

# **Emissões Veiculares e Mudanças Climáticas: o controle da emissão de gases de efeito estufa para veículos leves**

## **Vehicle Emissions and Climate Change: controlling the emission of greenhouse gases for light duty vehicles**

*Vanderlei Borsari<sup>1</sup>  
Marcelo Pereira Bales<sup>2</sup>*

1 Tecnólogo Mecânico, CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo Limeira, São Paulo, SP, Brasil.

2 Engenheiro Mecânico, CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

### **RESUMO**

As mudanças climáticas resultantes do aumento nas concentrações de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera representam um dos principais problemas ambientais que o mundo enfrenta atualmente. Atividades humanas estão alterando a composição da atmosfera através da emissão de GEE, particularmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Os veículos automotores são uma importante fonte de emissão desses gases, diretamente pela emissão de gases pelo escapamento, como também pelas emissões oriundas do processo de produção e manipulação dos combustíveis e/ou fonte de energia usados pelos mesmos. O objetivo deste trabalho é apresentar um panorama do controle da emissão de GEE por veículos leves em alguns países e discutir as iniciativas que foram tomadas no Brasil, suas conveniências e suas desvantagens, e a evolução necessária rumo aos objetivos assumidos com a mitigação dessas emissões. A proposta apresentada mostrou-se em linha com a legislação europeia em termos de redução nas emissões e mais arrojada do que a legislação dos EUA.

Palavras chave: Gases de efeito estufa. Emissões veiculares.

### **ABSTRACT**

Climate change resulting from increased concentrations of greenhouse gases (GHG) in the atmosphere represent one of the main environmental problems the world is facing today. Human activities are altering the composition of the atmosphere through the emission of GHG, particularly carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>) and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O). Motor vehicles are an important source of emission of these gases, both directly, through the emission of gases through the exhaust, as well as through the emissions arising from the process of production and handling of the fuels or energy sources used by them. The objective of this work is to present an outline of GHG emission control by light duty vehicles in some countries and to discuss the initiatives that have been taken in Brazil, their conveniences and disadvantages, and the necessary evolution towards the assumed objectives with the mitigation of these emissions. The proposal presented was in line with European legislation in terms of reducing emissions and more stringent than US legislation.

Key words: Greenhouse gases. Vehicle emissions.

## 1. INTRODUÇÃO

A relação entre a emissão antrópica de gases do efeito estufa (GEE), o aumento de sua concentração na atmosfera e a elevação da temperatura do planeta foi estabelecida e é aceita pela grande maioria da comunidade científica. Em seu sexto relatório de avaliação – Assessment Report – AR6, o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), afirmou que: “É inequívoco que a influência humana tem aquecido a atmosfera, o oceano e a terra. Mudanças rápidas e generalizadas têm acontecido na atmosfera, oceano, criosfera e biosfera.” (IPCC, 2021, tradução nossa).

Medições sistemáticas diretas da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera iniciaram-se em meados do século vinte e mais recentemente para outros gases como o metano. No entanto, dados paleo-atmosféricos medidos a partir de amostras de gelo polar revelam a mudança na concentração para alguns dos GEE. Esses dados revelam a influência humana na concentração desses gases na atmosfera no período pós-revolução industrial.

Na 21ª Conferência das Partes (COP21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), realizada em 2015 em Paris, foi adotado um novo acordo com o objetivo central de fortalecer a resposta global à ameaça da mudança do clima e de reforçar a capacidade dos países para lidar com os impactos decorrentes dessas mudanças (BRASIL, 2016).

O Acordo de Paris foi aprovado pelos 195 países que participaram da COP21 e que se comprometeram a estabelecer ações para manter o aumento da temperatura média global em menos de 2°C e de envidar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C, ambos acima dos níveis de temperatura do período pré-revolução industrial (BRASIL, 2016).

A Contribuição Pretendida Nacionalmente Determinada (iNDC, na sigla em inglês) foi o documento onde em que o governo brasileiro registrou os principais compromissos e contribuições do Brasil para o atendimento aos objetivos do acordo climático de Paris (BRASIL, 2016). Houve posteriormente uma revisão sendo apresentada uma nova Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) ao Acordo de Paris (BRASIL, 2020). Em termos de metas o Ministério do Meio Ambiente declarou que: “O Brasil se comprometeu a promover uma redução das suas emissões de GEE em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025. Além disso, indicou uma contribuição subsequente de redução de 43% dos níveis de emissão de 2005, em 2030” (BRASIL, 2015). Embora a maior contribuição do país para as emissões de GEE esteja na área de mudança do uso do solo, o compromisso brasileiro também determina que sejam tomadas ações de mitigação no setor de transportes. Também está determinado que a redução deve ser feita para os seguintes gases: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, perfluorcarbonos, hidrofluorcarbonos e SF<sub>6</sub>.

## 2. EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA POR VEÍCULOS AUTOMOTORES

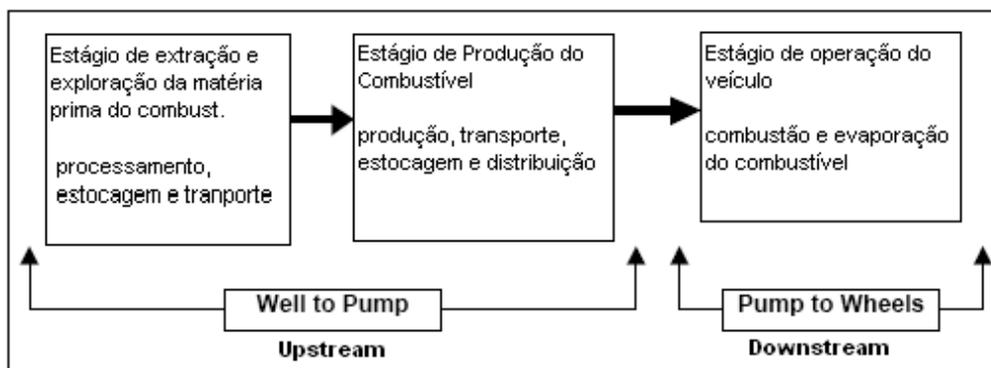
Os principais GEE emitidos por veículos automotores são dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e hidrofluorcarbonos (HFC's). Essas emissões podem incluir:

- a) CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O emitidos pelo escapamento na operação dos veículos;
- b) HFC emitido do sistema de ar condicionado devido a vazamentos, perdas durante a recarga ou liberação quando do sucateamento ou acidente com o veículo;
- c) emissões associadas à produção do combustível ou da energia utilizada pelo veículo; e
- d) emissões associadas à produção e à destinação final do veículo.

Uma estimativa da emissão de GEE na operação de veículos, como descrito no item “a” do parágrafo anterior, não leva em conta a análise do ciclo de vida dos combustíveis utilizados nos veículos ou *well-to-wheel analysis* (WTW), também chamada de “emissão poço à roda”. Isso inclui a emissão devido a produção, processamento, estocagem, transporte e distribuição dos combustíveis (*upstream emissions*, ou “poço ao tanque”) e as emissões devidas à operação do veículo (*downstream emissions* ou “tanque à roda”). Na Figura 1 é apresentado um modelo esquemático dos processos envolvidos na fabricação e distribuição de combustíveis e das etapas do ciclo de vida.

