

PANORAMAS SETORIAIS

Mudanças climáticas

AUTOMOTIVO

Daniel Chiari Barros
Bernardo Hauch Ribeiro de Castro
Luiz Felipe Hupsel Vaz*

* Respectivamente, economista, gerente e engenheiro do Departamento das Indústrias Metal-mecânica e de Mobilidade da Área Industrial do BNDES.

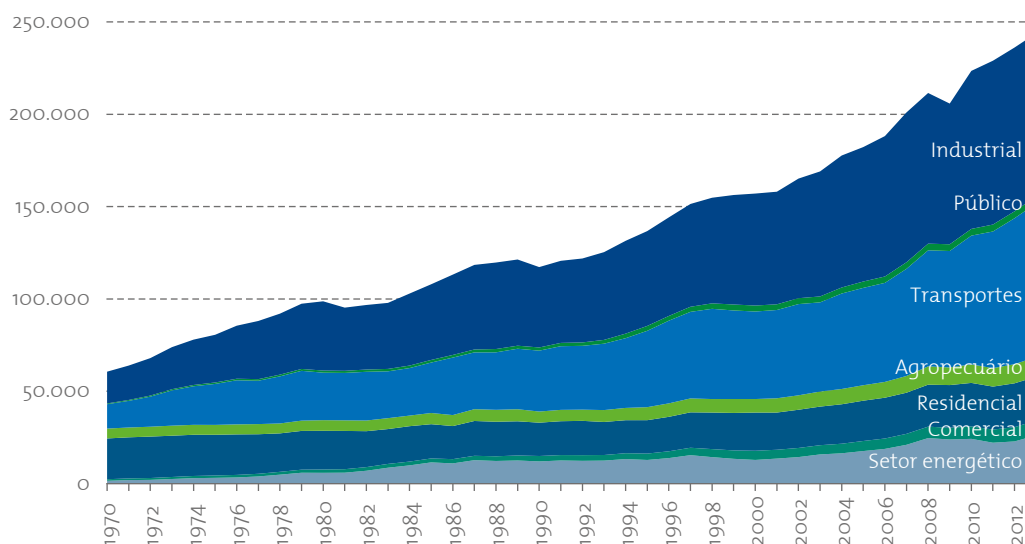
Introdução

Tradicionalmente, os veículos são movidos por um motor a combustão interna em que uma mistura de ar e combustível, em geral gasolina ou diesel, sofre compressão. A queima na câmara de combustão gera diversos gases nocivos, que são expelidos pelo escapamento.

O escape dos sistemas a combustão emite, além de dióxido de carbono (CO_2), o principal gás de efeito estufa (GEE), outros GEEs em menor quantidade, como metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e hidrofluorcarbonetos (HFC). Os últimos são emitidos pelos sistemas de refrigeração dos veículos e pelo transporte refrigerado (EPA, [201-?]).

O setor de transportes é o segundo maior consumidor de energia do Brasil, atrás apenas da indústria (Gráfico 1). Desde 1970, a demanda por energia cresceu a uma taxa média de 4,4% ao ano, enquanto o Produto Interno Bruto (PIB) cresceu o equivalente a 3,9% ao ano. Do total consumido pelo setor de transportes, o predomínio é rodoviário: aproximadamente 92,6% são oriundos desse modo, 4,4% do aéreo, 1,6% do hidroviário e 1,4% do ferroviário (ANP, 2014; EPE, 2014).

Gráfico 1: Série histórica do consumo final energético por setor no Brasil 1970-2013 (em 10^3 tep*)



Fonte: Elaboração própria, com base em ANP (2014).

