas que excedem muito estes limites quando conduzidos no mundo real. Embora as tecnologias de controle de pós-tratamento de  $\text{NO}_x$  ofereçam oportunidades para resolver o problema das emissões de  $\text{NO}_x$  dos carros a diesel, os fabricantes ainda têm de demonstrar que estas tecnologias podem ser empregadas de uma maneira eficaz em toda a linha de carros a diesel produzida hoje.

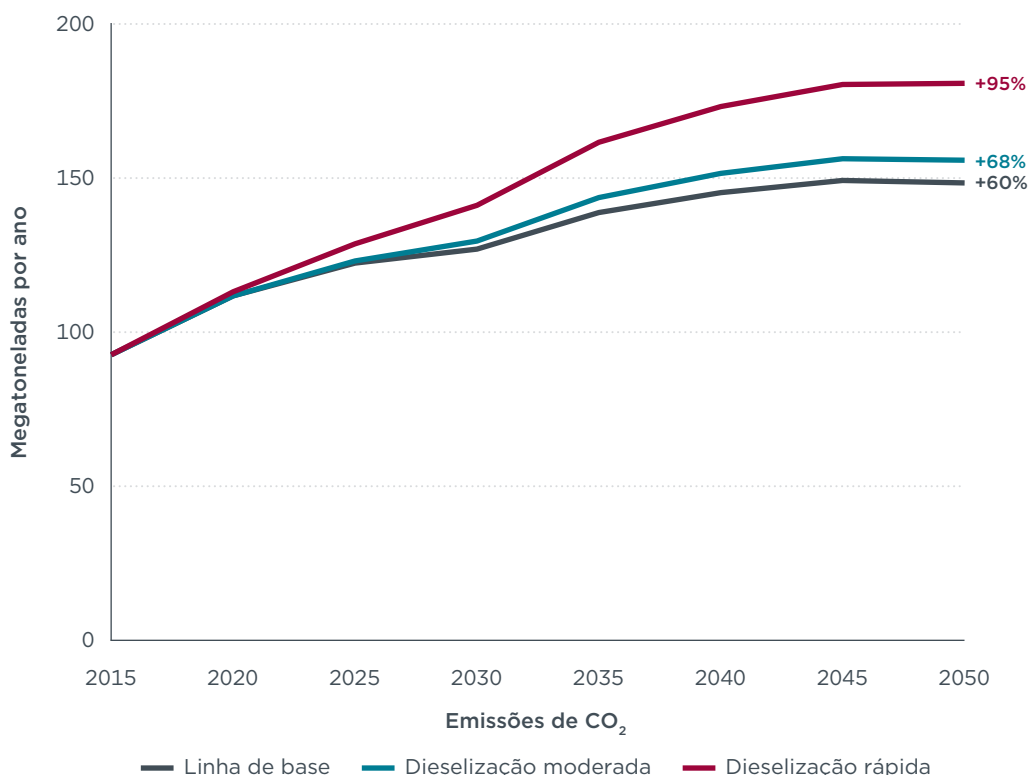
Esforços estão sendo conduzidos na Europa para controlar as emissões de  $\text{NO}_x$  de motores a diesel. A inclusão planejada de um componente de ensaios em situações reais no processo de certificação europeu é um esforço para fechar esta brecha e garantir que o desempenho em situações reais de carros a diesel esteja alinhado com os limites regulamentados. Este é um passo na direção certa e procedimentos similares devem ser adotados em outros países, principalmente aqueles com altos níveis de dieselização da frota. As lições aprendidas da experiência de dieselização na Europa são inúmeras e continuam acontecendo. A proposta brasileira de revogar as restrições nos carros a diesel veio em um momento em que há uma percepção cada vez maior de que as políticas europeias de promoção de carros a diesel contribuíram para persistentes problemas de qualidade do ar nas cidades. Enquanto a Europa tenta resolver estas questões por meio de mudanças nas normas regulatórias, mesmo considerando o uso de proibições, é importante que o Brasil tenha as melhores práticas de certificação e fiscalização em vigor para garantir o melhor desempenho ambiental possível se os carros a diesel vierem a ser introduzidos no país. Estes passos teriam também o benefício de controlar melhor as emissões de  $\text{NO}_x$  em situações reais de LCVs a diesel que estão atualmente disponíveis para venda no país.