**Figura 1: Atividades cobertas na análise das emissões veiculares pelo ciclo de vida do combustível**

Fonte: USEPA (1997, adaptado).



A quantificação das emissões “poço à roda” ainda não contam com metodologia de consenso já que há várias métodos publicados e que podem ser adotados por diferentes organismos. Também há diferenças nas incertezas associadas a cada metodologia (EL-HOUJEIRI, 2011). As principais regulamentações para o controle das emissões de GEE consideram apenas as emissões devidas ao uso dos veículos, ou seja, as emissões “tanque à roda”. Essa abordagem está em linha com o que usualmente se pratica no controle ambiental, que é controlar cada emissão na sua respectiva fonte.

### 3. O POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL (GWP)

De acordo com Rosa & Schaeffer (1995, tradução nossa), o GWP é um índice adotado pelo IPCC para comparar quantitativamente o efeito estufa de diferentes gases. Baseia-se na razão entre o forçamento radiativo instantâneo de um pulso de emissão de um determinado gás de efeito estufa e de uma emissão igual e

simultânea de um gás de referência (CO<sub>2</sub>), integrados até um horizonte temporal determinado arbitrariamente.

O forçamento radiativo é especificado como a mudança em fluxo de energia na atmosfera, e é expressa em watts por metro quadrado (W/m<sup>2</sup>), ou seja, calor por unidade de área da superfície da Terra.

No Quadro 1 são apresentados os valores de GWP para CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e HFC-134a adotados nos três últimos relatórios de avaliação do IPCC: AR4, AR5 e AR6. Estes valores são regularmente verificados e, baseado na evolução do conhecimento científico, atualizados se necessário. No âmbito da Convenção do Clima cabe a cada país inventariante estabelecer qual valor utilizar (CETESB, 2021).

Os valores do Quadro 1 referem-se a um horizonte de tempo de 100 anos, que é o recomendado pelo IPCC para essa quantificação. Para se reportar a emissão dos gases de efeito estufa, como emissão de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2eq</sub>), recorre-se a Equação 1:

$$CO_{2eq} = CO_2 + (GWP_{CH_4} \times CH_4) + (GWP_{N_2O} \times N_2O) \text{ (Equação 1)}$$

**Quadro 1 - Potencial de Aquecimento Global (GWP)**

GEE	Tempo de vida aproximado (anos)	Potencial de Aquecimento Global (GWP)		
		AR4 (2007)	AR5 (2013)	AR6 (2021)
CO <sub>2</sub>	150	1	1	1
CH <sub>4</sub>	12	25	28	29,8 <sup>1</sup> 27,2 <sup>2</sup>
N <sub>2</sub> O	110	298	265	273
HFC-134a	14	1430	1300	1526

Fonte: IPCC (2007, 2013, 2021, adaptado).

Notas:

1 - CH<sub>4</sub> de origem fóssil

2 - CH<sub>4</sub> de origem não-fóssil

#### 4. A RELAÇÃO ENTRE A EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Um processo de combustão produz tanto poluentes locais, prejudiciais à saúde pública e ambiental (COV's - compostos orgânicos voláteis, CO - monóxido de carbono, NOx - óxidos de nitrogênio, etc.), quanto GEE. São produzidos os três principais gases de efeito estufa, mas o metano e o óxido nítrico, embora tenham um potencial de aquecimento global maior que o CO<sub>2</sub>, são produzidos em menor quantidade. A maior emissão é de CO<sub>2</sub>.

Podemos então estabelecer que quanto mais combustível queimamos, mais CO<sub>2</sub> é produzido. Assim podemos concluir uma relação básica: ao reduzir o consumo de energia, ou seja melhorando a eficiência energética, estamos também reduzindo as emissões de CO<sub>2</sub>.

Por outro lado, se por consumo de energia estamos nos referindo ao consumo de um combustível, isso é verdade desde que seja um combustível orgânico. É possível a utilização de outras formas de energia para a operação de um veículo. Considerando a análise “tanque a roda” aqui adotada, se o combustível for hidrogênio ou mesmo utilizarmos uma célula de hidrogênio, por exemplo, não há emissão de CO<sub>2</sub>. Se usarmos eletricidade, em veículos equipados apenas com bateria e motor elétrico, também podemos dizer que esse consumo de energia não está gerando CO<sub>2</sub>.

## **5. A PROPOSTA FEITA PELA CETESB PARA O CONTROLE DAS EMISSÕES DE GEE POR VEÍCULOS LEVES**

Em 2018 o governo do Estado de São Paulo, representado pela CETESB e pela Secretaria do Meio Ambiente, apresentou ao Ibama, agência federal de meio ambiente, proposta de Resolução Conama para estabelecer exigências inéditas de limitação na emissão de GEE por veículos automotores novos de uso rodoviário, incluindo motores a serem utilizados em veículos leves, pesados e motocicletas. A chamada “Proposta CETESB” estaria contida no âmbito das atualizações do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) e do Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares (PROMOT) e é baseada na metodologia “tanque-a-roda”.

A Proposta CETESB foi colocada em consulta pública (IBAMA, 2018) entre abril e maio daquele ano e recebeu diversas contribuições da sociedade civil. Ela propunha o estabelecimento de limites de emissão de GEE para veículos novos a serem atendidos a partir do ano 2022. Entretanto, após a análise das contribuições recebidas na consulta pública não houve o encaminhamento da proposta ao CONAMA, impedindo que a mesma fosse implementada.

A contabilização das emissões seria corporativa, ou seja, cada fabricante ou importador deveria apresentar a média corporativa anual dos níveis de emissão de GEE ponderada pelas vendas dos veículos novos no período. Esse tipo de abordagem é o mesmo a ser utilizado para o atendimento aos limites de emissão de poluentes locais na fase L-8 do PROCONVE a partir de 2025, estabelecidos pela Resolução CONAMA 492/2018, e também é a forma como se verifica o atendimento às metas de eficiência energética dos programas brasileiros Inovar-Auto e Rota 2030. Ela permite uma maior flexibilidade às empresas na criação de seu portfólio de modelos, podendo “compensar” a emissão maior de um modelo por meio de emissões menores de outros modelos.

Os limites máximos propostos de emissão de GEE corporativos de veículos leves e leves comerciais, em g/km de CO<sub>2</sub> equivalente, são apresentados no Quadro 2, na próxima página.

Na proposta se considerou que a emissão de CO<sub>2</sub> proveniente da combustão de etanol, biocombustível utilizado em larga escala nos veículos no Brasil, seja nula. Essa consideração é baseada na concepção adotada pelo modelo de inventário nacional que calcula as emissões de biocombustíveis e as reporta separadamente e ao fato da emissão do escapamento ser compensada pela absorção de CO<sub>2</sub> que ocorre durante o crescimento do vegetal que deu origem ao etanol.

**Quadro 2 – Limites de emissão de GEE corporativos de veículos leves e leves comerciais, em g CO<sub>2eq</sub>/km, conforme Proposta CETESB**

Ano	Limite
2022	40
2027	30
2032	20

Fonte: Os autores (2022).