* Tonelada equivalente de petróleo

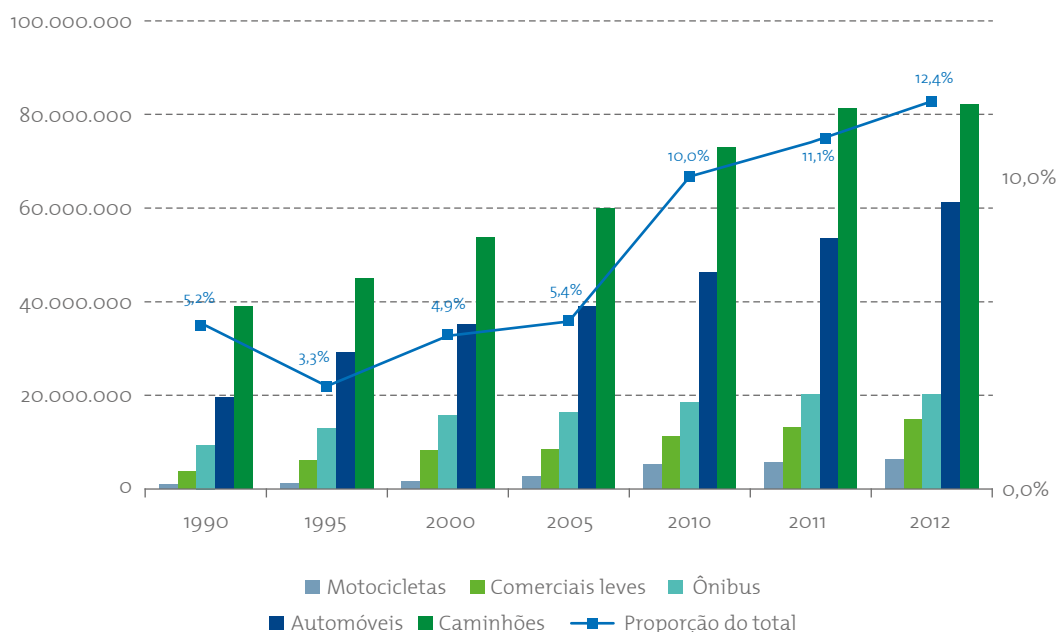
Os veículos e as emissões de gases de efeito estufa

O modo rodoviário é tradicionalmente caracterizado por veículos movidos por combustíveis fósseis. Apesar de a indústria liderar o consumo total de energia, suas fontes são diversas e incluem principalmente eletricidade. Já o setor de transportes

tem por base o petróleo, liderando a demanda com 68,9% do consumo final energético de derivados de petróleo. Desse consumo, a principal fonte é o óleo diesel, seguido da gasolina (EPE, 2014). O primeiro é utilizado predominantemente em ônibus e caminhões, enquanto a gasolina é usada principalmente em automóveis e motocicletas.

A queima de combustíveis fósseis pelos veículos leva à emissão de gases nocivos à saúde e/ou ao meio ambiente, especialmente gás carbônico. De fato, com o crescimento significativo da frota brasileira, o setor de transportes passou a responder por 12,4% das emissões totais de GEE do país – número bem superior aos 3,3% de 1995 – com automóveis e caminhões liderando a quantidade de emissões (Gráfico 2), mesmo com as diversas regulamentações para redução (BRASIL, 2014).

Gráfico 2: Emissões brasileiras por tipo de veículo em CO₂eq (em tGWP) e proporção do total das emissões brasileiras de GEE oriundas de veículos



Fonte: Elaboração própria, com base em Brasil (2014).

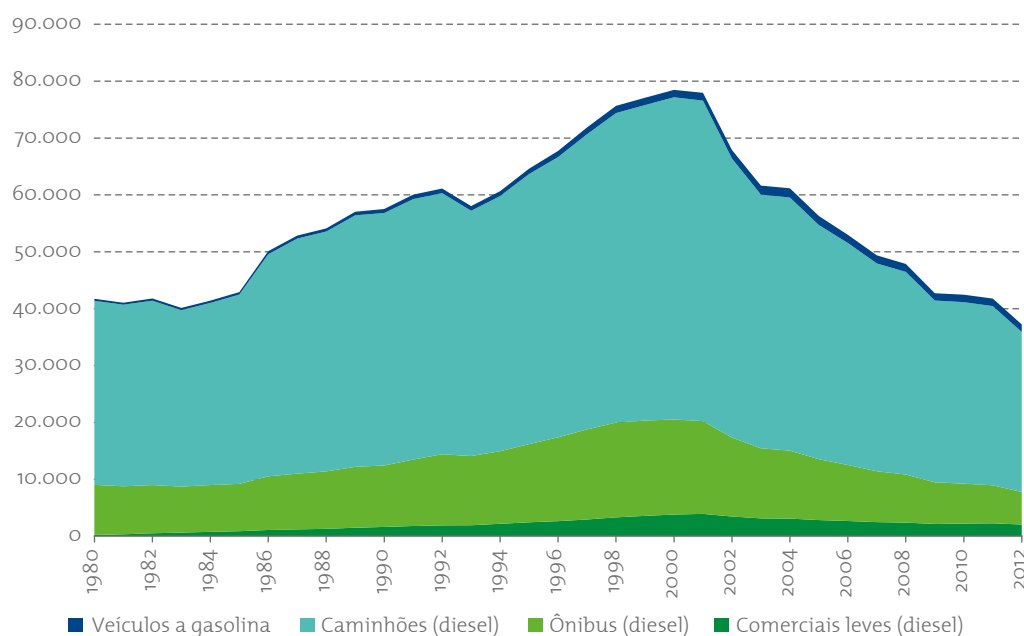
Nota: CO₂eq, ou equivalente em dióxido de carbono, é uma métrica que expressa o potencial de aquecimento global de diversos gases caso fossem emitidos como CO₂. Gases considerados: metano (CH₄), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis, com exceção do metano (NMVOC).

