

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI  
ORLANDO DE SALVO JUNIOR

**DIFUSÃO DA INOVAÇÃO AMBIENTAL NA TECNOLOGIA DE PROPULSÃO  
AUTOMOTIVA PARA MITIGAR EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA –  
GEE**

São Paulo  
2016

ORLANDO DE SALVO JUNIOR

**DIFUSÃO DA INOVAÇÃO AMBIENTAL NA TECNOLOGIA DE PROPULSÃO  
AUTOMOTIVA PARA MITIGAR EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA –  
GEE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Centro Universitário da FEI, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Administração, orientada pela Profa. Dra. Maria Tereza Saraiva de Souza.

São Paulo  
2016



## Apresentação de Dissertação Ata da Banca Julgadora

Mestrado

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Administração

PPGA-10

**Aluno:** Orlando de Salvo Junior**Matrícula:** 321408-7**Título do Trabalho:** Difusão da Inovação Ambiental na Tecnologia de Propulsão Automotiva para Mitigar Emissões de Gases de Efeito Estufa - GEE**Área de Concentração:** Gestão da Inovação**Orientador:** Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Tereza Saraiva de Souza**Data da realização da defesa:** 21/06/2016**Avaliação da Banca Examinadora:**


---



---



---



---



---

São Paulo, 21 / 06 / 2016.

**MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA****Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Tereza Saraiva de Souza** Ass.: \_\_\_\_\_**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Gabriela Scur** Ass.: \_\_\_\_\_**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Flavia Consoni de Mello** Ass.: \_\_\_\_\_

A Banca Julgadora acima-assinada atribuiu ao aluno o seguinte resultado:

APROVADO REPROVADO **VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO**

APROVO A VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO EM QUE FORAM INCLUÍDAS AS RECOMENDAÇÕES DA BANCA EXAMINADORA

Aprovação do Coordenador do Programa de Pós-graduação

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Edmilson Alves de Moraes

Dedico esta dissertação a minha esposa Vera e meus filhos André e Gabriel, fontes da minha motivação.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela inspiração diante das incertezas e por colocar no meu caminho pessoas especiais, para que em cada dia eu percebesse exemplos de dedicação e amor.

À Profa. Dra. Maria Tereza Saraiva de Souza, orientadora desta dissertação, a minha gratidão pela dedicação, exemplo de competência, ensinamentos e paciência.

Aos professores Dr. Roberto Carlos Bernardes e Dr. Jacques Demajorovic, membros da banca de qualificação, pelas recomendações que muito enriqueceram minha dissertação.

Ao professor Dr. Edson Sadao Iizuka pelos ensinamentos, desafios e incentivos durante minha jornada para cumprir as disciplinas.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho, professores do PPGA/FEI, a secretária do PPGA/ FEI, Carmem da Silva Carlos, que contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação.

À minha esposa, pela paciência em minhas ausências, pelo constante incentivo durante todo o percurso e por me fortalecer diante do cansaço, incertezas e desafios para realizar este projeto.

Aos meus filhos, pelos momentos de ausência para cumprir cada etapa deste projeto de vida, espero que eu possa retribuir a privação enfrentada durante esta jornada.

## RESUMO

A busca por alternativas energéticas tem sido alvo de pesquisas para reduzir a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera. Nas últimas décadas, diversos países, incluindo o Brasil, tomaram ações para a redução das emissões tóxicas dos automóveis em benefício da saúde pública. Para atender à nova realidade de redução das emissões de GEE, a regulamentação tem papel vital na definição de metas e padrões que fomentem a melhoria tecnológica dos automóveis. Este trabalho teve como objetivo analisar o processo de difusão da inovação ambiental incorporada à tecnologia de propulsão automotiva, para mitigar emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Para atingir este objetivo, foi realizada pesquisa qualitativa e descritiva, usando como base os veículos participantes do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular. A experiência dos principais mercados de automóveis é apresentada como forma de posicionar a realidade brasileira frente a outras regiões. O resultado desta pesquisa mostra a difusão de tecnologias antes restritas a modelos mais caros, com maior desempenho, que passam a equipar modelos mais simples, visando o aumento da eficiência energética. Também foi identificada a introdução de tecnologias no mercado brasileiro, como a injeção direta de combustível e a motorização com três cilindros. Diante das mudanças identificadas, a legislação leva a um processo de balanceamento tecnológico entre as montadoras, de forma a favorecer a difusão ambiental, antes restrita em função do custo, por meio de tecnologias disponíveis em outros mercados e que passam a equipar os veículos brasileiros.

**Palavras-chave:** Inovação Tecnológica Ambiental. Difusão da Inovação Ambiental. Gases de Efeito Estufa. Indústria automobilística. Tecnologia de propulsão.

## ABSTRACT

The search for alternative energy sources has been the subject of research to reduce greenhouse gases (GHG) emissions in the atmosphere. In recent decades, several countries, including Brazil, have taken actions to reduce toxic emissions from cars in favor of public health. To meet the new need to reduce the GHG emissions, the regulation has vital role in defining goals and standards that foster the technological improvement of automobiles. This study aims to analyze the diffusion process of environmental innovation incorporated into automotive propulsion technology, to mitigate greenhouse gases (GHG) emissions. To reach this goal, a research was carried out qualitative and descriptive, using as a basis the participating of Brazilian Vehicle Labeling Program. The experience of the major automotive markets is presented in order to place the Brazilian reality compared to these other regions. The result of this research shows the diffusion of technologies before restricted to more expensive models with higher performance, start to equip simpler models, aiming to increasing energy efficiency. It was also identified the introduction of technologies in the Brazilian market as direct fuel injection and engine with three cylinders. According the changes identified, legislation drive to technological balance process among the automakers, in order to favor environmental innovation diffusion, in the past restricted due to the cost, by way of technologies previously available in other markets start to equip Brazilian vehicles.

**Key-words:** Diffusion of innovation. Environmental technological innovation. Greenhouse gas. Powertrain technology. Automotive industry.

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Definições e conceitos de eco-inovação e inovação ambiental.....	24
Quadro 2 – Legislação nacional e internacional com metas de eficiência energética.....	41
Quadro 3 -Tecnologia Ambiental para redução e controle de emissões tóxicas automotiva....	46
Quadro 4 – Categorias de Inovação Tecnológica Ambiental para redução de emissões automotivas de GEE.....	54
Quadro 5 – Categorias de Difusão da Inovação Ambiental.....	63
Quadro 6 – Categorias de Barreiras à Difusão da Inovação Ambiental.....	67
Quadro 7 – Tabela de coleta de dados com as tecnologias ambientais .....	72
Quadro 8 – Tecnologias introduzidas nos automóveis em cada fase do PROCONVE, veículos leves.....	78
Quadro 9 – Tecnologias introduzidas em cada fase da legislação de emissões na Europa.....	81
Quadro 10 –Tecnologias dos automóveis para a redução das emissões de GEE e aumento de eficiência.....	98

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Etiqueta com taxa de consumo de combustível, veículos leves – China.....	36
Figura 2 – Proposta de modelo de etiqueta para o PBEV.....	39
Figura 3- Comparação internacional do consumo médio de energia da frota de veículos de passageiros.....	40
Figura 4 - Comparação global de regulamentação de CO <sub>2</sub> para veículos de passageiros.....	42
Figura 5 - Matriz da inovação.....	43
Figura 6 - Quatro tipos de instrumentos de política ambiental.....	59
Figura 7 – Telas do aplicativo de celular do PBEV.....	74
Figura 8 – Emissões de CO por automóveis e veículos comerciais leves do ciclo Otto por fase do PROCONVE.....	79
Figura 9 - Emissões de NOx por automóveis e veículos comerciais leves do ciclo Otto por fase do PROCONVE.....	80
Figura 10 - Emissões de NMHC (hidrocarbonetos não-metano) por automóveis e veículos comerciais leves do ciclo Otto por fase do PROCONVE.....	80
Figura 11 - Meta de consumo energético dos veículos brasileiros (Base 2013) .....	90