No Quadro 3 são apresentados os valores equivalentes ao limite de emissão proposto incluindo também a emissão de CO<sub>2</sub> da parcela de etanol na gasolina<sup>1</sup>. A indicação desses valores equivalentes ao limite permite a comparação com valores utilizados em outros países, onde o uso de biocombustível é menor. O cálculo utilizado para obtenção desses valores está detalhado no Anexo 1.

**Quadro 3 - Limites de emissão de GEE e seus equivalentes incluindo a emissão de CO<sub>2</sub> da parcela de etanol na gasolina, em g CO<sub>2eq</sub>/km**

Ano	Limite proposto	Equivalente
2022	40	94
2027	30	68
2032	20	42

Fonte: Os autores (2022).

Para a medição da emissão de GEE provenientes do escapamento dos veículos automotores leves de passageiros e leves comerciais, indica-se o procedimento de ensaio previsto na norma ABNT NBR 7024/2010 (ABNT, 2017), calculando o valor final de cada gás de efeito estufa combinando o ciclo urbano e o ciclo estrada. Esse ensaio é o mesmo que é usado para os programas Inovar-auto e Rota 2030 e é similar ao utilizado nos EUA, tanto para a legislação de controle de consumo de combustível quanto para o controle da emissão de GEE.

Os resultados de emissão de GEE expressos em CO<sub>2</sub> equivalente seriam calculados pela soma dos gases CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, cada um deles multiplicado pelo seu respectivo potencial de aquecimento global (GWP), conforme apresentado na Equação 2, onde os valores 25 e 298 correspondem aos valores de GWP para o CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, respectivamente.

$$\text{CO}_2 \text{ eq} = \text{CO}_2 + \text{CH}_4 \times 25 + \text{N}_2\text{O} \times 298 \text{ (Equação 2)}$$

<sup>1</sup> No Brasil a gasolina para uso em veículos rodoviários, chamada “gasolina C”, contém parcela de etanol anidro que pode variar de 18% a 27% em volume. Em 2022 a parcela de etanol anidro era de 27% até pelo menos o mês de abril. Os veículos com a tecnologia *flex-fuel* podem também ser movidos a etanol hidratado ou a qualquer mistura da gasolina com etanol. Todos os cálculos efetuados para a proposta CETESB foram feitos utilizando o percentual requerido para a gasolina de referência usada nos ensaios de emissão veicular, ou seja 22%.

Onde:

CO<sub>2eq</sub> – emissão de GEE expresso em CO<sub>2</sub> equivalente em gramas de gás emitido por quilômetro percorrido no ciclo de emissão.

CO<sub>2</sub> – emissão de dióxido de carbono em gramas de gás emitido por quilômetro percorrido no ciclo de emissão.

CH<sub>4</sub> – emissão de metano em gramas de gás emitido por quilômetro percorrido no ciclo de emissão.

N<sub>2</sub>O – emissão de óxido nitroso em gramas de gás emitido por quilômetro percorrido no ciclo de emissão.

Os valores de GWP adotados foram estabelecidos pelo IPCC em seu AR4 de 2007. Essa métrica foi adotada na minuta de resolução por ser a mesma utilizada pela legislação de controle veicular de GEE dos EUA.

A proposta CETESB previa a inclusão, no cálculo do CO<sub>2eq</sub>, das emissões de hidrocarbonetos não metano (NMHC) e de monóxido de carbono (CO)<sup>2</sup>, utilizando-se a metodologia de cálculo apresentada pela Equação 3.

$$\text{CO}_{2\text{eq}} \text{ total} = (\text{FC} \div 0,273 \times \text{NMHC}) + (1,571 \times \text{CO}) + \text{CO}_{2\text{eq}} \text{ (Equação 3)}$$

Onde:

CO<sub>2eq</sub> total – emissão de GEE somada à emissão de outros gases com potencial de efeito estufa expresso em CO<sub>2</sub> equivalente em gramas de gás emitido por quilômetro percorrido no ciclo de emissão.

FC – fração de carbono medida em massa da molécula do combustível utilizado.

NMHC – emissão de hidrocarbonetos não metano em gramas de gás emitido por quilômetro percorrido no ciclo de emissão.

CO – emissão de monóxido de carbono em gramas de gás emitido por quilômetro percorrido no ciclo de emissão.

Nos casos de veículos *flex-fuel* o atendimento deveria ser demonstrado pela realização de ensaios com os combustíveis gasolina e etanol hidratado. O valor a ser considerado como emissão final de GEE é a média aritmética simples entre os resultados de todos os ensaios.

Prevista ainda a medição da emissão de CO<sub>2</sub> em condições reais, ou seja, com o veículo rodando em um trajeto nas vias públicas, durante o qual as emissões seriam medidas por equipamento portátil. Após três anos do início de vigência dos limites previstos para ensaios em laboratório, seria estabelecido limite específico para o atendimento em condições reais de operação.

Nos cinco anos iniciais da vigência dos limites de emissão de GEE, o número de veículos de emissão zero e de veículos híbridos vendidos no mercado

---

<sup>2</sup> Essa consideração também é feita na legislação dos EUA. É levado em conta que tanto o NMHC quanto o CO emitidos irão se oxidar na atmosfera, gerando CO<sub>2</sub>.

nacional seria contabilizado em dobro<sup>3</sup> quando da realização do cálculo para atendimento dos limites corporativos, reduzindo a emissão corporativa das empresas que oferecerem esses modelos e, conseqüentemente, valorizando as tecnologias de menor emissão. Esse modelo de política pública está em linha com o previsto na Resolução Conama 18/1986, que estabeleceu o PROCONVE e tinha como um dos objetivos o desenvolvimento tecnológico da indústria automobilística. Após esse período inicial, esses modelos seriam contabilizados apenas como um único veículo. Trata-se de uma ferramenta do tipo “supercréditos”, modelo normalmente utilizado em fases iniciais de políticas públicas de controle de emissão de GEE em diversos países.

Estava previsto também que se criasse procedimento para regulamentar a geração e a utilização de créditos de emissão<sup>4</sup> como mecanismo auxiliar ao atendimento aos limites.

Não foi adotada nenhuma variação nos limites propostos em função de parâmetros físicos dos veículos, sistema conhecido como “âncora”, a exemplo da massa do veículo utilizada na legislação europeia ou a “pegada” (*footprint*) do veículo utilizado na norte-americana. Dessa maneira conferia-se maior liberdade no trabalho de desenvolvimento da indústria para atingimento do limite corporativo, sem incentivar o uso de artifícios como aumentar a massa ou o tamanho dos veículos para facilitar o atendimento aos limites.

## 6. A LEGISLAÇÃO EUROPEIA

Em 2009 a Europa (Regulation EC 443/2009) estabeleceu o limite de 130 g/km para a média das emissões de todos os veículos comercializados de todos os fabricantes combinados. Em 2013 a legislação foi alterada e foi estabelecido o limite de 95 g/km para a média de 95% dos veículos vendidos em 2020 e 100% em 2021. Isso implica em um consumo de combustível de 4,1 L/100km de gasolina e 3,6L/100km de diesel, equivalentes as autonomias de 24,4 km/L e 27,8 km/L, respectivamente. Os limites referem-se exclusivamente a emissão de CO<sub>2</sub>, sem considerar os demais GEE.