Os veículos a diesel são ainda responsáveis pela emissão de quase todo o material particulado (MP) que, embora não seja um GEE, é cancerígeno e altamente nocivo à saúde (Gráfico 3). Cabe ressaltar, contudo, que o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve)¹ e o Programa de Controle da Poluição do

¹ Para detalhes, ver Ibama (2011).

Ar por Motociclos e Veículos Similares (Promot) vêm reduzindo, por meio regulatório, as emissões do GEE metano, além de outros poluentes como, por exemplo, o MP, os óxidos de nitrogênio (NO e NO₂) e o monóxido de carbono (CO), que não são considerados GEEs. Embora tenham induzido a uma melhora considerável na redução desses poluentes, esses programas não limitam a emissão do CO₂. O Novo Regime Automotivo, criado em 2012 e denominado Inovar-Auto, estabelece metas de consumo de combustível. Como há uma relação direta entre o consumo energético e as emissões de CO₂, a exigência de maior eficiência energética terá impacto sobre as emissões.

Gráfico 3: Emissões de material particulado (em t/ano)



Fonte: Elaboração própria, com base em Brasil (2014).

Nota: Apenas emissões de material particulado oriundas do escapamento.

É importante notar que mesmo os automóveis movidos a etanol emitem GEE. O etanol, todavia, é dito de ciclo fechado de absorção-liberação de carbono, pois a cana-de-açúcar absorve o CO₂ da atmosfera, em especial durante a fase de crescimento. No que tange à mudança do clima, portanto, o etanol tem menor impacto sobre o efeito estufa do que a gasolina. Para avaliar o impacto sobre a qualidade do ar nos grandes centros urbanos, o que foge ao escopo do trabalho, seria necessário observar a localização das emissões.

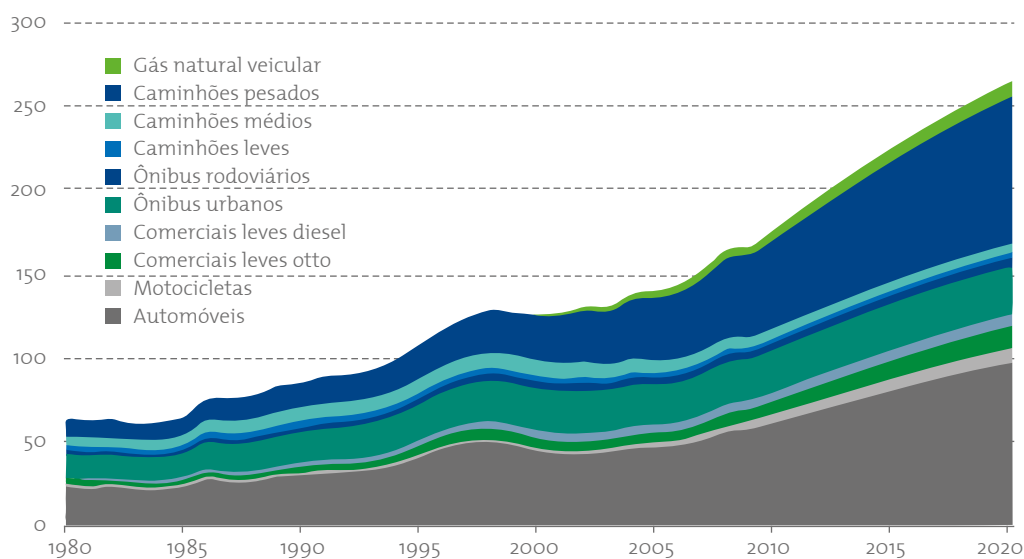
O setor automotivo está relacionado ao Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (PSTM),² sendo objeto específico da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). De acordo com