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparação das tecnologias automotivas de redução de GEE com a classificação do PBVE 2016 .....	84
Gráfico 2 – Distribuição da classificação do PBVE 2016 pelo total de veículos por tecnologias automotivas de redução de GEE .....	84
Gráfico 3 – Comparação das tecnologias automotivas de redução de GEE com a classificação geral do PBVE .....	85
Gráfico 4 – Distribuição das tecnologias automotivas de redução de GEE dos veículos do PBVE por categoria .....	86
Gráfico 5 – Proporção das tecnologias de GEE dentro de cada categoria .....	87
Gráfico 6 - Distribuição de motores três cilindros e motores com turbo compressor.....	88
Gráfico 7 - Veículos multiválvulas sem comando variável por classificação do PBEV.....	88
Gráfico 8 - Tecnologia veicular e classificação do PBEV de veículos sem ar condicionado.....	89
Gráfico 9 – Participação de vendas de automóveis e comerciais leves novos por combustível (1977 a 2015) .....	92
Gráfico 10 – Participação de vendas de automóveis e comerciais leves elétricos (2005 a 2015) .....	104

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1	JUSTIFICATIVA E QUESTÃO DE PESQUISA.....	17
1.2	OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	19
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>20</b>
2.1	DISCUTINDO CONCEITOS DE ECO-INOVAÇÃO E INOVAÇÃO AMBIENTAL....	20
2.2	FATORES DETERMINANTES PARA INOVAÇÃO AMBIENTAL.....	26
<b>2.2.1</b>	<b>A regulamentação como indutor de inovação ambiental.....</b>	<b>28</b>
<i>2.2.1.1</i>	<i>A legislação como indutora da inovação tecnológica ambiental para a redução das emissões tóxicas automotiva .....</i>	<i>28</i>
<i>2.2.1.2</i>	<i>A legislação como indutora de inovação tecnológica ambiental para a mitigação das emissões de GEE dos automóveis .....</i>	<i>31</i>
2.3	TECNOLOGIAS AMBIENTAIS PARA MITIGAR EMISSÕES AUTOMOTIVAS.....	42
<b>2.3.1</b>	<b>Tecnologias ambientais para a redução das emissões tóxicas automotiva .....</b>	<b>44</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Tecnologias ambientais para a redução das emissões de GEE dos automóveis.....</b>	<b>47</b>
2.4	DETERMINANTES E BARREIRAS PARA A DIFUSÃO DA INOVAÇÃO AMBIENTAL NO SETOR AUTOMOTIVO .....	55
<b>2.4.1</b>	<b>Fatores para a difusão da inovação ambiental no setor automotivo.....</b>	<b>55</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Barreiras para a difusão da inovação ambiental .....</b>	<b>64</b>
<b>3</b>	<b>MÉTODO DE PESQUISA .....</b>	<b>69</b>
3.1	ABORDAGEM METODOLÓGICA.....	69
3.2	INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS.....	69
3.3	TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS.....	76
<b>4</b>	<b>RESULTADOS DA PESQUISA.....</b>	<b>78</b>
4.1	A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA COMO DETERMINANTE NA ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS AMBIENTAIS AUTOMOTIVAS.....	78
<b>4.1.1</b>	<b>Redução de emissões tóxicas em veículos leves fabricados no Brasil.....</b>	<b>78</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Aumento de eficiência energética para a redução de GEE em veículos leves fabricados no Brasil.....</b>	<b>82</b>
4.2	TECNOLOGIAS AMBIENTAIS PARA REDUÇÃO DE GEE NA FROTA BRASILEIRA.....	83

4.3 ELEMENTOS DA DIFUSÃO E BARREIRAS DA INOVAÇÃO AMBIENTAL NO SETOR AUTOMOTIVO.....	90
<b>4.3.1 Fatores da difusão da inovação ambiental no setor automotivo brasileiro.....</b>	<b>91</b>
<b>4.3.2 Barreiras para a difusão da inovação ambiental automotiva .....</b>	<b>92</b>
<b>5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA PESQUISA.....</b>	<b>94</b>
5.1 A REGULAMENTAÇÃO COMO INDUTORA E DIFUSORA DE INOVAÇÃO AMBIENTAL.....	94
5.2 TECNOLOGIAS AMBIENTAIS PARA REDUÇÃO DE GEE .....	98
5.3 DIFUSÃO E BARREIRAS DA INOVAÇÃO AMBIENTAL NO SETOR AUTOMOTIVO.....	105
<b>5.3.1 Fatores da difusão da inovação ambiental no setor automotivo brasileiro.....</b>	<b>105</b>
<b>5.3.2 Motivos das barreiras da difusão ambiental.....</b>	<b>108</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>110</b>
6.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	112
6.2 RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	113
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>114</b>
<b>GLOSSÁRIO.....</b>	<b>122</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O modelo de utilização do transporte individualizado tem levado a um aumento no consumo de energia e, como consequência, nas emissões. Governos de países desenvolvidos têm atuado no sentido de gerenciar os meios de mobilidade e no controle e planejamento dos meios de transporte, em função dos impactos ambientais e energéticos que este setor tem provocado (BALASSIANO, 2004). Além do aspecto energético, as emissões dos meios de transporte, incluindo os veículos leves, têm chamado a atenção por afetar a saúde pública. Esta realidade foi apontada por diversos estudos publicados (CARVALHO *et al.*, 2015; CANÇADO *et al.*, 2006; LEE *et al.*, 2010; GODOY, 2013; SILVA *et al.*, 2013; CHRISTENSEN; WELLS; CIPCIGAN, 2012; BERGEK; BERGGREN, 2014; DIJK; YARIME, 2010; BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010), para evidenciar a relação de causa e efeito entre as emissões provenientes dos meios de transporte e o impacto das emissões de gases tóxicos na saúde pública.

Para Freitas *et al.* (2004), os episódios de contaminação do ar em diversas regiões do planeta, a partir da década de 1940, levaram ao controle de poluentes atmosféricos em vários países. Na década de 1970, acreditava-se que estes limites eram seguros, mas somente na década de 1980, com o advento da computação, foi possível uma análise estatística mais profunda sobre os efeitos sobre a saúde. Com base em análise estatística, no período de 1993 a 1997, da qualidade do ar, foi identificada relação estatisticamente significativa entre o monóxido de carbono (CO) e a incidência de doenças relacionadas ao sistema respiratório, e, da mesma forma, o aumento de mortalidade principalmente entre os idosos. O ozônio (O<sub>3</sub>) também apresentou relação com doenças respiratórias (FREITAS *et al.*, 2004).

A poluição atmosférica está relacionada à presença de substâncias indesejáveis na atmosfera. A partir da Revolução Industrial, as fontes antropogênicas passaram a ter um papel relevante, entre estas o combustível fóssil dos veículos automotores, levando muitos países a estabelecer limites de poluentes, com ações no Brasil a partir de 1990 (CANÇADO *et al.*, 2006). Segundo Carvalho *et al.* (2015), entre as principais fontes emissoras de poluentes nas regiões metropolitanas, os automóveis e meios de transporte terrestre têm sido apontados como causadores de desequilíbrio ambiental. Entre os principais poluentes emitidos pelos automóveis, temos: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), hidrocarbonetos (HC) e ozônio (O<sub>3</sub>). Este último é formado por reações catalisadas de seus precursores: NO<sub>x</sub> e HC.

A matriz energética brasileira tem o etanol para a propulsão dos carros, sendo este utilizado como aditivo à gasolina ou na forma pura, hidratado. Mesmo com esta opção de combustível renovável, os automóveis são os responsáveis pelo maior volume das emissões de gases tóxicos para a atmosfera. Visando mudar este cenário, foi estabelecido pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), em 1986, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). Conforme estudo de Carvalho *et al.*(2015), durante o período de 1996 a 2009 ocorreram reduções na concentração de CO e NOx na região metropolitana de São Paulo, apesar de a frota mais que dobrar durante estes anos, indicando o efeito benéfico do PROCONVE.