Em 2018 a legislação foi revisada estabelecendo para automóveis os limites de 81 g/km em 2025 e 59 g/km em 2030 (ICCT, 2019). Esses valores acabaram por ficar menos restritivos do que os anteriormente previstos (68 g/km e 42 g/km, respectivamente). Foi determinado ainda que a partir de 2020, veículos novos tenham meio de monitorar o consumo de combustível ou energia. Isso é feito pelo OBFCM – “On Board Fuel and/or energy Consumption Monitoring device”, dispositivo que permite que seja feita a coleta dos dados armazenados. Entre 2021 e 2026 a Comissão Europeia deve monitorar esses dados e reportar anualmente as emissões reais de CO<sub>2</sub>.

---

<sup>3</sup> Ao contabilizar em dobro os veículos de baixa emissão, o resultado corporativo é melhor, considerando que a comprovação ao atendimento ao limite se dá pela média ponderada da emissão pelo número de veículos vendidos. O artifício de dobrar o número de veículos de baixa emissão no cálculo implica em aumentar a participação desses modelos no resultado final, reduzindo o mesmo e gerando uma vantagem à empresa que oferecer ao mercado esse tipo de tecnologia.

<sup>4</sup> A geração de crédito de emissão possibilitaria a uma empresa utilizá-lo em períodos posteriores ou mesmo comercializá-lo com outras empresas, gerando benefício econômico ao mesmo tempo que incentiva a comercialização de veículos de menor emissão.

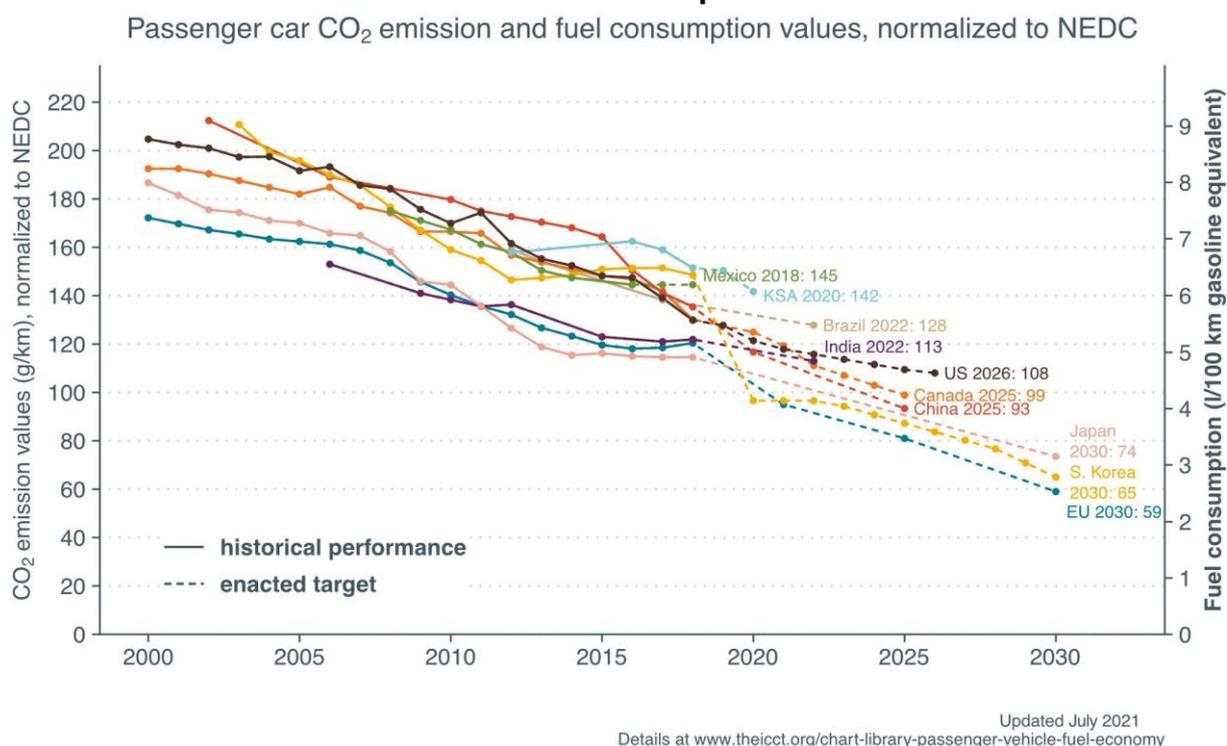
## 7. A LEGISLAÇÃO DOS ESTADOS UNIDOS

A legislação americana introduzida em 2010 faz com que a agência ambiental USEPA trabalhe conjuntamente com a agência de administração do tráfego, NHTSA, aplicando limites tanto para emissão de GEE quanto para o consumo de combustível. A primeira fase estabeleceu limites para os veículos ano-modelo entre 2012 e 2016, equivalentes a 155 g/km. Posteriormente o limite para a média corporativa “projetado” a ser atendido entre 2017 e 2025 alcança o valor de 101 g/km (European Parliament, 2016). O valor é em CO<sub>2</sub> equivalente, ou seja, inclui a emissão de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O considerando os respectivos GWP.

Em dezembro de 2021 a USEPA alterou a legislação impondo limites um pouco mais restritivos, reduzindo em 7,5 g/km e ampliando em um ano a meta final, de 2025 para 2026.

Na Figura 2 é apresentada a evolução temporal das emissões de CO<sub>2</sub> e a projeção das metas da legislação em vários países, considerando e normalizando as diferenças metodológicas existentes (ICCT, 2019).

**Figura 2 – Emissão de CO<sub>2</sub> por veículos de passageiros – evolução histórica e metas em vários países**



Fonte: ICCT (2021).

## 8. COMPARAÇÃO ENTRE A PROPOSTA CETESB E A LEGISLAÇÃO DOS EUA E DA EUROPA

A comparação entre a proposta de resolução Conama elaborada pela CETESB e a legislação dos EUA e da Europa para o controle das emissões de GEE

veicular não pode ser feita diretamente, em especial pela diferença entre os combustíveis utilizados e pela metodologia de ensaio de emissão diversa.

Para se comparar corretamente, foram adotadas algumas metodologias e premissas para a conversão de valores e equiparação dos resultados.

Para os combustíveis foram consideradas os seguintes valores:

- Composição molecular de referência para a gasolina sem etanol:  $C_8H_{18}$ ,
- Composição molecular de referência para o etanol:  $C_2H_6O$
- Relação ideal em massa entre o  $CO_2$  emitido pelo etanol e pela gasolina: 0,65, calculada conforme método constante no Anexo 1.

Para transformar os valores obtidos no ciclo de ensaio adotado nos EUA e no Brasil em valores equivalentes ao ciclo europeu de ensaio (NEDC) utilizou-se a relação desenvolvida pelo ICCT (ICCT, 2014). A fórmula usada foi a referente a veículos a gasolina e está apresentada na Equação 4<sup>5</sup>.

$$CAFE = (0,8983 \times NEDC) + 9,773 \text{ (Equação 4)}$$

Onde:

CAFE é o valor da emissão de  $CO_2$  no ciclo dos EUA (urbano + estrada, equivalente ao usado no Brasil), em g/km

NEDC é o valor da emissão de  $CO_2$  no ciclo europeu, em g/km.