² Para detalhes, ver Brasil (2013).

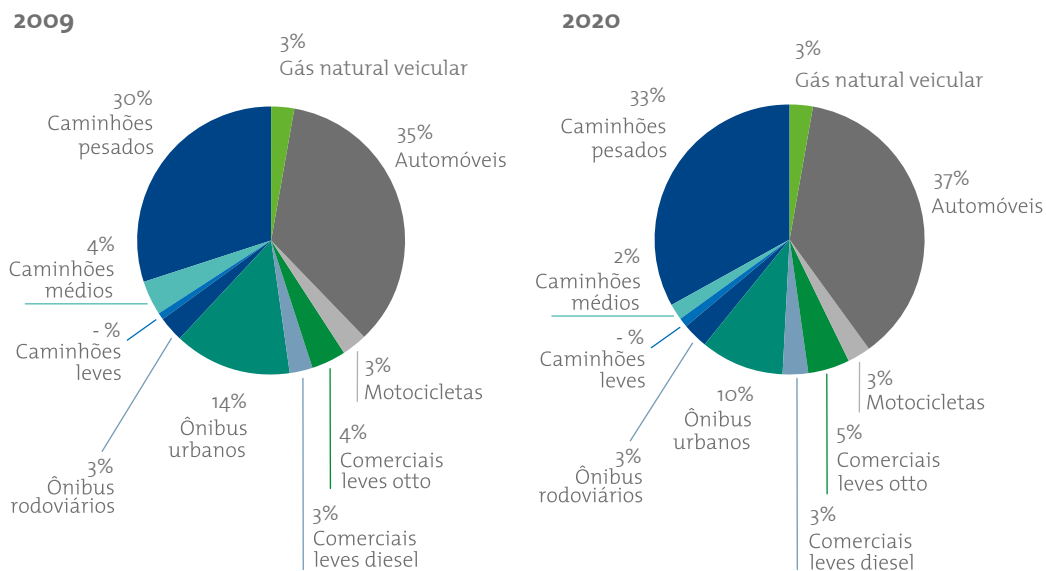
o PSTM, no cenário do Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT),³ as emissões relacionadas apenas ao transporte de cargas devem alcançar 98 milhões de toneladas de CO₂ em 2020. O modal rodoviário deverá ser responsável por lançar 86 milhões de toneladas ou 88% desse total. Em 2010, ano-base, foram lançadas 69 milhões de toneladas do gás decorrentes da movimentação de cargas. O modal rodoviário respondeu por 63 milhões de toneladas ou 92% desse total. Já o transporte rodoviário de passageiros foi responsável por emitir 89 milhões de toneladas de CO₂ em 2010. Em 2020, esse montante deve alcançar 135,4 milhões de toneladas. Considerando carga e passageiros, portanto, o transporte rodoviário no Brasil lançou 152 milhões de toneladas do gás na atmosfera em 2010 e deve lançar 221 milhões de toneladas em 2020.

Em 2011, foi publicado o *1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários* pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). Segundo o documento, em 2009, ano-base, foram emitidas 170 milhões de toneladas de CO₂ oriundas do transporte rodoviário como um todo. Em 2020, a estimativa é de que as emissões do gás alcancem 270 milhões de toneladas, um aumento de 60% em relação a 2009 e um valor maior que o previsto pelo PSTM. Os automóveis, incluídos os movidos a gás natural, deverão responder por 40% das emissões e, os caminhões, por 36% do total.