## IMPACTOS CLIMÁTICOS

Uma das principais vantagens dos LDVs a diesel citadas pelos proponentes da dieselização é a maior eficiência e menor consumo de combustível destes motores com relação aos motores de ciclo Otto. Embora motores a diesel sejam mais eficientes em veículos de tamanho similar, esta vantagem em eficiência nem sempre resulta em reduções significativas nas emissões de  $\text{CO}_2$  devido a diversos fatores. Primeiro, o combustível diesel tem uma densidade e fração de peso de carbono maiores que os da gasolina e etanol. Isto significa que o consumo de um litro de diesel emite mais  $\text{CO}_2$ , o poluente responsável pela maior fração de impactos climáticos, que o consumo de um litro de gasolina ou etanol. Segundo, a experiência da dieselização europeia mostrou que LDVs a diesel tendem a ser maiores e ter motores mais potentes, anulando assim uma fração da eficiência e da economia de  $\text{CO}_2$  oferecida pela mudança para os motores a diesel (Zachariadis, 2013). Terceiro, o aumento da eficiência dos motores a gasolina novos também contribuiu para diminuir a diferença entre a eficiência de motores a gasolina e a diesel (Cames e Helmers, 2013). Por fim, o Brasil é um caso único em que o etanol da cana de açúcar é usado extensivamente como combustível em veículos leves. Estudos mostram que o etanol da cana de açúcar brasileiro é um combustível com intensidade de carbono relativamente baixa e emite cerca de 60% a 70% menos  $\text{CO}_2$  que a gasolina e o diesel, considerando o ciclo de vida completo do combustível do produtor ao consumidor (Regulation of Fuels and Fuel Additives, 40 CFR part 80, 2010). Sendo

assim, a introdução de veículos a diesel no Brasil serviria para diminuir o uso do etanol de cana de açúcar e a gasolina, resultando em um aumento líquido nas emissões de CO<sub>2</sub>.

Esta análise indica que as emissões de CO<sub>2</sub> de veículos brasileiros aumentam mediante os cenários de dieselização (Figura 11). Em 2050, as emissões de CO<sub>2</sub> com dieselização moderada e rápida são, respectivamente, 5% e 22% maiores que as emissões do cenário de linha de base. Cumulativamente, a dieselização rápida resultaria em mais 600 milhões de toneladas de emissões de CO<sub>2</sub> da frota de LDVs brasileiros entre 2015 e 2050. Observe que estes resultados mostram emissões de CO<sub>2</sub> do produtor ao consumidor, que levam em conta emissões do setor *upstream* de produção e distribuição de combustível, além das emissões dos escapamentos resultantes da queima de combustíveis.



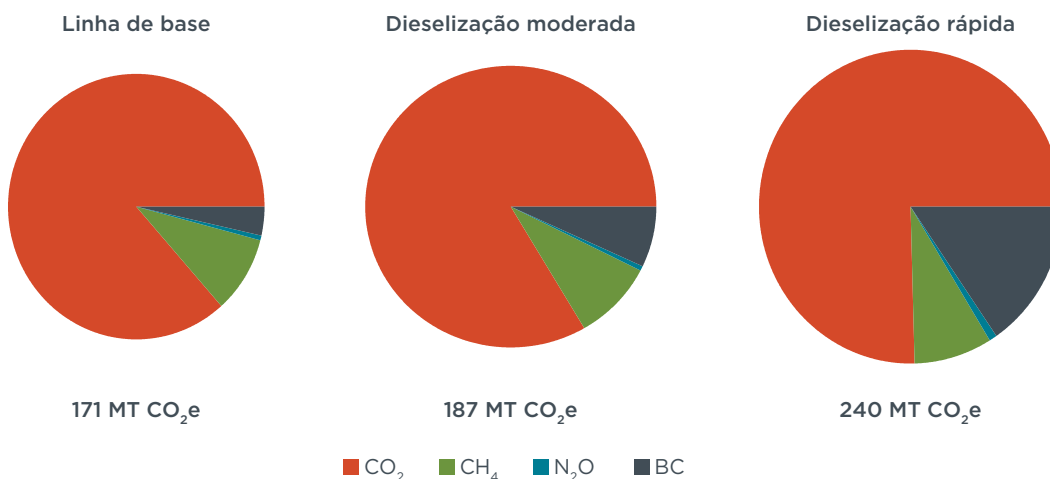
**Figura 11.** Efeitos da dieselização em veículos de passageiros nas emissões de CO<sub>2</sub> de veículos leves no Brasil. Observe que os traços mostram emissões de CO<sub>2</sub> do produtor ao consumidor em cada cenário. As porcentagens indicam mudanças relativas em 2050 a partir dos valores de 2015.