Além dos efeitos das emissões automotivas sobre a saúde pública, outros fatores foram identificados como causadores de alterações nas características climáticas do planeta, por modificarem a concentração dos gases naturais presentes na atmosfera. Devido a estes fatores, com consequências na mudança do clima, foi criada em 1992 a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC), e diversas ações surgiram visando o controle e mitigação dos gases geradores do efeito estufa. A atmosfera compõe uma estrutura que controla e ajusta a temperatura do planeta, porém este fenômeno natural vem se alterando em função dos gases provenientes da queima de combustíveis de origem fóssil, os principais responsáveis pela emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE). Estes combustíveis são utilizados para atender a necessidade da sociedade atual para suprir: a geração de energia elétrica, sistemas de aquecimento, indústria e, principalmente, os meios de transporte (GODOY, 2013; SILVA *et al*, 2013).

A mudança climática tem um significado amplo, envolvendo fenômenos naturais que são afetados pela ação humana, bem como o termo “aquecimento global”, que remete às emissões dos gases que afetam este fenômeno natural. A alteração climática, em função do Gases de Efeito Estufa (GEE) emitidos na atmosfera, é resultado do aumento das emissões do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que é produzido pela queima de combustíveis fósseis. O acúmulo de CO<sub>2</sub> e de outros gases na atmosfera, tem como consequência maior absorção da radiação solar nas regiões próximas à superfície terrestre, causando o aquecimento do planeta. Estas mudanças estão relacionadas à atividade econômica, com impacto direto sobre o clima (CARVALHO; MACHADO; MEIRELLES, 2011; CARVALHO; PEROBELLI, 2009).

Com a mudança do clima, a busca por alternativas energéticas tem sido alvo de pesquisas, o que leva à busca de um combustível com capacidade de gerar energia e ao mesmo tempo reduzir a emissão de GEE na atmosfera. Contudo, a redução do consumo de combustível fóssil deve ser tratada como pré-requisito para o sucesso do controle do efeito

estufa. O resultado da mistura de etanol à gasolina, como forma de redução da emissão de GEE, serve de comprovação da complementaridade ambiental deste combustível (JUNQUEIRA, 2002).

As ameaças ambientais ao bem-estar social e econômico, em função das mudanças climáticas, têm sido um desafio para as economias ao redor do mundo. Esta condição tem conduzido o desenvolvimento científico na direção de soluções para a produção de energia de baixo carbono. Os países asiáticos têm apresentado amplo crescimento industrial nos últimos anos, e esta mudança de cenário abre espaço para o desenvolvimento de soluções tecnológicas para geração de energia de baixo carbono.

Com base no Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (sigla IPCC em inglês), deve ocorrer até 2050 uma redução de 50 a 85% nas emissões de CO<sub>2</sub>, visando evitar o aquecimento do planeta em 2°C. Os maiores emissores de CO<sub>2</sub> são a geração de energia elétrica e a área de transportes, e os automóveis de uso particular têm ampla participação nas emissões de GEE (CHRISTENSEN; WELLS; CIPCIGAN, 2012).

Segundo o relatório de 2009 da IEA, o setor de transporte responde por aproximadamente 25% da emissão mundial de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), e os transportes terrestres respondem por cerca de 75% deste montante. A concentração de dióxido de carbono equivalente na atmosfera tem crescido desde 1995, atingindo o patamar de 435 partes por milhão (ppm) em 2012. As ações para o controle destas emissões visam conter o aumento de temperatura do planeta abaixo de 2°C, considerando o período pré-industrial. O pico de concentração de GEE previsto para o meio do século é de 450 ppm, estabilizando-se, após 2100, em 450 ppm (IEA, 2015).

Além do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), existem mais cinco Gases de Efeito Estufa (GEE) apontados como os principais responsáveis pelo aquecimento global: gás metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>), hidrofluorcarbonos (HFCs) e perfluorcarbonos (PFCs). As emissões têm como base o CO<sub>2</sub>, gerando a tonelada de carbono equivalente (t CO<sub>2</sub> eq), que é a referência para o cálculo de unidades individuais (UNFCCC, 2008).

A expansão econômica das últimas décadas tem sido acompanhada de crescente preocupação ambiental, disponibilidade de energia e limitação da disponibilidade dos recursos. Em vista da evolução das necessidades, para atender a esta nova demanda muitos desafios têm impellido a busca por soluções mais eficientes. A crescente preocupação em reduzir as emissões de GEE tem forçado os governos a buscar soluções de longo prazo para atender a estas pressões e superar as crises econômicas, e um dos instrumentos tem sido o desenvolvimento de tecnologias ambientais como forma de estímulo econômico (OECD,

2009). Segundo Wong *et al.* (2014), a maior parte da literatura se baseia em segmentos de baixo carbono, mas para o entendimento amplo do assunto devem ser consideradas as políticas dos países com desenvolvimento tardio para implementar tais tecnologias, considerando diferentes níveis de desenvolvimento.

Para Lee *et al.* (2010), o rigor da legislação ambiental confere um desafio para as montadoras e fornecedores, e também apontam a política regulatória de comando e controle como um dos principais fatores no cumprimento da legislação ambiental automobilística nos Estados Unidos. A regulamentação fomenta a inovação na indústria automobilística. Segundo Difiglio (1997), algumas estratégias podem contribuir para a redução das emissões de carbono, entre elas: aumento no preço do combustível; regulamentação ou incentivo para a economia de combustível com base nas atuais tecnologias; regulamentação ou incentivo para o uso de combustíveis com baixas emissões; ou investimento público-privado para o desenvolvimento de novas tecnologias de propulsão de baixo consumo.

No Brasil, o etanol, que nasceu como alternativa econômica frente ao petróleo, posiciona-se neste novo contexto como combustível renovável na matriz energética brasileira e com atributos ambientais (SILVA *et al.*, 2013; JUNQUEIRA, 2002). A matriz energética brasileira é ampla e conta com combustíveis renováveis e não renováveis, como os combustíveis fósseis, que são fontes finitas e um dos principais responsáveis por emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Nesse contexto, o etanol é apontado como alternativa viável para o fornecimento de energia limpa e renovável. A disponibilidade de um combustível renovável com menor impacto ambiental, como o etanol, pode reduzir a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) em veículos bicombustíveis. Esta tecnologia foi introduzida no Brasil na década de 1970, e sofreu um declínio na década de 1990 devido ao crescimento das exportações do açúcar e o fim do subsídio. Este cenário se manteve até o ano de 2003, com o lançamento do primeiro veículo bicombustível no mercado nacional com tecnologia brasileira (SILVA *et al.*, 2013). A matriz energética brasileira é diversificada e com opções de biocombustíveis para o setor de transporte. A aditivação do etanol à gasolina subiu de 25 para 27%, e no biodiesel foi de 5% para 7% (IEA, 2015).

Explorando mais a base de comparação, Ribeiro e Abreu (2008) demonstraram que a redução das emissões de dióxido de carbono no Brasil depende da migração do uso de derivados de petróleo, na área de transportes, usando as opções disponíveis na matriz de energia do país, e também com a melhoria do rendimento energético dos veículos. Outra oportunidade de redução de GEE seria a renovação da frota, forçando a substituição por veículos novos, com maior eficiência energética. Esta ação seria benéfica, mas dependeria da

participação do governo, para subsidiar a diferença entre o valor do veículo e o ganho com as emissões de carbono evitadas (GUIMARÃES; LEE, 2010).

A indústria automobilística tem elevada participação na economia dos países, em função da ligação em cadeia com diversos setores. A participação do setor automotivo no Brasil representa 23% do PIB industrial e 5% do PIB total (MDIC, [2015]).

As inovações ambientais implementadas nos veículos focaram a redução das emissões de CO, NO<sub>x</sub> e COV (composto orgânico volátil, que inclui os hidrocarbonetos), e o desafio da atualidade está em reduzir os GEE, mais diretamente a redução de CO<sub>2</sub> dos automóveis. As tecnologias alternativas de sistemas de propulsão elétricos apresentam algumas restrições, seja por motivos técnicos e/ou de infraestrutura, e por este motivo existe grande investimento da indústria automobilística na busca por inovações, para melhoria de eficiência e consequente redução nas emissões dos atuais motores à combustão interna (AHMAN, 2001).