Gráfico 4: Emissões de CO₂ por categoria de veículos – série histórica e composição 2009 e 2020 (em 10⁶t e %)



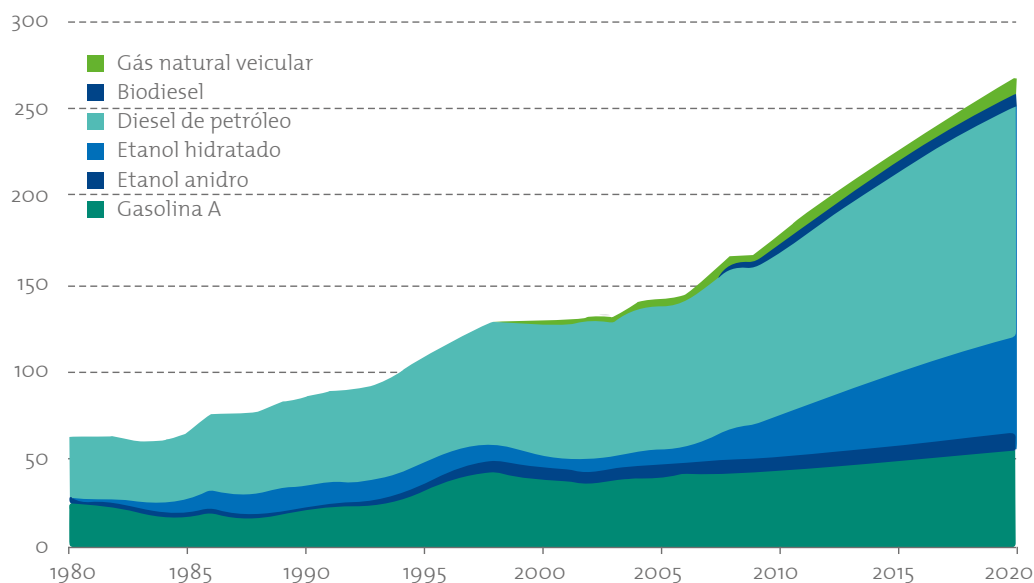
³ Cenário considera a evolução dos momentos de transporte entre 2010 e 2031, que será proporcionada pelo conjunto de todas as obras rodoviárias, ferroviárias e hidroviárias indicadas no PNLT 2011.

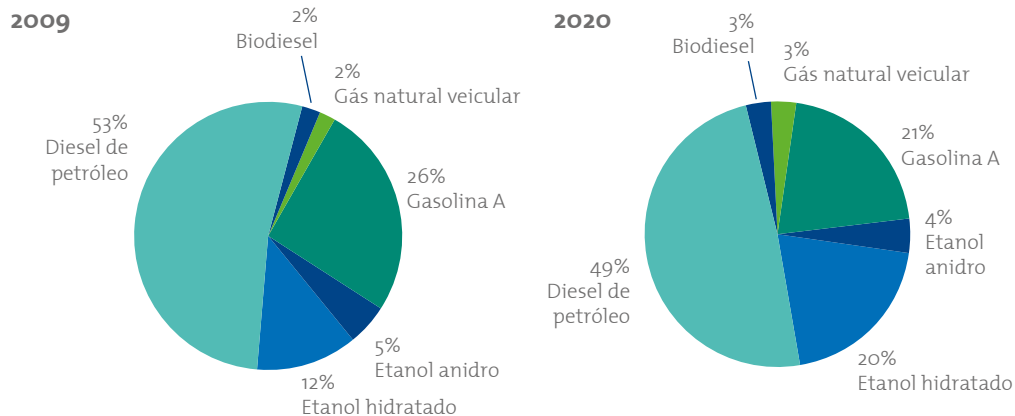


Fonte: Brasil (2011).

Analisando as emissões de CO₂ por tipo de combustível, o diesel continuará sendo o principal responsável pelas emissões, mas deverá ter participação reduzida de 53% para 49% do total. Projeta-se maior participação do etanol e redução da participação da gasolina.

Gráfico 5: Emissões de CO₂ por tipo de combustível – série histórica e composição 2009 e 2020 (em 10⁶t e %)





Fonte: Brasil (2011).