Nessa análise não está incluída a emissão de  $CH_4$  e  $N_2O$ . Essa emissão pode variar conforme a tecnologia empregada pelos veículos, mas deve ficar em cerca de 3% da emissão de  $CO_{2equiv}$ . Não está considerada também a contabilização da oxidação dos poluentes NMHC e CO que, assim como na legislação dos EUA, consta da proposta apresentada. Trata-se, no entanto, de uma emissão de menor monta e que para o efeito dessa comparação não tem muita influência.

No Quadro 4 é apresentado um resumo comparativo dos limites existentes ou propostos nos EUA, na Europa e no Brasil, os períodos de vigência e a metodologia aplicada.

**Quadro 4 – Resumo comparativo dos limites de  $CO_2$  nos EUA, Europa e Brasil**

País	Ano de início de vigência	Situação	Limite (g/km)	Método	Âncora
EUA	2025	Em vigor	100	$CO_2$ equivalente	<i>Footprint</i>

<sup>5</sup> A fórmula atualmente recomendada pelo ICCT é diferente. O ICCT mantém serviço de atualização contínua de fórmulas que relacionam diversos ciclos em sua página na Internet: <https://theicct.org/improving-the-conversions-between-the-various-passenger-vehicle-fuel-economy-co2-emission-standards-around-the-world/>

**Quadro 4 – Resumo comparativo dos limites de CO<sub>2</sub> nos EUA, Europa e Brasil (conclusão)**

País	Ano de início de vigência	Situação	Limite (g/km)	Método	Âncora
Europa	2009	Superado	130	Apenas CO <sub>2</sub>	Massa
	2021	Em vigor	95		
	2025	Proposto	68		
		Promulgado	81		
	2030	Proposto	42		
		Promulgado	59		
Brasil <sup>(1)</sup>	2022	Proposta CETESB	94	CO <sub>2</sub> equivalente <sup>(2)</sup>	Nenhum
	2027		68		
	2032		42		

Nota 1: Apenas proposta, não entrou em vigor. Vide Item 5.

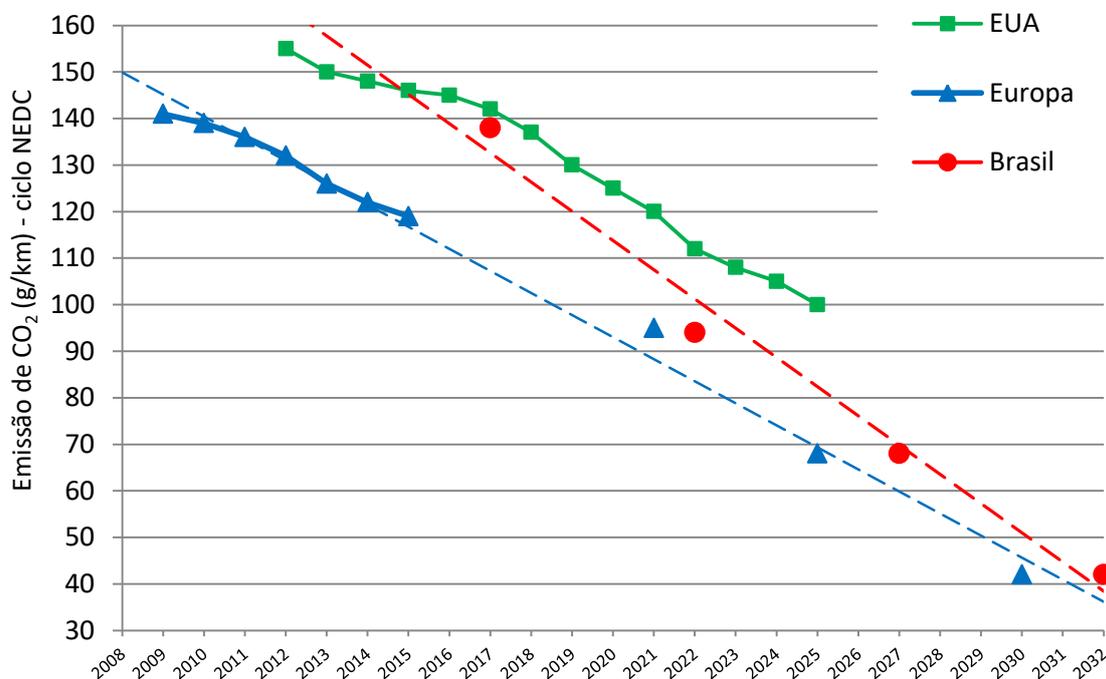
Nota 2: Considerada apenas a parcela de CO<sub>2</sub> do combustível de origem fóssil.

Fonte: Os autores (2022).

Os valores constantes no Quadro 4 estão apresentados em forma de gráfico na Figura 3. A evolução temporal dos limites constantes nas regulamentações, propostas ou vigentes, evidencia similaridade entre os países. As inclinações das retas representam a intensidade no avanço dos limites e mostram que os desafios da evolução tecnológica necessária são similares. O primeiro ponto do gráfico referente à evolução do Brasil, de 138 g/km em 2017, é o estimado por ICCT, 2019. O valor é a estimativa da média corporativa geral do Programa Inovar Auto<sup>6</sup>. Os demais três pontos são os valores da Proposta CETESB. Para melhor visualização e compreensão, foram traçadas linhas de tendência entre os pontos.

<sup>6</sup> O Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores (Inovar-Auto) é o regime automotivo do Governo Brasileiro que tinha como objetivo a criação de condições para o aumento de competitividade no setor automotivo. Entre seus objetivos estava o de promover a melhoria da eficiência energética dos veículos, estabelecendo metas corporativas de autonomia a serem obedecidas pelos fabricantes.

**Figura 3 – Limites de emissão de GEE ou CO<sub>2</sub> nos EUA e Europa e limites propostos para o Brasil**



Fonte: Os autores (2022).

## 9. ANÁLISE COMPARATIVA DOS LIMITES NOS EUA COM A PROPOSTA CETESB

A agência de proteção ambiental americana USEPA apresentou em relatório sobre o programa de eficiência energética (USEPA, 2016) exemplos de modelos de veículos populares com diferentes tamanhos teriam que atender diferentes limites de emissão de CO<sub>2</sub> e economia de combustível conforme o respectivo *footprint*.

Se os modelos vendidos no mercado americano fossem *flex-fuel* e adotassem o critério de anular a emissão de CO<sub>2</sub> quando utilizando etanol, e considerando a mesma premissa da proposta CETESB de que utilizassem 50% etanol/50% gasolina, teoricamente os valores limites de emissão seriam aproximadamente metade dos apresentados. O Quadro 5 apresenta os limites individuais reais, baseados na meta de *footprint* e os limites estimados para *flex-fuel*.

Esses valores mostram que o limite corporativo de 40 g/km da Proposta CETESB para a primeira etapa seria perfeitamente factível, visto que o esforço tecnológico necessário para alcançá-lo não seria tão grande, considerando inclusive que no Brasil o mercado oferece uma gama de veículos significativamente menor em tamanho e massa, com maior potencial para redução do consumo de combustível e conseqüentemente de redução da emissão de GEE. Os veículos que utilizam exclusivamente gasolina ou diesel, que teriam uma emissão maior de CO<sub>2</sub>, poderiam ser compensados por uma maior participação de veículos com menor emissão, inclusive híbridos ou elétricos, considerando o limite corporativo.