Esta análise presume que a razão do consumo volumétrico de gasolina para etanol no país é de 51:49. Isto significa que nos cenários de dieselização, o uso da gasolina e do etanol é diminuído em volumes aproximadamente iguais, à medida que maiores quantidades de diesel são consumidas pela frota de LDVs. Na realidade, esta razão oscila principalmente devido aos preços de combustíveis. Entretanto, os resultados desta análise são pouco afetados pelas mudanças na razão entre gasolina e etanol. Por exemplo, quando esta razão é alterada para 65:35 no modelo, correspondendo ao valor médio mensal máximo no país entre 2011 e 2014, a dieselização ainda resulta em maiores quantidades de emissões de CO<sub>2</sub> que as projeções de linha de base. Neste caso, mais gasolina deixa de ser usada com relação ao etanol, e os níveis de emissões de CO<sub>2</sub> em 2050 são 3% e 10% maiores nos cenários de dieselização moderada e rápida, respectivamente, com relação à linha de base. Em todas estas hipóteses realísticas, a



dieselização não proporciona um benefício claro nas emissões de  $\text{CO}_2$ , e de fato pode aumentar as taxas atuais de emissão de  $\text{CO}_2$  do setor de LDVs.

Os impactos climáticos da dieselização não são limitados a emissões de  $\text{CO}_2$ . Outros gases com efeitos climáticos, como o carbono negro (BC),  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ , também precisam ser considerados. No caso do diesel, as emissões de BC são de importância particular. O carbono negro, um componente principal dos particulados emitidos por motores a diesel, é um forte absorvedor de radiação solar e contribui significativamente para o aquecimento climático antropogênico (Bond et al, 2013). Para esta análise, as emissões anuais foram calculadas para cada cenário modelado, e as emissões de cada poluente foram convertidas em emissões equivalentes de  $\text{CO}_2$  ( $\text{CO}_2\text{e}$ ) usando valores de potencial de aquecimento global de 20 anos (Myhre et al, 2013; Bond et al, 2013). Os resultados para o ano 2050 são apresentados na Figura 12 e mostram as contribuições relativas às emissões de  $\text{CO}_2\text{e}$  por poluente em cada cenário. Observe que poluentes com impacto de resfriamento climático líquido, como carbono orgânico e sulfatos, também foram incluídos nesta análise, embora os resultados não estejam incluídos na Figura 12, porque estes poluentes compensam menos que 1% das emissões líquidas de  $\text{CO}_2\text{e}$  nos poluentes com impacto de aquecimento. Os resultados indicam que o aumento da importância relativa das emissões de outros gases além do  $\text{CO}_2$  com o aumento da dieselização é na sua maior parte gerado pelas maiores emissões de BC da frota de veículos leves. No cenário de dieselização rápida, o aumento das emissões de BC acrescentou 30 megatoneladas (MT) de  $\text{CO}_2\text{e}$  ao fardo climático de LDVs em 2050. Assim como foi o caso com o excesso de emissões de  $\text{PM}_{2,5}$  resultantes da dieselização, o impacto climático adicional das emissões de BC do diesel seria amplamente evitado se os filtros de partículas de diesel fossem exigidos para os carros a diesel vendidos no Brasil.



**Figura 12.** Gases do efeito estufa e emissões de carbono negro em 2050 em cada cenário de dieselização. Valores de potencial de aquecimento global de 20 anos foram usados para calcular emissões de  $\text{CO}_2\text{e}$  de cada poluente.