Os veículos e a mitigação de gases de efeito estufa

Segundo o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), órgão ligado à Organização das Nações Unidas (ONU), o setor de transporte respondeu por 13% do total de GEEs lançados na atmosfera em 2004 (IPCC, [2007?]). Como visto no Gráfico 2, no Brasil, o transporte rodoviário representou 12,4% das emissões de GEE do país em 2012. Como o transporte rodoviário é amplamente dominante no Brasil, a intensidade de emissões do setor no país é próxima à média mundial. Em 2010, das emissões de CO₂ oriundas do transporte de carga, 92% advieram do modal rodoviário (BRASIL, 2013).

Existem muitas medidas em curso no mundo a fim de reduzir as emissões de GEE no setor automotivo. A maioria dos países desenvolvidos conta com regulamentações específicas para aferição e controle dos níveis de emissão de poluentes e consumo de combustível. Na União Europeia, as metas de emissões de dióxido de carbono (CO₂) estão continuamente sendo revistas, exigindo mais tecnologia das montadoras. Para o ano de 2020, a meta de emissões para os veículos leves está fixada em 95 gCO₂/km, de acordo com o New European Driving Cycle (NEDC),⁴ uma redução de cerca de 27% em relação ao valor previsto na legislação vigente no período de 2012 a 2015, de 130 gCO₂/km (DIESELNET, [201-?]). Para alcançar a meta, uma maior hibridização e/ou eletrificação de parte dos veículos será necessária (MCKINSEY & COMPANY, 2014).

Nos Estados Unidos, as metas também são fixadas no longo prazo, sendo posteriormente desdobradas em metas anuais, facilitando a programação dos fabricantes e

⁴ Para detalhes sobre o ciclo de teste NEDC, ver DIESELNET ([201-?]).

a definição das agendas de pesquisa e desenvolvimento (P&D). O ciclo de teste *federal test procedure* (FTP-75) é usado para mensurar as emissões dos automóveis e comerciais leves em condições urbanas. Já o ciclo de teste *highway fuel economy test* (HWFET) mede as emissões dos veículos leves em condições de estrada.⁵ Estima-se que as metas possam reduzir a dependência de petróleo em dois milhões de barris/dia em 2025,⁶ além de promover uma economia acumulada de US\$ 1,7 bilhão em combustível pelas famílias.

No Brasil, metas de eficiência energética passaram a ser exigidas pelo Inovar-Auto como critério de habilitação da empresa no Novo Regime Automotivo. A meta, que deverá ser cumprida até outubro de 2017, é expressa em consumo energético (MJ/km) e segue a norma ABNT NBR 7024:2010, que reflete a norma adotada nos Estados Unidos. A meta utiliza o critério de massa corporativa dos veículos comercializados. Ela não precisa ser alcançada por cada modelo de veículo, mas por empresa.

O Quadro 1 apresenta um levantamento de regulamentações de emissões em diversos países. As metas de emissões foram convertidas para um mesmo ciclo, o NEDC, a fim de facilitar a comparação. Nos países em que a meta é estipulada em consumo, como no caso do Brasil, foi realizada conversão para emissões de CO₂ (ver metodologia no Quadro 1). Destaca-se que elas diferem fundamentalmente em dois aspectos: quanto ao ciclo de condução e ao parâmetro para mensuração da frota. Há convergência em três ciclos diferentes: os países americanos normalmente utilizam o ciclo criado nos Estados Unidos; Europa, China e Índia utilizam o ciclo europeu; e o Japão utiliza um ciclo próprio. Tais ciclos consistem em procedimentos padronizados que buscam reproduzir o amplo conjunto de situações reais de trânsito enfrentadas pelos motoristas. Quanto ao parâmetro de mensuração da frota, há duas formas adotadas. A primeira utiliza a soma da massa dos veículos comercializados. A segunda utiliza o *footprint*,⁷ que é uma medida da área de sombra do veículo.

⁵ Em 1996, foi realizada uma revisão na regulamentação norte-americana a fim de superar as falhas que o ciclo FTP-75 apresenta. Tal revisão criou dois novos ciclos de testes complementares, o US06 e o SC03. O primeiro representa condições de alta velocidade, alta aceleração e comportamento agressivo, e o segundo representa emissões associadas ao uso do ar-condicionado. Para detalhes, ver United Nations ([201-?]) e EPA ([201-?]).