**Quadro 5 – Limites de emissão de veículos no mercado dos EUA, em gCO<sub>2eq</sub>/km**

Porte do veículo	Modelo (exemplo)	LIMITES <sup>1</sup> (gCO <sub>2EQ</sub> /km) <sup>2</sup>	
		Real	Estimado para <i>flex-fuel</i>
Pequeno	Honda Fit	81	41
Médio	Ford Fusion	91	46
Grande	Chrysler 300	106	53

Notas:

1 Os valores indicados como limites consideram o *footprint* do modelo de veículo. O limite da regulamentação aplica-se, no entanto, à média corporativa e não aos modelos individualmente.

2 Valores originalmente em g/milha, convertidos pelos autores para g/km.

Fonte: Os autores (2022).

A abordagem garantia um diferencial positivo para a utilização preferencial de biocombustível, já que quando da sua utilização, o CO<sub>2</sub> proveniente do uso do mesmo seria considerado nulo. No caso de um veículo dedicado exclusivamente ao uso de etanol, a emissão seria próxima de zero. No caso de um veículo *flex-fuel*, a emissão de CO<sub>2</sub> seria contabilizada aproximadamente pela metade, supondo que um veículo quando em uso utilizasse 50% do tempo o etanol como combustível. Ou seja, seria considerada praticamente apenas a emissão da parcela fóssil do combustível.

## 10. A QUESTÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O Programa Rota 2030 - Mobilidade e Logística (BRASIL, 2018), é parte da estratégia elaborada pelo Governo Federal para desenvolvimento do setor automotivo no país. É o regime automotivo sucessor do Programa Inovar-Auto (BRASIL, 2012), encerrado em 31 de dezembro de 2017. Entre os requisitos desse programa está o atendimento à meta de eficiência energética.

A meta de eficiência para veículos leves de passageiros e comerciais categoria 1<sup>7</sup>, a ser cumprida até 1º de outubro de 2022 e que deve ser mantida até 2026, é estabelecida por uma função matemática, na qual o limite de eficiência se dá em função da massa. O atendimento é corporativo. Assim, a meta é função da massa média dos veículos comercializados pela empresa e o resultado da eficiência energética médio da empresa, ponderado pelo número de veículos, deve ficar igual ou inferior à meta. A Equação 5 apresenta a função matemática que estabelece a meta prevista no programa Rota 2030.

$$CE1' = 1,028297 + 0,000528 \times (M' \text{ média ponderada}), \text{ (Equação 5)}$$

<sup>7</sup> veículo leve comercial - categoria 1: veículo automotor não derivado de veículo leve de passageiros com massa total máxima autorizada até 3.856 Kg e massa do veículo em ordem de marcha até 1.564 Kg, projetado para o transporte de carga ou seus derivados, ou projetado para o transporte de até 12 passageiros.

Onde:

CE1' é o consumo energético expresso em MJ/km

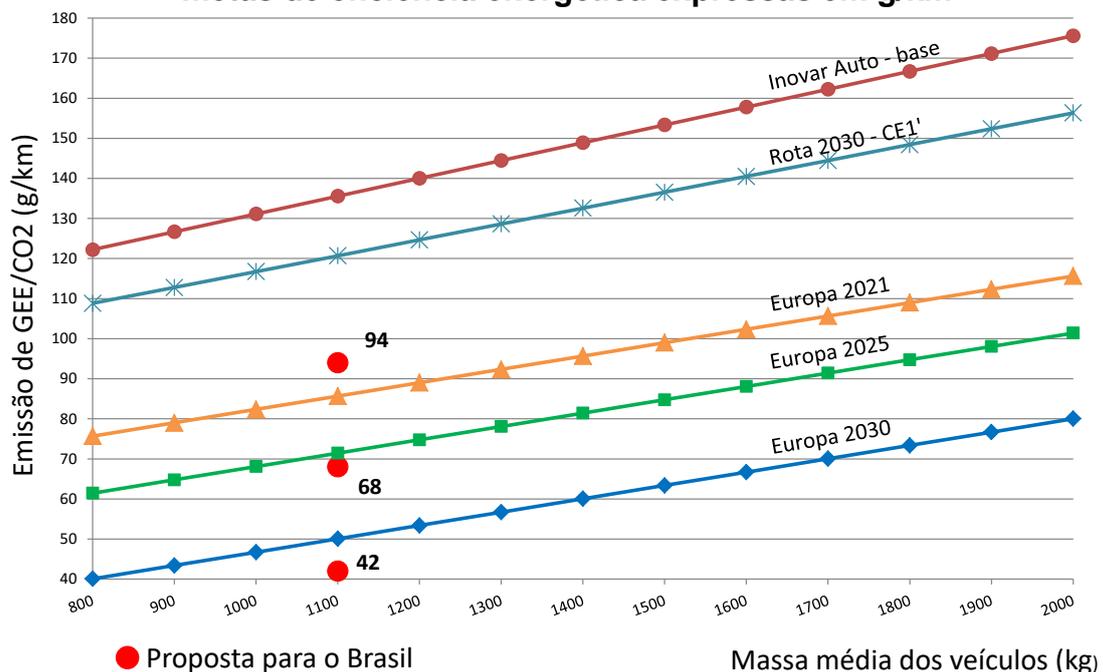
M' é a massa média expressa em kg, de todos os veículos da categoria, ponderada pelas vendas ocorridas nos 12 meses anteriores.

CE1' se refere à meta base a ser atingida pelo fabricante. As metas CE2' e CE3' se referem às metas para que o fabricante seja agraciado com mais dois pontos ou um ponto percentual de redução no IPI, respectivamente.

A Equação 5 é válida para veículo leve de passageiros, veículo leve comercial - categoria 1, que engloba a maioria dos veículos. Há metas diferentes para veículos com tração 4x4 e comerciais leves de categoria 2 (transporte de carga e de mais de 12 passageiros), não apresentadas neste trabalho.

A Figura 5 apresenta as curvas dos valores das metas de eficiência energética dos programas nacionais Inovar-Auto e Rota 2030, expressos em g/km de CO<sub>2</sub> para que se possa compará-los com os limites propostos no Brasil<sup>8</sup> e com as curvas limites vigentes na Europa. O cálculo utilizado para a normalização dos métodos e possibilitar a comparação encontra-se no Anexo 2. Observa-se que as metas de eficiência energética, embora indiretamente possam promover alguma redução nas emissões de GEE, são menos restritivas que os limites impostos no continente europeu.

**Figura 5 – Comparação dos limites propostos e dos limites europeus com as metas de eficiência energética expressas em g/km**



Fonte: Os autores (2022).

<sup>8</sup> No gráfico da Figura 5 o posicionamento dos pontos que representam a Proposta CETESB em relação ao eixo horizontal (massa) leva em conta que as metas do Programa Inovar-Auto foram estabelecidas pelo Governo Federal tomando como referência um veículo com massa de 1121 kg (Almeida Filho, 2018).