## CONCLUSÕES

As agências reguladoras brasileiras deveriam manter as restrições na comercialização de carros a diesel para evitar a exacerbação de problemas de qualidade do ar, impactos nocivos à saúde humana e aumento das emissões de poluentes climáticos. As normas de emissão e procedimentos de certificação atuais no Brasil não são suficientemente rigorosos para evitar os impactos negativos das emissões geradas pelo aumento da dieselização da frota brasileira. Esta análise mostra que o número relativamente pequeno de veículos comerciais leves a diesel atualmente vendidos no país têm um impacto desproporcional nas emissões e já contribuem com a maioria das emissões de  $PM_{2.5}$  e  $NO_x$  de LDVs novos vendidos no país. A proposta suspensão das restrições sobre carros a diesel no Brasil, sem um avanço nas normas de emissão veicular, exacerbaria estes impactos.

Se o Brasil remover as restrições sobre carros a diesel, os impactos na qualidade do ar e na saúde serão significativos em qualquer cenário de crescimento. Mediante ambos os cenários de dieselização considerados neste estudo, as emissões de veículos a diesel aumentam os impactos adversos à qualidade do ar. No cenário de alto crescimento, a dieselização leva a mais 150.000 mortes prematuras em cidades brasileiras entre 2015 e 2050. Estes encargos ambientais e para a saúde humana vêm sem nenhum benefício claro, pois as vantagens da eficiência de motores a diesel é anulada por meio do aumento das emissões de carbono negro e diminuição do uso de etanol de cana de açúcar, resultando em um aumento geral nas emissões de poluentes climáticos mediante ambos os cenários de dieselização.

O Brasil está bem posicionado para aplicar as lições aprendidas da experiência regulatória internacional. Os EUA fornecem o melhor exemplo de controle eficaz de emissões veiculares, incluindo normas de emissões veiculares independentes do combustível, com limites rigorosos e ciclos de testes representativos, assim como um robusto programa de conformidade em uso. As normas europeias sobre número de partículas oferecem proteções adicionais para garantir que a melhor tecnologia de filtração seja aplicada. No entanto, a Europa continua a sofrer com as altas emissões de PM da grande frota de veículos a diesel categoria pré-Euro 5. As normas da UE ainda não resolveram adequadamente a questão das emissões de  $NO_x$  de veículos a diesel no mundo real, embora propostas atuais para fortalecer a conformidade em uso representem um passo positivo para controlar as emissões de diesel e resolver os problemas de qualidade do ar.

Para reduzir os impactos ambientais e para a saúde causados pelo setor de transportes, as agências reguladoras brasileiras devem aplicar as melhores práticas internacionais e tomar as seguintes providências:

- » Adotar normas de emissões veiculares rigorosas para garantir que veículos a diesel sejam equipados com filtros de partículas para mitigar os piores impactos à saúde e qualidade do ar causados pelos veículos a diesel. Estas normas devem ser equivalentes às normas US Tier 2 ou Euro 6.
- » Eliminar o diesel S500 para evitar o abastecimento incorreto e danos aos sistemas de controle de pós-tratamento.
- » Implementar um programa eficaz de conformidade em uso e fiscalização, completo com testes para condições normais de uso, para garantir que as emissões de  $NO_x$

de veículos a diesel em situações reais sejam adequadamente controladas dentro dos limites de certificação.

Até que novas normas mais rigorosas sobre veículos e combustíveis estejam em vigor e demonstrem o controle das emissões de PM e NO<sub>x</sub> de veículos a diesel no mundo real, qualquer decisão no sentido de suspender as restrições sobre carros a diesel iria de encontro aos objetivos ambientais e para a saúde.