⁶ O consumo atual dos Estados Unidos é de cerca de 20 milhões de barris/dia.

⁷ *Footprint* é a área entre eixos de veículos, dada pelo produto da distância entre eixos (definida como a distância entre os centros da roda dianteira e traseira) pela bitola (distância transversal média entre os centros das bandas de rodagem dos pneus).

Quadro 1: Panorama global sobre regulamentações de emissões (levantamento não exaustivo)

PAÍS/REGIÃO	ANO-ALVO	META DE EMISSÕES CONVERTIDAS PARA O CICLO NEDC* (gCO ₂ /km)	PARÂMETRO PARA AFERIÇÃO DA MÉDIA CORPORATIVA	FROTA-ALVO	CICLO DE TESTE
Brasil	2017	138	Peso	Automóveis/comerciais leves	Combinado (FTP-75 + HWFET)
Canadá	2025	97	Footprint	Automóveis	Combinado (FTP-75 + HWFET)
Canadá	2025	141	Footprint	Comerciais leves	Combinado (FTP-75 + HWFET)
China	2015	161	Peso e por veículo	Automóveis/comerciais leves	NEDC
China (proposta)	2020	117	Peso e por veículo	Automóveis/comerciais leves	NEDC
Coreia do Sul	2015	145	Peso	Automóveis	Combinado (FTP-75 + HWFET)
Coreia do Sul (proposta)	2020	97	Peso	Automóveis	Combinado (FTP-75 + HWFET)
Estados Unidos	2025	97	Footprint	Automóveis	Combinado (FTP-75 + HWFET)
Estados Unidos	2025	141	Footprint	Comerciais leves	Combinado (FTP-75 + HWFET)
Índia	2021	113	Peso	Automóveis	NEDC
Japão	2020	122	Peso	Automóveis	JC08
Japão	2015	155	Peso	Comerciais leves	JC08
México	2016	145	Footprint	Automóveis	Combinado (FTP-75 + HWFET)
México	2016	196	Footprint	Comerciais leves	Combinado (FTP-75 + HWFET)
União Europeia	2021	95	Peso	Automóveis	NEDC
União Europeia	2020	147	Peso	Comerciais leves	NEDC

Fonte: Elaboração própria, com base em Yang (2014).

* Alguns países estabelecem as metas em consumo de combustível, e não em emissões de CO₂. A conversão foi feita pelo International Council on Clean Transportation (ICCT), com metodologia disponível em Kühlwein, German e Bandivadekar (2014).

Vários países estabelecem créditos adicionais para veículos inovadores, permitindo que montadoras que lancem veículos elétricos ou híbridos sejam mais beneficiadas no atendimento às metas. Cabe ressaltar também que, além das legislações sobre as emissões de dióxido de carbono, as regulamentações de emissões de outros gases também estão tornando-se mais restritivas.

Os governos também vêm estipulando metas de adoção de veículos elétricos, reforçando o compromisso de reduzir o consumo de combustíveis fósseis e de acelerar a difusão da tecnologia elétrica. A meta conjunta da União Europeia é ter entre oito mi-

lhões a nove milhões de veículos elétricos em circulação até 2020, cerca de 3% da frota total projetada. França, Alemanha e Holanda, por exemplo, têm metas de dois milhões, um milhão e 200 mil veículos, respectivamente (MCKINSEY & COMPANY, 2014).

Perspectivas para as emissões de gases de efeito estufa por veículos

Há estimativas mais recentes do que as divulgadas pelo PSTM para o Brasil. O Sistema de Estimativa de Emissão de Gases de Efeito Estufa (Seeg), iniciativa do Observatório do Clima, apresentou dados sobre emissões do setor para 2013. Segundo o Seeg (2015), as emissões de CO₂ do setor de transporte alcançaram 212,2 milhões de toneladas em 2013. A maior parte das emissões foi oriunda do transporte de passageiros (54,2%). Caminhões e automóveis responderam por 40,5% e 28,6% do total de emissões, respectivamente.