Nos anos de 1960 houve ações para a redução das emissões de fontes móveis, evoluindo nas últimas décadas com o estreitamento dos limites de emissões. A atenção para as questões ambientais avançou mais recentemente com iniciativas para a redução de GEE, e o caminho que muitos países trilharam foi por meio de instrumentos políticos. Os instrumentos aplicados podem ter foco tecnológico ou econômico, e a escolha do instrumento leva a diferentes tipos de inovação (BERGEK; BERGGREN, 2014).

Para Oltra e Saint Jean (2009), a análise e levantamento sobre o regime tecnológico pode esclarecer as dinâmicas que levam ao processo da inovação ambiental. Visualizar a evolução da inovação tecnológica somente com base na regulamentação, sem dar a devida atenção ao processo como um todo, acaba por estreitar a visão do processo de aprendizagem e conhecimento acumulado. Esta percepção mais ampla do processo da inovação ambiental traz perspectivas sobre o caminho que devem seguir as soluções para novas tecnologias.

A regulamentação ambiental automotiva europeia iniciou em 1985, visando à redução das emissões dos gases tóxicos. Nos anos de 1990 a preocupação se voltou para a emissão de CO<sub>2</sub>, estabelecendo-se em 1998 os limites para a década seguinte. Este cenário mobilizou governantes a criarem fundos para pesquisa e desenvolvimento de motores mais eficientes, e incentivos, como a introdução de etiquetagem de consumo de energia e subsídios para veículos menos poluentes. A regulamentação de emissões automotivas começou nos Estados Unidos em meados dos anos de 1970, avançando na década de 1990 com a introdução do programa de veículos com baixas emissões (DIJK; YARIME, 2010). Em 2001 a China iniciou seu programa para economia de combustível e redução das emissões de CO<sub>2</sub>, evoluindo com a implementação de padrões de teste de consumo de combustível, limites de

consumo e etiquetagem, divididos por categoria (JIN *et al*, 2015). Em 1979 o Japão introduziu o primeiro padrão para economia de combustível e, em 1998, estabeleceu o programa *top runner* no intuito de aumentar a eficiência energética do setor de transporte. No final de 2014, a Coreia do Sul introduziu novos padrões para a média de consumo de combustível e GEE para veículos leves. Em 2008 o governo brasileiro iniciou o programa de etiquetagem veicular, no intuito de melhorar a eficiência energética dos veículos. As montadoras passaram a disponibilizar a etiqueta com a classificação de A até E, sendo A para os veículos com o menor consumo de combustível (BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010).

Em função do impacto sobre o meio ambiente, e das emissões de GEE dos automóveis, a indústria automobilística tem atuado de forma compassada com as mudanças climáticas. Nas últimas décadas, diversas ações aconteceram para atender às regulamentações e também a busca por produtos mais competitivos. Neste cenário, as montadoras têm implementado inovações tecnológicas ambientais em seus produtos, difundindo estas melhorias para os diversos países onde atuam. Em função do impacto das emissões dos automóveis, este estudo é dedicado à investigação sobre as inovações em tecnologias com baixa emissão de carbono.

## 1.1 JUSTIFICATIVA E QUESTÃO DE PESQUISA

A inovação ambiental visa à exploração de um produto ou modelo de negócio que reduza o impacto ambiental, comparado ao que se usa como alternativa para tal fim (KEMP; PEARSON, 2007). Engloba este conceito qualquer tipo de inovação com foco no desenvolvimento sustentável, utilizando os recursos naturais de forma mais eficiente (EUROPEAN COMMISSION, 2007). Adicionalmente, inovação ambiental visa o desenvolvimento de novos produtos para satisfazer a necessidade humana e melhoria da qualidade de vida, usando os recursos naturais de forma otimizada e minimizando as emissões (REID; MIEDZINSKI, 2008). Os fundamentos da inovação ambiental apontam para a otimização de recursos e processos, levando em consideração a eficiência ao longo do ciclo de vida da solução aplicada. Soluções nas áreas de geração de energia renovável e automóveis mais eficientes exigem mudanças não somente de produtos e processos, mas também de infraestrutura, e só podem ser concluídos no longo prazo. Planejamento e amplo investimento são exigidos para a melhoria do desempenho ambiental nestas áreas (RENNINGS, 2000).

Para as novas tecnologias levarem a contribuição para a vida das pessoas é necessário passar pelo processo de difusão da inovação, que depende inicialmente da sua propagação por

meio da percepção pelos indivíduos, seguido pelo canal de comunicação, o tempo para terem a decisão se adotam ou rejeitam tal inovação e, pôr fim, a estrutura social que permeia a inovação com base nas normas sociais. Com base nos conceitos da difusão, Karakaya, Hidalgo e Nuur (2014) apresentam levantamento de publicações sobre difusão da eco-inovação para o período entre 1990 e 2012, identificando crescimento a partir de 2006, atingindo o auge em 2011. Dentro desta análise foram identificados 26 artigos com mais de 10 citações por ano, sendo somente três deles sobre o setor automotivo.

Em função da ampla participação dos automóveis nas emissões de GEE e em vista do impacto que o setor automotivo exerce sobre a economia dos países, pelo elevado investimento em pesquisa e desenvolvimento, por estar sujeito à regulamentação de diversas formas ao redor do mundo, há a necessidade de mais pesquisas a respeito da inovação ambiental neste setor. Por estas justificativas, este estudo tem por objetivo responder à questão de pesquisa: como ocorreu o processo de difusão de inovação ambiental na tecnologia de propulsão automotiva para a redução das emissões de Gases de Efeito Estufa?

## 1.2 OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Dada a amplitude do impacto ambiental e a relevância das emissões de CO<sub>2</sub> pelos automóveis, um dos principais gases do efeito estufa, justifica-se a realização deste trabalho, que teve por objetivo investigar a contribuição da inovação ambiental no sistema de propulsão automotivo para a redução das emissões de GEE, reduzindo o consumo de combustíveis e, conseqüentemente, baixando o volume de gases emitidos.

Desta forma, este estudo propôs investigar o processo de difusão da inovação ambiental incorporada à tecnologia de propulsão automotiva, para mitigar emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Para atingir o objetivo geral deste estudo, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- a) Analisar a evolução da inovação tecnológica ambiental de produto para a redução de emissões dos veículos leves nacionais;
- b) Levantar a legislação ambiental para mitigar emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) em motor de ignição por centelha;
- c) Analisar a influência da legislação ambiental como determinante para a inovação tecnológica dos veículos leves;

- d) Identificar o desempenho ambiental de cada tecnologia de veículos leves produzidos no Brasil, utilizando como base a tabela de eficiência energética do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV).

Este estudo visou contribuir para a estruturação de informações sobre as tecnologias ambientais automobilísticas relacionadas ao sistema de propulsão, com motor a combustão interna por centelha (Otto), e o seu processo de difusão no mercado brasileiro.

### 1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está dividida em seis capítulos distribuídos da seguinte forma:

O primeiro capítulo contém a introdução e aborda as mudanças climáticas, o setor automotivo e sua respectiva legislação ambiental. Também são apresentados a justificativa, a questão de pesquisa, que direcionou o objetivo geral deste estudo, e os objetivos específicos.

O segundo capítulo aborda o referencial teórico, com os conceitos de eco-inovação, inovação ambiental e seus fatores determinantes, a inovação ambiental no setor automotivo e o seu processo de difusão. Neste capítulo também são explorados alguns estudos sobre a legislação, inovação ambiental do setor automotivo e tecnologias para o aumento de eficiência energética, no âmbito nacional e internacional.

O terceiro capítulo apresenta o método de pesquisa, especificamente a abordagem metodológica, os instrumentos de coleta de dados e o tratamento e análise dos dados.

O quarto capítulo discute os resultados da pesquisa documental, sobre as principais tecnologias de redução de emissões de motores do ciclo Otto. Em seguida, o quinto capítulo apresenta a análise e discussão dos resultados, confrontando-os com o referencial teórico.

No sexto capítulo são apresentadas as principais conclusões deste estudo, suas limitações e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A fundamentação teórica é composta por três partes: a discussão dos conceitos de eco-inovação e inovação ambiental; os fatores determinantes para a inovação ambiental e a pesquisa sobre inovação ambiental tecnológica no setor automotivo; e o modelo conceitual de análise. O objetivo é identificar categorias teóricas para o desenvolvimento dos instrumentos de coleta de dados e para fundamentar a discussão dos resultados.