## REFERÊNCIAS

- ADK Automotive Consultoria de Marketing. (2015). *Relatórios de Volumes de Vendas do Mercado Brasileiro para Veículos de Passageiro e Comerciais Leves referentes a 2012-2014*.
- Andrade, M. F., de Miranda, R. M., Fornaro, A., Kerr, A., Oyama, B., de Andre, P. A., & Saldiva, P. (2010). Vehicle emissions and PM<sub>2.5</sub> mass concentrations in six Brazilian cities. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 5(1), 79-88. <http://doi.org/10.1007/s11869-010-0104-5>
- Aprove Diesel. (2015). *Aliança Pró-Veículos Diesel*. Fonte: <http://aprovediesel.com.br/site/index.html>
- Associação Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). (2015). Monthly Statistics Data. Fonte: <http://www.anp.gov.br/?id=548>
- Beevers, S. D., Westmoreland, E., de Jong, M. C., Williams, M. L., & Carslaw, D. C. (2012). Trends in NO<sub>x</sub> and NO<sub>2</sub> emissions from road traffic in Great Britain. *Atmospheric Environment*, 54, 107-116. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.02.028>
- Benbrahim-Tallaa, L., Baan, R. A., Grosse, Y., Lauby-Secretan, B., Ghissassi, El, F., Bouvard, V., ... Straif, K. (2012). Carcinogenicity of diesel-engine and gasoline-engine exhausts and some nitroarenes. *The Lancet Oncology*, 13(7), 663-664. [http://doi.org/10.1016/S1470-2045\(12\)70280-2](http://doi.org/10.1016/S1470-2045(12)70280-2)
- Bishop, G. A., & Stedman, D. H. (2015). Reactive nitrogen species emission trends in three light-/medium-duty United States fleets. *Environmental Science & Technology*, 49(18), 11234-11240. <http://doi.org/10.1021/acs.est.5b02392>
- Bond, T. C., Doherty, S. J., Fahey, D. W., Forster, P. M., Berntsen, T., DeAngelo, B. J., ... Zender, C.S. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(11), 5380-5552. <http://doi.org/10.1002/jgrd.50171>
- Brook, R. D., Rajagopalan, S., Pope, C. A., III, Brook, J. R., Bhatnagar, A., Diez-Roux, A. V., ... Kaufman, J. (2010). Particulate matter air pollution and cardiovascular disease, an update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 121(21), 2331-2378. <http://doi.org/10.1161/CIR.Ob013e3181d8e1>
- Câmara dos Deputados. (2015). *PL 1013/11 - Motores a Diesel para Veículos Leves*. Fonte: <http://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-temporarias/especiais/55a-legislatura/pl-1013-11-motores-a-diesel-para-veiculos-leves>
- Carslaw, D. C., Beevers, S. D., Tate, J. E., Westmoreland, E. J., & Williams, M. L. (2011). Recent evidence concerning higher NO<sub>x</sub> emissions from passenger cars and light duty vehicles. *Atmospheric Environment*, 45(39), 7053-7063. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.09.063>
- Carvalho, V. S. B., Freitas, E. D., Martins, L. D., Martins, J. A., Mazzoli, C. R., & Andrade, M. de F. (2015). Air quality status and trends over the metropolitan area of São Paulo, Brazil as a result of emission control policies. *Environmental Science & Policy*, 47, 68-79. <http://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.11.001>
- Cames, M., & Helmers, E. (2013). Critical evaluation of the European diesel car boom—global comparison, environmental effects and various national strategies. *Environmental Sciences Europe*, 25(1), 15. <http://doi.org/10.1186/2190-4715-25-15>