## 11. CONCLUSÃO

O setor de transporte, e mais especificamente o uso de veículos automotores rodoviários, representa uma importante fonte de emissão de GEE. Vários países ou grupo de países optaram pelo controle direto dessas emissões, por meio de regulação. Além da evidente consequência direta da redução nas emissões, objetivo primeiro desse controle, esse tipo de regulação fomenta a inovação e avanços tecnológicos, promovendo vantagens competitivas tanto para os países quanto para as empresas envolvidas. Nota-se que os principais mercados mundiais de veículos automotores seguem por esse caminho.

A Proposta CETESB de controle apresentada em 2018 foi inspirada nos controles existentes no cenário internacional, mas adaptada à realidade e especificidades nacionais. Ela considera e confere vantagem tanto ao uso de biocombustíveis, no qual o Brasil é um dos líderes mundiais, quanto à eletrificação dos veículos, forte tendência observada nos principais mercados.

A questão climática impõe aos países a necessidade de realizar ações mitigadoras com urgência. No Brasil a emissão de GEE do setor de transporte também é significativa. Somente com o estabelecimento de controles de emissão será possível atingir as metas compromissadas pelo país perante a comunidade internacional.

Baseado nas contribuições e no avanço do tema ocorrido desde então, tais como a revisão da legislação internacional, a publicação de normativa nacional correlata – Programa Rota 2030 e a publicação das novas fases de controle de emissões do PROCONVE – fases L7 e L8, recomendamos que a Proposta CETESB seja reanalisada, a luz das contribuições da consulta pública realizada pelo Ibama para que se verifique a eventual necessidade de atualização, e novamente trazida ao debate.

## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7024: Veículos rodoviários automotores leves – Medição do consumo de combustível – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2017.

ALMEIDA FILHO, Gilberto. **Programa Inovar Auto - Atendimento das metas de eficiência energética e suas externalidades**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3149/tde-16072018-140145/pt-br.php>. Acesso em mai. 2022.

BRASIL. **DECRETO Nº 7.819, DE 3 DE OUTUBRO DE 2012**. Regulamenta os arts. 40 a 44 da Lei nº 12.715, de 17 de setembro de 2012, que dispõe sobre o Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores - INOVAR-AUTO. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF. Publicado em Edição Extra Edição n. 192 de 03/10/2012 - p. 1 a 5.

BRASIL. **PORTARIA Nº 2.202-SEI, DE 28 DE DEZEMBRO DE 2018**. Estabelece regulamentação complementar do Programa Rota 2030 - Mobilidade e Logística, criado pela Lei nº 13.755, de 10 de dezembro de 2018, e regulamentado pelo Decreto nº 9.557, de 8 de novembro de 2018. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF. Publicado em: 31/12/2018, Edição 250, seção 1, p. 84.

BRASIL. **Apresentação da Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil perante o Acordo de Paris**. NOTA À IMPRENSA Nº 157/2020. Brasília, 2020. Disponível em: [https://www.gov.br/mre/pt-br/canais\\_atendimento/imprensa/notas-a-imprensa/2020/apresentacao-da-contribuicao-nacionalmente-determinada-do-brasil-perante-o-acordo-de-paris](https://www.gov.br/mre/pt-br/canais_atendimento/imprensa/notas-a-imprensa/2020/apresentacao-da-contribuicao-nacionalmente-determinada-do-brasil-perante-o-acordo-de-paris). Acesso em out. 2022.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Quantificação e Relato de Emissões de Gases de Efeito Estufa**. Nota Técnica 01. Versão 1.0. São Paulo, abril de 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/04/Nota-Tecnica-01-Quantificacao-e-Relato-de-Emissoes-de-Gases-de-Efeito-Estufa.pdf>. Acesso em fev. 2022.

EL-HOUJEIRI. Hassam M. **The standardization of major Well-to-Wheel models: Measuring uncertainty on a macro level**. Doctorate Thesis. DEPARTMENT OF ENGINEERING SCIENCE of the UNIVERSITY OF OXFORD. January of 2011. Disponível em: [https://ora.ox.ac.uk/catalog/uuid:9fee3138-0149-4128-9ccb-a310a8ae7abe/download\\_file?file\\_format=application%2Fpdf&safe\\_filename=Thesis%2B2011\\_Print\\_after%2Bviva\\_22.pdf](https://ora.ox.ac.uk/catalog/uuid:9fee3138-0149-4128-9ccb-a310a8ae7abe/download_file?file_format=application%2Fpdf&safe_filename=Thesis%2B2011_Print_after%2Bviva_22.pdf). Acesso em out. 2022.

European Parliament. **Comparative Study on the differences between the EU and US legislation on emissions in the automotive sector**. Directorate General for Internal Policies. Policy Department a: Economic and Scientific Policy. Dezembro, 2016. Disponível em: <http://www.europarl.europa.eu/supporting-analyses>. Acesso em fev. 2022.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Consulta Pública sobre controle de emissões de gases de efeito estufa por veículos automotores novos**. Brasília, 2018. Disponível em: [https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/notas/copy\\_of\\_notas/consulta-publica-sobre-controle-de-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-por-veiculos-automotores](https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/notas/copy_of_notas/consulta-publica-sobre-controle-de-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-por-veiculos-automotores). Acesso em fev. 2022.

ICCT – International Council on Clean Transportation. **Development of test cycle conversion factors among worldwide light-duty vehicle CO<sub>2</sub> emission standards**. Washington, DC, 2014. Disponível em: [http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT\\_LDV-test-cycle-conversion-factors\\_sept2014.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_LDV-test-cycle-conversion-factors_sept2014.pdf). Acesso em fev. 2012.

ICCT – International Council on Clean Transportation. **CO<sub>2</sub> emission standards for passenger cars and light-commercial vehicles in the European union**. 2019. Disponível em: <https://theicct.org/publications/ldv-co2-stds-eu-2030-update-jan2019>. Acesso em fev. 2022.

ICCT – International Council on Clean Transportation. **Passenger vehicle fuel economy**. Updated July, 2021. Disponível em: <https://theicct.org/pv-fuel-economy/>. Acesso em out. 2022.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2007: synthesis report - summary for policymakers**. Geneva, 2007.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2021 The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, 2021. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf) Acesso em agosto 2021

MATTOS, Laura Bedeschi Rego de. **A importância do setor de transportes na emissão de gases de efeito estufa: o caso do município do Rio de Janeiro**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Pretendida contribuição nacionalmente determinada para consecução do objetivo da convenção-quadro das nações unidas sobre mudança do clima (iNDC)**. Brasília, 2015. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/images/arquivo/80108/BRASIL%20iNDC%20portugues%20FINAL.pdf>. Acesso em fev. 2022.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Acordo de Paris**. Brasília, 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/noticia-acom-2016-10-1898>. Acesso em fev. 2022.

Regulation (EC) No 443/2009 of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 **setting emission performance standards for new passenger cars as part of the Community's integrated approach to reduce CO<sub>2</sub> emissions from light-duty vehicles**. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX:32009R0443>. Acesso em fev. 2022

ROSA, Luiz Pinguelli; SCHAEFFER, Roberto. Global warming potentials: The case of emissions from dams. **Energy Policy**, v. 23, n. 2, p. 149-158, 1995.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. **Climate change and public health**. Washington, DC, 1997. (EPA 236-F-97-005).