### 2.1 DISCUTINDO CONCEITOS DE ECO-INOVAÇÃO E INOVAÇÃO AMBIENTAL

Conforme o Manual de Oslo (OECD, 2005), inovação é introduzir um novo produto ou serviço, ou uma melhoria significativa no já existente. Também se aplica a um novo processo, ou método de marketing ou método organizacional. Para serem definidos como inovação, os produtos, os processos, os métodos de marketing ou organizacionais devem ao menos ser novos ou trazer melhoria significativa para a empresa. Devem-se levar em consideração tanto os casos em que as empresas são pioneiras como inovações adotadas internamente, mas desenvolvidas por outras empresas.

Diferente da invenção, que está pautada na descoberta, a inovação tem motivação predominante em resultados de pesquisa, experiências e mapeamento sobre o que as pessoas querem. Por esta dinâmica da mudança tecnológica motivada pela percepção dos usuários, o método de medição da inovação se torna complexo. Em função das diversas variáveis deste ciclo evolutivo, o processo de inovação é mais bem explicado como processo de pesquisa, desenvolvimento e aprendizagem. Este espectro é amplo porque engloba valores, crenças, tecnologias disponíveis, crescimento econômico, condições de mercado, infraestrutura e o modelo regulatório (KEMP; PEARSON, 2007).

Para medição da inovação, segundo esses autores, é necessário obter resultados e avaliar as suas repercussões. Outra opção para antecipar esta medição é comparar o desempenho da inovação com uma alternativa relevante. Com base no conceito de inovação, os autores indicam o desempenho ambiental como diferencial que pode resultar em eco-inovação. Assim, com base no Manual de Oslo (OECD 2005), Kemp e Pearson (2007, p. 07) definiram um novo conceito de eco-inovação como:

a produção, assimilação ou exploração de um produto, processo produtivo, serviço, gestão ou modelo de negócio novo para a organização, desenvolvida ou adotada, e que resulta, por todo o ciclo de vida, em redução de risco ambiental, poluição e outros impactos negativo do uso de recursos, incluindo o uso de energia, comparado às alternativas relevantes.

Kemp e Pearson (2007) complementam que a eco-inovação deve ser menos danosa ao meio ambiente, comparada às alternativas disponíveis relevantes. Para a Medição de Eco-Inovação (MEI) se faz necessária a classificação da novidade entre algo novo para o mercado ou para a empresa, e esta diferenciação é considerada para avaliar o nível de difusão das inovações. No que diz respeito às tecnologias ambientais, existe um consenso entre os especialistas em eco-inovação, que consideram tais tecnologias como forma de medir a poluição, o uso de recursos e a qualidade ambiental.

Para a OECD (2009), os objetivos da eco-inovação se baseiam nos cinco tipos de inovação do Manual de Oslo, que englobam: produto, processo, métodos de marketing, organizações e instituições. Dentre estes cinco tipos, os dois primeiros, produto e processo, tendem a depender de amplo desenvolvimento tecnológico, e os demais tipos são baseados mais em mudanças não tecnológicas.

Com base nos desenvolvimentos e literatura sobre eco-inovação, é perceptível a ampliação da importância deste conceito, mas suas características e impactos muitas vezes não são conhecidos pelas empresas e levados em conta nas decisões políticas. Para melhorar o entendimento sobre o conceito e as práticas de eco-inovação, medições qualitativas podem fornecer subsídios aos tomadores de decisão para analisar as tendências, identificar os *drivers* e barreiras. Uma proximidade maior entre inovação e política ambiental poderia beneficiar ambas as áreas e propiciar esforços em prol da eco-inovação (OECD, 2009).

Segundo Reid e Miedzinski (2008), o modelo de negócio tem levado a padrões de produção insustentáveis, principalmente relacionados ao consumo excessivo de recursos naturais. A política ambiental tradicional visa resolver os problemas desta natureza de maneira fragmentada, e nem sempre considera as relações entre os diferentes sistemas ou desconhece alguns mecanismos que podem desencadear efeitos não previstos. Para Reid e Miedzinski (2008, p. 02), eco-inovação é:

a criação de novos produtos a preços competitivos, processos, sistemas, serviços e procedimentos, concebidos para satisfazer as necessidades humanas e proporcionar melhor qualidade de vida a todos, com o uso mínimo de recursos naturais, incluindo energia e materiais na superfície, por unidade produzida, e liberação mínima de substâncias tóxicas durante todo o ciclo de vida.

Esta definição sugere que as tecnologias ambientais conhecidas não são suficientes para atender a demanda ambiental, exigindo melhorias para aumentar a produtividade e consequente otimização do uso de recursos naturais (REID; MIEDZINSKI, 2008).

Para Angelo, Jabbour e Galina (2011), a inovação ambiental tem dimensões semelhantes ao conceito de inovação, considerando produto, processo e mercado, também podendo ser uma mudança incremental ou radical, sendo que esta última proporciona algo

totalmente novo, visando à redução do impacto ambiental. Também considera que uma gestão ambiental proativa pode resultar em inovação, atuando na melhoria da eficiência dos processos.

Carrillo-Hermosilla, Del Río e Konnola (2010) apontam que as definições de eco-inovação se apresentam de uma forma genérica, e por este motivo tem aumentado a necessidade de classificar a eco-inovação, visando ampliar o entendimento específico deste conceito. Com base no levantamento realizado, as definições de eco-inovação voltam-se para a redução do impacto ambiental, podendo ou não ter sido motivada por questões ambientais. O resultado de uma inovação ambiental pode ter origem na proposta para este fim ou pode ser um efeito colateral de uma inovação, mas ambas se enquadram no conceito de eco-inovação. Para os autores, eco-inovação é a melhoria do desempenho ambiental com conseqüente redução do impacto ambiental, podendo ser incremental ou radical. O primeiro adiciona valor ao modelo vigente e mantém os sistemas e redes existentes, enquanto o radical cria valor agregado e substitui e cria nova rede e sistemas. Segundo os autores, o *design* é um atributo crucial para atender tanto à melhoria de um sistema existente quanto à criação de um totalmente novo. Sob a perspectiva ambiental, a inovação deve considerar dois aspectos: minimizar o impacto das ações humanas sobre o ambiente e redesenhar os sistemas humanos existentes para minimizar o impacto ambiental. Kemp e Pontoglio (2011) mostram que a distinção entre inovação incremental e radical é de grande relevância na avaliação de inovação tecnológica para a redução das emissões de carbono.

Segundo Kemp e Pearson (2007), na década de 1990 alguns dados sobre investimento em inovação ambiental na Europa foram identificados nas áreas de controle de poluição e tecnologias mais limpas. O registro de patentes pode ser um caminho para identificar a difusão tecnológica, embora não seja o meio mais preciso para tal análise. Normalmente, o autor da inovação registra a patente no seu país de origem, e posteriormente nos países que são potenciais usuários daquela tecnologia; por este motivo esta análise não é totalmente eficaz, mas pode prover uma direção sobre a difusão tecnológica. A difusão do conhecimento sobre inovação pode ser percebida por meio da quantidade de eventos e grupos de discussão sobre determinada tecnologia (KEMP; PEARSON, 2007). Evoluindo na análise sobre inovação ambiental, Kemp e Arundel (1998, p. 01) a definem como “novos ou modificados processos, técnicas, sistemas e produtos para evitar ou reduzir os danos ambientais, podendo estes ser técnicos ou organizacionais”. A eco-inovação pode ser resultado de um desenvolvimento visando a redução de dano ambiental ou ser um efeito colateral de inovação originada para outra finalidade.

Outra definição para inovação ambiental pode ser traduzida como: “inovação que serve para prevenir ou reduzir a pressão antropogênica sobre o meio ambiente, limpar o dano já causado ou diagnosticar e monitorar problemas ambientais” (HEMMELSKAMP, 1997 apud VINNOVA, 2001, p. 14). Os fatores externos que levam as empresas a usar soluções com base na inovação ambiental vão desde a redução de uso de recursos para otimização do preço do produto, passando pela vantagem competitiva dos produtos ambientalmente corretos, chegando aos casos para atender à regulamentação governamental com foco na melhoria do desempenho ambiental (VINNOVA, 2001).