A eficiência energética seguirá como um dos principais *drivers* da indústria automotiva. A preocupação com o consumo de combustíveis e com as emissões permanecerá na agenda do setor. Há previsões mais e menos otimistas. Em publicação sobre energia intitulada *The Outlook for Energy: a View to 2040*, a ExxonMobil apresentou suas perspectivas para o setor de transporte como um todo com foco no consumo de combustível (EXXONMOBIL, 2015). Como o consumo está diretamente relacionado às emissões, as projeções para o consumo sugerem trajetórias para as emissões. A empresa projeta que o segmento de veículos leves⁸ é o único, entre os voltados ao transporte, que não deverá ampliar de forma significativa a demanda energética até 2040, em relação a 2010. Espera-se que a demanda por combustível no segmento cresça aproximadamente 10% até atingir um pico por volta de 2025 e, então, apresente ligeiro declínio de cerca de 5% até 2040. O incremento projetado nas vendas e na frota de veículos *full hybrids* será o principal responsável por essa redução. A ExxonMobil projeta que veículos *full hybrids* representarão cerca de 50% das vendas e 33% da frota global de veículos leves em 2040. Nos veículos pesados,⁹ é esperado crescimento de 65% na demanda por energia entre 2010 e 2040. Estima-se que, em 2040, representarão 40% do total consumido no transporte e que, a partir de 2025, passem a consumir mais combustível que os veículos leves. Os demais segmentos (aéreo, ferroviário e aquaviário) deverão crescer 75% na mesma base e representar 30% do total consumido para transporte.

⁸ Automóveis e comerciais leves.

⁹ Ônibus e caminhões.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. *Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis 2014*. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?pg=71976#Se__o2>. Acesso em: 8 dez. 2014.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *1º inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores*. Brasília, 2011.
- _____. *Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (PSTM)*. Brasília, 2013.
- _____. *Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários 2013: ano-base 2012*. Brasília, 2014.
- DIESELNET. *Emission test cycles*. Mississauga, [201-?]. Disponível em: <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php>. Acesso em: 2 dez. 2014.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. *Balanço Energético Nacional 2014: relatório síntese: ano base 2013*. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/BEN%202014%20Rel%20S%C3%ADntese%20ab%202013a.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2014.
- EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Vehicle testing regulations*. Washington, DC, [201-?]. Disponível em: <<http://www.epa.gov/nvfe/testing/regulations-vehicles.htm>>. Acesso em: 3 dez. 2014.
- EXXONMOBIL. *The outlook for energy: a view to 2040*. Irving, 2015. Disponível em: <http://cdn.exxonmobil.com/~media/global/files/outlook-for-energy/2015-outlook-for-energy_print-resolution.pdf>. Acesso em: 11 set. 2015.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. *Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – Proconve*. 3 ed. Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/category/4?download=4792%3Amanual-portugues>>. Acesso em: 11 set. 2015.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. *IPCC fourth assessment report: climate change 2007*. Geneva, [2007?]. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/spmssp-b.html>. Acesso em: 11 set. 2015.
- KÜHLWEIN, J.; GERMAN, J.; BANDIVADEKAR, A. *Development of test cycle conversion factors among worldwide light-duty vehicle CO₂ emission standards*. Washington, DC: ICCT, 2014.
- MCKINSEY & COMPANY. *Evolution: electric vehicles in Europe: gearing up for a new phase?* Amsterdam: Amsterdam Roundtables Foundation, 2014.

SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA – SEEG.

Evolução das emissões de gases de efeito estufa no Brasil (1990-2013): setor de energia e processos industriais. São Paulo: Observatório do Clima, 2015. Disponível em: <https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/seeg.tracersoft.com.br/wp-content/uploads/2015/08/energia_industria_2015.pdf>. Acesso em: 11 set. 2015.

UNITED NATIONS. United Nations Environment Programme – UNEP. *International test cycles for emissions and fuel economy*. Nairobi, [201-]. Disponível em: <http://www.unep.org/transport/gfei/autotool/approaches/information/test_cycles.asp#pg>. Acesso em: 3 dez. 2014.

YANG, Z. *Improving the conversions between the various passenger vehicle fuel economy/CO₂ emission standards around the world*. Washington: International Council on Clean Transportation, 2014. From the blogs staff. Disponível em: <<http://www.theicct.org/blogs/staff/improving-conversions-between-passenger-vehicle-efficiency-standards>>. Acesso em: 8 jan. 2015.