- Chambliss, S., Miller, J., Facanha, C., Minjares, R., & Blumberg, K. (2013). *The Impact of Stringent Fuel and Vehicle Standards on Premature Mortality and Emissions*. Fonte: <http://theicct.org/global-health-roadmap>
- Chen, Y., & Borken-Kleefeld, J. (2014). Real-driving emissions from cars and light commercial vehicles—Results from 13 years remote sensing at Zurich/CH. *Atmospheric Environment*, 88, 157-164. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.01.040>
- Departamento Nacional de Combustíveis (DNC). (1994). Portaria No 23, de 6 de Junho de 1994.
- European Research Group on Mobile Emission Sources (ERMES). (2015). *Information Paper: Diesel light duty vehicle NO<sub>x</sub> emission factors*. Fonte: <http://www.ermes-group.eu/web/node/196>
- Franco, V., Posada, F., German, J., & Mock, P. (2014). *Real-world exhaust emissions from modern diesel cars*. Fonte: <http://theicct.org/real-world-exhaust-emissions-modern-diesel-cars>
- Hoek, G., Krishnan, R. M., Beelen, R., Peters, A., Ostro, B., Brunekreef, B., & Kaufman, J. D. (2013). Long-term air pollution exposure and cardio- respiratory mortality: a review. *Environmental Health*, 12(1), 43. <http://doi.org/10.1186/1476-069X-12-43>
- Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA). (2015). Air Quality Platform. Full database retrieved from <http://www.qualidadedoar.org.br> on 15 Oct 2015.
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). (2011). *Air Pollution Control Program by Motor Vehicles*. Fonte: <http://www.ibama.gov.br/phocadownload/category/4?download=4793%3Amanual-ingles>
- International Council on Clean Transportation (Conselho Internacional de Transporte Limpo) (ICCT, 2014a). *Modelo Global Transportation Roadmap do ICCT* Fonte: <http://www.theicct.org/global-transportation-roadmap-model>
- International Council on Clean Transportation (Conselho Internacional de Transporte Limpo) (ICCT, 2014b) *European Vehicle Market Statistics Pocketbook 2014*. Fonte: <http://eupocketbook.theicct.org>
- Jerrett, M., Burnett, R. T., Pope, C. A., III, Ito, K., Thurston, G., Krewski, D., ... Thun, M. (2009). Long-term ozone exposure and mortality. *New England Journal of Medicine*, 360(11), 1085-1095. <http://doi.org/10.1056/NEJMoa0803894>
- Lim, S. S., Vos, T., Flaxman, A. D., Danaei, G., Shibuya, K., Adair-Rohani, H., ... Ezzati, M. (2012). A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *The Lancet*, 380(9859), 2224–2260. [http://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61766-8](http://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61766-8)
- Minjares, R., Blumberg, K., & Posada, F. (2013). Alignment of policies to maximize the climate benefits of diesel vehicles through control of particulate matter and black carbon emissions. *Energy Policy*, 54(C), 54–61. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.09.053>
- Minjares, R., Wagner, D.V., Baral, A., Chambliss, S., Galarza, S., Posada, F., ... Akbar, S. (2014). *Reducing black carbon emissions from diesel vehicles: impacts, control strategies, and cost-benefit analysis*. Fonte: <http://documents.worldbank.org/curated/en/2014/04/19342185/reducing-black-carbon-emissions-diesel-vehicles-impacts-control-strategies-cost-benefit-analysis>

- Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F.-M., Collins, W., Fuglestedt, J., Huang, J., ... Zhang, H. (2013). Anthropogenic and natural radiative forcing. In T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, ... P.M. Midgley (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA: Cambridge University Press
- Pope, C. A., III, & Dockery, D. W. (2012). Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56(6), 709–742. <http://doi.org/10.1080/10473289.2006.10464485>
- Posada, F., Bandivadekar, A., & German, J. (2012). *Estimated cost of emission reduction technologies for light-duty vehicles*. Fonte: <http://theicct.org/estimated-cost-emission-reduction-technologies-ldvs>
- Regulation of Fuels and Fuel Additives: Changes to Renewable Fuel Standard Program, 40 CFR Part 80 (2010).
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2011). *Benefits and costs of the Clean Air Act from 1990 to 2020, the second prospective study*. Fonte: <http://www.epa.gov/clean-air-act-overview/benefits-and-costs-clean-air-act-1990-2020-second-prospective-study>
- Weiss, M., Bonnel, P., Hummel, R., Manfredi, U., Colombo, R., Lanappe, G., ... Sculati, M. (2011). *Analyzing on-road emissions of light-duty vehicles with portable emission measurement systems (PEMS)*. Fonte: [http://www.seefed.eu/uploads/5/5/1/2/5512416/lbna24697enc\\_002.pdf](http://www.seefed.eu/uploads/5/5/1/2/5512416/lbna24697enc_002.pdf)
- Weiss, M., Bonnel, P., Kühlwein, J., Provenza, A., Lambrecht, U., Alessandrini, S., ... Sculati, M. (2012). Will Euro 6 reduce the NO<sub>x</sub> emissions of new diesel cars? – Insights from on-road tests with portable emissions measurement systems (PEMS). *Atmospheric Environment*, 62, 657–665. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.08.056>
- World Health Organization (WHO). (2014). *Ambient air pollution in cities database*. Fonte: [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/cities/en/](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/cities/en/)
- Yang, L., Franco, V., Campestrini, A., German, J., & Mock, P. (2015). *NO<sub>x</sub> control technologies for Euro 6 diesel passenger cars*. Fonte: <http://theicct.org/nox-control-technologies-euro-6-diesel-passenger-cars>
- Zachariadis, T. (2013). Gasoline, diesel and climate policy implications—Insights from the recent evolution of new car sales in Germany. *Energy Policy*, 54, 23–32. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.11.075>