A inovação em tecnologia ambiental ou eco-inovação, segundo a definição do relatório do IVM (2006), desempenha um papel no sentido de otimizar o uso de recursos naturais e redução de impacto ambiental. O relatório apresenta três principais tipos de tecnologia ambiental: tecnologia de fim de tubo; tecnologia integrada ao processo, visando à redução da poluição e do uso de recursos; e inovação de produto, de forma a reduzir o uso de substâncias tóxicas e de resíduos. Para Kemp e Arundel (1998), existem duas categorias para a inovação ambiental, a primeira é a tecnologia de fim de tubo e a segunda são as tecnologias limpas, que reduzem o uso de recursos ou de poluentes.

Para Oltra e Saint Jean (2009), a inovação ambiental não se trata de um processo simplesmente para responder à pressão da legislação, permitindo usar a base tecnológica existente e condições apropriadas para atender a demandas externas, resultando em soluções por parte das empresas. O resultado mais encontrado em novas tecnologias sob a influência da legislação é a inovação incremental, a qual também propicia a difusão destas tecnologias. O processo de inovação ambiental nem sempre ocorre em função de uma demanda espontânea do mercado, pelo fato de o cliente não necessariamente aceitar aumento no preço em função de melhoria ambiental no produto.

Para Bergek e Berggren (2014, p. 114), inovação ambiental é “o desenvolvimento, a introdução no mercado e a difusão precoce de novas ou refinadas tecnologias que reduzem emissões indesejáveis”. Neste contexto, a inovação ambiental tem como objetivo a introdução de uma novidade com foco na melhora do desempenho ambiental. Esta inovação pode ser nova somente para a empresa e respectivo mercado, não precisando ser nova para o mundo.

Schiederig, Tietze e Herstatt (2012) realizaram levantamento sobre terminologias de inovação que aparecem na literatura e identificaram quatro categorias: verde (*green*), eco/ecológica (*eco*), ambiental (*environmental*) e sustentável (*sustainable*). A conclusão dos autores é que essas terminologias são sinônimas, com exceção da inovação sustentável, que acrescenta um termo ao conceito que é o aspecto social. Com base nesse estudo, Schiederig,

Tietze e Herstatt (2012) apontam que o maior volume (40,7%) de terminologia utilizada foi de “inovação ambiental”, predominante nas publicações até 1997. Os termos “eco-inovação” e “inovação verde” giraram em torno de 27% das publicações e foram utilizados com maior frequência em publicações a partir de 2005. Para os autores as três definições com foco na redução do impacto ambiental são usadas de forma intercambiável (SCHIEDERIG; TIETZE; HERSTATT, 2012).

Em função das diversas formas de abordagem dos conceitos de eco-inovação e inovação ambiental, o Quadro 1 agrupa as principais definições identificadas na literatura.

Quadro 1 - Definições e conceitos de eco-inovação e inovação ambiental

Definição	Conceito	Autor
Eco-inovação	“A produção, assimilação ou exploração de um produto, processo produtivo, serviço, gestão ou modelo de negócio novo para a organização, desenvolvida ou adotada, e que resulta, por todo o ciclo de vida, em redução de risco ambiental, poluição e outros impactos negativos do uso de recursos, incluindo o uso de energia, comparados às alternativas relevantes”.	Kemp e Pearson (2007)
	“A criação de novos produtos a preços competitivos, processos, sistemas, serviços e procedimentos concebidos para satisfazer as necessidades humanas e proporcionar melhor qualidade de vida a todos, com o uso mínimo de recursos naturais, incluindo energia e materiais na superfície, por unidade produzida, e liberação mínima de substâncias tóxicas durante todo o ciclo de vida”.	Reid e Miedzinski (2008)
	Os objetivos da eco-inovação usam como base os cinco tipos de inovação do Manual de Oslo, que englobam: produto, processo, métodos de marketing, organizações e instituições. Dentre estes cinco tipos, os dois primeiros, produto e processo, tendem a depender de amplo desenvolvimento tecnológico, e os demais tipos são baseados mais em mudanças não tecnológicas.	OECD (2009)
	A redução do impacto ambiental, podendo ou não ter sido motivada por questões ambientais. O resultado de uma inovação ambiental pode ter origem na proposta para este fim ou pode ser um efeito colateral de uma inovação, mas ambas se enquadram como eco-inovação. Pode ser incremental ou radical.	Carrillo-Hermosilla, Del Río e Konnola (2010)
	A distinção entre inovação incremental e radical é de grande relevância na avaliação de inovação tecnológica para a redução das emissões de carbono	Kemp e Pontoglio (2011)
Inovação ambiental	“Novos ou modificados processos, técnicas, sistemas e produtos para evitar ou reduzir os danos ambientais, podendo estes serem técnicos ou organizacionais”	Kemp e Arundel (1998)
	“Previne ou reduz a pressão antropogênica sobre o meio ambiente, limpa o dano já causado ou diagnostica e monitora problemas ambientais”	(Hemmelkamp, 1997 apud VINNOVA, 2001)
	As dimensões são semelhantes ao conceito de inovação, considerando produto, processo e mercado, também podendo ser uma mudança incremental ou radical, sendo que esta última proporciona algo totalmente novo, visando a redução do impacto ambiental.	Angelo, Jabbour e Galina (2011)
	Usa a base tecnológica existente em condições apropriadas, sob demandas externas, resultando em soluções por parte das empresas, portanto não se trata de um processo simplesmente para responder à pressão da legislação.	Oltra e Saint Jean (2009)
	“A introdução no mercado e a difusão precoce de novas ou refinadas tecnologias que reduzem emissões indesejáveis”	Bergek e Berggren (2014)

Inovação em tecnologia ambiental ou eco-inovação	Desempenha um papel no sentido de otimizar o uso de recursos naturais e redução de impacto ambiental.	IVM (2006)
--	---	------------

Fonte: Autor

Com base em diversos artigos e relatórios, os conceitos sobre eco-inovação e inovação ambiental apresentam semelhança em seus fundamentos, e estes termos não apresentam uma diferença significativa na literatura, são tratados predominantemente como sinônimos nas publicações (SCHIEDERIG; TIETZE; HERSTATT, 2012). Em alguns casos o conceito de “eco-inovação é também sinônimo de inovação em tecnologia ambiental” (IVM, 2006, p. 03).

Dessa forma, a definição de eco-inovação e inovação ambiental é descrita na literatura como um novo processo, produto (KEMP; PEARSON, 2007; REID; MIEDZINSKI, 2008; ANGELO; JABBOUR; GALINA, 2011; OECD, 2009; KEMP; ARUNDEL, 1998) ou serviço (KEMP; PEARSON, 2007; REID; MIEDZINSKI, 2008), introduzido e difundido no mercado (BERGEK; BERGGREN, 2014) para proporcionar melhor qualidade de vida (REID; MIEDZINSKI, 2008), com redução do risco ambiental e minimização de uso de recursos (KEMP; PEARSON, 2007, REID; MIEDZINSKI, 2008; ANGELO; JABBOUR; GALINA, 2011; OECD, 2009; KEMP; ARUNDEL, 1998; IVM, 2006; CARRILLO-HERMOSILLA; DEL RÍO; KONNOLA, 2010; HEMMELSKAMP, 1997 apud VINNOVA, 2001), incluindo energia (KEMP; PEARSON, 2007, REID; MIEDZINSKI, 2008), redução nas emissões de poluentes (KEMP; PEARSON, 2007, REID; MIEDZINSKI, 2008; BERGEK; BERGGREN, 2014), durante todo o ciclo de vida (KEMP; PEARSON, 2007, REID; MIEDZINSKI, 2008), comparado às alternativas tecnológicas existentes (KEMP; PEARSON, 2007), sendo ou não criado para um propósito ambiental (CARRILLO-HERMOSILLA; DEL RÍO; KONNOLA, 2010; KEMP; ARUNDEL, 1998).