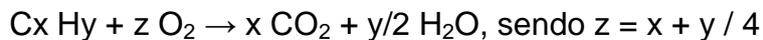
USEPA – United States Environmental Protection Agency. **EPA and NHTSA Set Standards to Reduce Greenhouse Gases and Improve Fuel Economy for Model Years 2017-2025 Cars and Light Trucks**. Office of Transportation and Air Quality. EPA-420-F-12-051. August 2016.

## ANEXO 1

### Cálculo dos valores equivalentes aos limites de emissão internacionais

A combustão é uma reação química de óxido-redução (redox) exotérmica de alta temperatura entre um combustível (o redutor) e um oxidante, geralmente o oxigênio atmosférico, que resulta em produtos oxidados, geralmente gasosos. Mais comumente, temos a combustão de um combustível orgânico, formado por um ou uma composição de hidrocarbonetos (compostos que contêm carbono e hidrogênio em sua composição). Durante a combustão, o carbono (C) presente na molécula do hidrocarboneto se combina com o oxigênio (O<sub>2</sub>) atmosférico resultando em dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e água (H<sub>2</sub>O).

A reação típica é:

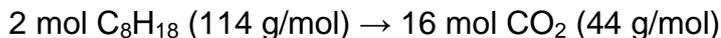
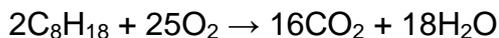


#### 1. Cálculo estequiométrico da emissão de CO<sub>2</sub> pela combustão de gasolina

Considerando:

- a) C<sub>8</sub>H<sub>18</sub> é molécula considerada para representar a gasolina sem adição de etanol;
- b) 0,7197 kg/L é a densidade da gasolina

Reações:



$$2 \times 114 = 228 \text{ g} \rightarrow 16 \times 44 = 704 \text{ g}$$

$$1000/228 \times 704 = 3087,72 \text{ g}$$

$$\underline{1 \text{ kg gasolina produz } 3,088 \text{ kg } CO_2 \text{ ou}}$$

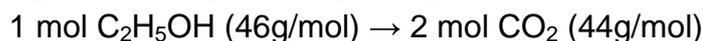
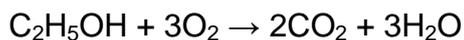
$$\underline{1 \text{ L gasolina produz } 2,22 \text{ kg } CO_2}$$

#### 2. Cálculo estequiométrico da emissão de CO<sub>2</sub> pela combustão de etanol:

Considerando:

- a) C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH é molécula do etanol;
- b) 0,789 kg/L é a densidade do etanol.

Reações:



$$1000/46 \times 88 = 1913,04 \text{ g}$$

$$\underline{1 \text{ kg etanol produz } 1,91 \text{ kg } CO_2}$$

$$\underline{1 \text{ L etanol produz } 1,51 \text{ kg } CO_2}$$

#### 3. Relação aproximada em massa do CO<sub>2</sub> produzido pelo etanol e pela gasolina:

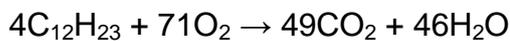
$$\underline{CO_2 \text{ etanol} / CO_2 \text{ gasolina} \approx 0,65}$$

#### 4. Cálculo estequiométrico da emissão de CO<sub>2</sub> pela combustão de diesel:

Considerando:

- a) C<sub>12</sub>H<sub>23</sub> é molécula considerada para representar;
- b) 0,832 kg/L é a densidade do diesel.

Reações:



$$4 \times 167,3 = 669,25\text{g} \rightarrow 48 \times 44 = 2112\text{g}$$

$$1000/669,25 \times 2112 = 3155,77\text{g}$$

1kg diesel produz 3,16 kg CO<sub>2</sub> ou

1L diesel produz 2,63 kg CO<sub>2</sub>

#### 5. Cálculo dos valores equivalentes aos limites de emissão internacionais

Os limites internacionais são baseados na emissão de CO<sub>2</sub> gerada utilizando-se combustíveis fósseis. Na Proposta CETESB a emissão de CO<sub>2</sub> do etanol é considerada zero. Para se comparar com os limites internacionais é preciso considerar a emissão do etanol.

Considerando:

- a) a gasolina padrão para ensaios de consumo e emissões utilizada no Brasil composta pela mistura 78% gasolina e 22% etanol em volume e aproximadamente 75,9% gasolina e 24,1% etanol em massa;
- b) a relação entre o ciclo CAFE e o NEDC segundo ICCT (2014): CAFE - 9,773 = 0,8983 x NEDC
- c) os limites da Proposta CETESB, conforme Quadro 4;

Temos:

- i) para o limite de 40 g/km:

$$((0,241 \times 40) + 40 \times 0,65 \times 2)) \text{ x fórmula ICCT}$$

Limite equivalente a 94 g/km

- ii) para o limite de 30 g/km:

$$((0,241 \times 30) + 30 \times 0,65 \times 2)) \text{ x fórmula ICCT}$$

Limite equivalente a 68 g/km

- iii) para o limite de 20 g/km:

$$((0,241 \times 20) + 20 \times 0,65 \times 2)) \text{ x fórmula ICCT}$$

Limite equivalente a 42 g/km

## ANEXO 2

### Relação entre autonomia e CO<sub>2</sub>

Para efeito de comparação entre valores de autonomia (em km/L) e emissão de CO<sub>2</sub> (em g/km) pode-se utilizar uma aproximação baseada na fórmula de cálculo de consumo da Norma ABNT NBR 7024 que considera a emissão de gases de escapamento para determinar o resultado. A fórmula da norma está apresentada na Equação 6.:

$$C = \frac{[(0,8656 \times m_{THC}) + (0,4288 \times m_{CO}) + (0,2729 \times m_{CO_2})]}{(6,4487 \times \%V_{gas}) + (4,1102 \times \%V_{etho})} \times 100 \text{ (Equação 6)}$$

Onde:

C é o consumo de combustível em l/100 km;

m<sub>THC</sub> é a massa de hidrocarbonetos totais (THC), em gramas;

m<sub>CO</sub> é a massa de monóxido de carbono (CO), em gramas;

m<sub>CO<sub>2</sub></sub> é a massa de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), em gramas;

V<sub>gas</sub> é o percentual de gasolina pura constante no combustível, considerado o valor de 78% quando utilizando a gasolina de referência para ensaios de consumo e emissões e zero quando utilizando o etanol de referência;

V<sub>etho</sub> é o percentual de etanol constante no combustível, considerado o valor de 22% quando utilizando a gasolina de referência para ensaios de consumo e emissões e 100% quando utilizando etanol de referência.

Para se determinar a autonomia, converte-se o consumo conforme apresentado na Equação 7:

$$A = \frac{100}{C} \text{ (Equação 7)}$$

Onde:

A é a autonomia do veículo em km/l;

C é o consumo de combustível em l/100km.

Como aproximação pode-se desprezar as emissões de CO e THC e usar somente a emissão de CO<sub>2</sub>. Temos:

a) para gasolina:

$$A = \frac{593,423}{(0,2729 \times m_{CO_2})}$$

b) para etanol:

$$A = \frac{411,02}{(0,2729 \times m_{CO_2})}$$