Para esta dissertação foi adotado o conceito de inovação ambiental, em função de as definições apontarem para a redução de emissões indesejáveis (BERGEK; BERGGREN, 2014) e redução de pressões antropogênicas (HEMMELSKAMP, 1997 apud VINNOVA, 2001).

## 2.2 FATORES DETERMINANTES PARA INOVAÇÃO AMBIENTAL

Nesse item são discutidos os fatores determinantes da inovação ambiental, abordando o desenvolvimento de produtos e a legislação como indutores de inovação ambiental.

Bocken *et al* (2014) apresentaram estudo sobre a fase inicial dos projetos de eco-inovação em empresas de pequeno e médio porte. Esta etapa é apontada como crucial para o desempenho do produto, por refletir seus atributos e o nível de flexibilidade em se ajustar a mudanças, além de proporcionar uma redução do impacto ambiental desde o início.

Estes autores investigaram os motivos de as PME investirem em eco-inovação, as áreas envolvidas, o conhecimento profissional para atuar com eco-inovação, o nível de formalidade, os conceitos e processos usados e os grupos externos que servem de fonte de informações. Os *drivers* que levam à eco-inovação estão relacionados ao estímulo externo para o *eco-design*, incluindo a legislação, as exigências dos clientes e as iniciativas do setor industrial. Outros aspectos levantados foram a eco-eficiência e a redução de custos, e principalmente, a criação de valor ao produto, como oportunidade de negócio. O principal fator identificado na pesquisa foi o potencial de receita advindo da eco-inovação, seguido por: avanço tecnológico; razões pessoais dos desenvolvedores; experiências positivas vivenciadas anteriormente e melhoria da imagem (BOCKEN *et al*, 2014).

A pesquisa identificou os principais objetivos ambientais que levam ao desenvolvimento de produtos eco-inovadores: redução de resíduos e emissões; diminuição do uso de recursos, incluindo energia; e minimizar o uso de substâncias tóxicas. Entre os objetivos pesquisados, o resíduo foi o mais citado, seguido por: redução de emissões de GEE; resíduo tóxico; a durabilidade dos produtos; a utilização de recursos renováveis, e a redução do consumo de energia (BOCKEN *et al*, 2014).

Como resultado da pesquisa sobre a fase inicial dos processos de eco-inovação, Bocken *et al* (2014) identificaram os seguintes aspectos: o conceito de eco-inovação está alinhado com o modelo de negócio tradicional da empresa; as fontes externas são mais relevantes para a eco-inovação do que para a inovação geral; o processo é realizado de maneira informal e sistemática; os times são multidisciplinares, com perfil criativo e conhecimento ambiental; os participantes externos, como fornecedores e clientes, estão engajados em trazer novas ideias; e a fase inicial do processo exige conhecimentos específicos na área ambiental e conceitos de *design*. Como contribuição deste estudo, os autores identificaram que um maior planejamento e atenção na fase inicial de um projeto eco-

inovador permite maior longevidade para atender à crescente pressão global e pode proporcionar uma vantagem competitiva.

A pesquisa realizada por Yalabik e Fairchild (2011) aponta que as pressões de consumidores e regulatórias variam conforme o setor de atuação, em relação à inovação ambiental, e empresas com menos emissões por unidade produzida tendem a responder positivamente a estas demandas. Foi identificado que a redução de emissões introduzida na fase inicial tem um custo menor, e as empresas com melhor desempenho ambiental têm mais dificuldade em melhorar a eficácia, e com custo mais elevado. Também foi identificado que a melhoria das emissões de produção tem impacto no preço final do produto, e o desempenho no mercado poderá ser dosado em função da sensibilidade do público ao preço (YALABIK; FAIRCHILD, 2011).

Para Jacomossi *et al.* (2013), os fatores de influência da eco-inovação nas organizações formam uma combinação complexa que engloba elementos internos da organização e participantes externos. O ambiente interno é marcado pela figura de um líder que promove um novo padrão comportamental sobre os liderados. O processo de difusão na organização é fortalecido quando o estilo de liderança é participativo. Em relação ao ambiente externo, os fatores mais relevantes são: a pressão advinda da opinião pública; rede de parcerias das organizações; aprimoramento da tecnologia, que pode ser por demanda dos clientes ou por iniciativa da empresa, podendo levar a uma redução do impacto ambiental; e o acesso a recursos externos para investir nos projetos. Com base em entrevistas, os autores identificaram a legislação como indutor de políticas internas de inovação. Outro aspecto detectado foi a baixa interação da empresa com políticas públicas de inovação, que poderia aproximar a organização das universidades (JACOMOSSI *et al.*, 2013).

As montadoras definem uma estratégia de negócio visando a rentabilidade e o atendimento da legislação, e neste contexto desenvolvem tecnologias de produtos para atingir escala de mercado. O investimento em pesquisa e desenvolvimento gira em torno de 5 a 15% do faturamento (DIJK; YARIME, 2010). Segundo Cooper e Edgett (2008), a produtividade no desenvolvimento de novos produtos relaciona a rentabilidade com as vendas destes produtos com base no investimento em P&D, conceito ainda subutilizado pelas empresas. O valor médio desta relação na indústria automotiva está abaixo de 10%. Analisando as décadas passadas, enquanto o investimento em P&D se manteve no período, a participação de vendas dos novos produtos recuou mais de 4%. Para os autores, a melhora deste indicador está relacionada com a aplicação de sete princípios: foco no cliente, disponibilizando produtos que valorizem e atendam às necessidades dos clientes; a fase inicial do projeto potencializa esta

rentabilidade; desenvolvimento em espiral, que significa o contato com o cliente em todas as fases do projeto, visando validar a consistência do projeto em relação ao que o mercado necessita; time multifuncional, para reduzir o ciclo de desenvolvimento e chegar no tempo certo ao mercado; métricas, para assegurar a melhoria contínua; foco e gerenciamento do portfólio de produtos; processo enxuto, usando a experiência da manufatura enxuta no desenvolvimento de novos produtos. No setor automotivo, a Toyota tem aplicado estes princípios para o desenvolvimento de novos produtos.

### **2.2.1 A regulamentação como indutora de inovação ambiental**

Alguns estudos (KNELLER; MANDERSON, 2012; HORBACH, 2008; ZAPATA; NIEUWENHUIS, 2010; IVM, 2006; BERGEK; BERGGREN, 2014; DIJK; YARIME, 2010; CUENOT, 2009; JIN *et al*, 2015; LIPSCY; SCHIPPER, 2013; POSADA; FAÇANHA, 2015) exemplificam casos de inovação ambiental, tendo a legislação como principal *driver* de fomento ao desenvolvimento de soluções e tecnologias que priorizem o meio ambiente, por meio de otimização do uso de recursos naturais e das fontes de energia.

#### ***2.2.1.1 A legislação como indutora da inovação tecnológica ambiental para a redução das emissões tóxicas automotivas***

Kneller e Manderson (2012) investigaram a relação entre legislação ambiental e inovação, usando como base de estudo a indústria do Reino Unido. A amostra usou como base os dados da indústria de manufatura entre 2000 e 2006, período com ampla regulamentação na indústria do Reino Unido. Para os políticos, a legislação ambiental fomenta a inovação, mas o impacto ambiental da atividade econômica está muito relacionado à tecnologia disponível. A literatura utilizada para este estudo aponta algumas vertentes que avaliaram a relação entre legislação e inovação ambiental. Em muitos casos ambos caminham na mesma direção, por outro lado a análise de longo prazo não mantém a mesma correlação. A avaliação empírica deste estudo, sobre a hipótese de que a legislação ambiental estimula a inovação, identificou que existe o estímulo à P&D, porém não foi identificado impacto positivo nos custos para cumprimento de exigência ambiental sobre o investimento total. Outro aspecto observado foi a redução de investimentos em inovação convencional, quando há pressão da legislação ambiental, redirecionando os investimentos para a inovação ambiental (KNELLER; MANDERSON, 2012).

A análise de Horbach (2008), sobre as empresas inovadoras da Alemanha, identificou que os resultados do estudo estão em linha com a literatura, que as medidas regulatórias e a inovação cooperativa, entre empresas com alta qualificação de especialistas, são mais suscetíveis ao processo de inovação ambiental que a outros tipos de inovação. Outra característica identificada no estudo se refere às empresas de setores com significativo volume de vendas de novos produtos, que também tendem a ser mais inovadoras, podendo ter um ganho ambiental. Com base no estudo de Horbach (2008), a inovação ambiental foi analisada além do aspecto momentâneo de uma fase da inovação, levando em consideração a dinâmica de todo o processo. Para o autor, a inovação ambiental tem se mostrado pouco influenciada pelo mercado, se comparada a outras inovações, mostrando que a regulamentação atua como principal indutor deste tipo de inovação. A regulamentação também pode contribuir para a empresa aumentar a percepção sobre os benefícios atingidos com a inovação ambiental, que em outras situações ocorreria de uma forma não estruturada, dificultando esta percepção (HORBACH, 2008).

Os autores Zapata e Nieuwenhuis (2010) apontaram o mercado europeu como inovador para o setor automotivo, bem como o processo regulatório, por vezes se baseando em referências de outros mercados, como o Japão. Como fonte de inovação, os eventos de competição automotiva serviram de laboratório para algumas tecnologias que foram herdadas pela indústria. Além das tecnologias para melhoria de desempenho e segurança, o endurecimento da legislação de emissões direcionou o aprimoramento neste segmento (ZAPATA; NIEUWENHUIS, 2010).

O controle de emissões de gases tóxicos dos automóveis teve sua origem nos Estados Unidos (EU), na década de 1960, culminando em 1970 com a Emenda Ato de Ar Limpo dos Estados Unidos (*US Clean Air Act Amendment - CAAA*). Foram estabelecidas metas que limitaram as emissões de CO, HC e NOx em 90%, nos anos de 1975/1976. Na década de 1980 não houve redução dos limites, voltando a ocorrer em 1990 (padrão Tier I). Em 2004 foi estabelecido o padrão Tier 2, que deveria atingir a redução em 98% de HC e 95% de CO, comparado aos padrões de 1970. A Europa estabeleceu regulamentação similar, impondo restrições aos limites de emissões dos automóveis. Em 1992 foi introduzido o nível Euro I, o Euro 2 em 1996, o Euro 3 em 2000, o Euro 4 em 2005, o Euro 5 em 2009, e o Euro 6 em 2014, reduzindo em 90% os gases tóxicos dos veículos (BERGEK; BERGGREN, 2014).

Para atender aos limites estabelecidos pela legislação, algumas tecnologias foram introduzidas no sistema de propulsão para a redução das emissões de gases tóxicos. Antes do Euro 1 (ECE 15/04), a tecnologia presente nos automóveis a gasolina era o sistema de injeção

de combustível monoponto, com catalisador de oxidação. Desde a introdução do Euro 1, os veículos a gasolina passaram a ser equipados com sistema de injeção de combustível multiponto e catalisador de três vias. Para as fases 3 e 4 os veículos receberam o segundo sensor de oxigênio e, na fase 5, em 2010, os veículos passaram a ser equipados com catalisadores com melhoria nos materiais para conversão dos gases (KOUSOULIDOU *et al.*, 2008).

As inovações em tecnologias ambientais também estão em curso no Brasil. Essas tecnologias objetivam a redução das emissões de gases tóxicos, como forma de melhoria da qualidade do ar, principalmente nos grandes centros urbanos, e têm como objetivo a saúde pública. Neste contexto, resgatando o histórico nacional sobre a legislação ambiental automotiva brasileira, o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos (PROCONVE) inaugurou em 1986 uma nova fase para o controle ambiental do setor automobilístico, que ocorre por meio de resoluções que estabelecem diretrizes, prazos e padrões legais de emissões permitidos para cada uma das categorias de veículos automotores, sejam nacionais ou importados. Para os veículos leves, o programa estabeleceu fases para controle de diferentes gases, tanto de escapamentos quanto de emissões evaporativas. A Fase L-1 (veículos Leves, fase 1), em 1988, teve início com o controle de emissão evaporativa de combustível, com o controle de emissões em respiros, tampas e conexões de reservatórios de combustível e sistemas de alimentação. A mudança mais perceptível ocorreu na Fase L-2, em 1992, época em que parte dos automóveis passou a ser equipada com o sistema de injeção eletrônica de combustível, reduzindo o consumo e as emissões dos veículos. Na fase L-3, em 1997, foi melhorado o controle de mistura e também aprimorado o gerenciamento eletrônico do motor, com redução nas emissões de monóxido de carbono (CO). As fases 4 e 5, em 2005 e 2009, respectivamente, focaram o controle de emissões de hidrocarbonetos (HC) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), por serem precursores do ozônio (O<sub>3</sub>), introduzindo inovações tecnológicas na câmara de combustão e nos injetores de combustível (IBAMA, 2011). A última fase do programa, L-6, iniciou em 2014, para novos modelos, e foi concluída em 2015, para os demais veículos. Nesta fase foram reduzidos os limites para CO e NO<sub>x</sub> dos motores a gasolina ou *flex* (CONAMA, 2009).

Visando manter a eficácia e funcionamento adequado dos dispositivos e tecnologias instaladas nos automóveis, a Resolução do CONAMA 007/1993 estabeleceu que todos os veículos em uso deveriam ser inspecionados periodicamente para avaliar a integridade dos componentes, e assim assegurar a originalidade dos sistemas de controle de emissões. Este procedimento deveria ser realizado anualmente, e a prioridade era implantá-lo em cidades ou

regiões onde a qualidade do ar estivesse comprometida em função das emissões de poluentes originárias da frota local. Em 2009, a resolução 418 do CONAMA estabeleceu critérios para a elaboração de Planos de Controle de Poluição Veicular - PCPV, para a implantação de inspeção veicular ambiental, a serem conduzidos por órgãos estaduais e municipais em cidades com mais de três milhões de veículos. Apesar da existência desta resolução, a inspeção veicular ambiental é realizada em poucas localidades do Brasil, como o Estado do Rio de Janeiro (CONEMA, 2016).

Para assegurar a integridade destas tecnologias para controle de emissões, os veículos passaram a ser equipados com o sistema de monitoramento eletrônico de emissões OBDBr-2 (On-Board Diagnose - Sistemas de Diagnose a Bordo), introduzido entre 2010 (60% dos veículos) e 2011 (100% dos veículos). Tem como base tecnológica o monitoramento dos sistemas de controle de emissões, atuando com medidas corretivas para evitar o aumento de emissões de poluentes. Este sistema viabiliza essas funções por meio de programação a bordo da unidade de controle do motor, e também utiliza um segundo sensor de oxigênio, com o objetivo de monitorar a eficiência do catalisador. No caso de existência de alguma falha que atinja os limites de missões de gases tóxicos (IBAMA, 2009), o sistema acende no painel do veículo a Lâmpada Indicadora de Mau Funcionamento (LIM), indicando para o motorista a existência de problema de emissões do veículo, ou seja, falha em algum componente ou ação indesejável que atinja os limites de emissões (CONAMA 2004; IBAMA, 2009).

### ***2.2.1.2 A legislação como indutora de inovação tecnológica ambiental para a mitigação das emissões de GEE dos automóveis***

Conforme descrito anteriormente, diversas tecnologias foram introduzidas nos automóveis no intuito de melhorar as emissões de gases tóxicos. Desde as rodadas de discussões sobre as mudanças climáticas na década de 1990, tem sido crescente a pressão da comunidade internacional e da sociedade sobre a necessidade de introdução de inovações em razão das mudanças climáticas, e o foco tem sido ações efetivas na mitigação dos GEE. Nesse sentido houve a criação de novas leis, com o objetivo de atender às metas estabelecidas para a redução de GEE.

O controle de emissões por fontes móveis, e mesmo para instalações industriais, tem utilizado instrumentos políticos para a redução de emissões tóxicas e de GEE, principalmente em países da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico). Os instrumentos utilizados nos últimos anos no setor automotivo são do tipo regulatório ou

econômico. Cada um destes se desdobra em tecnológico-específico ou geral. Instrumentos econômicos oferecem incentivos para as empresas investirem em tecnologias de baixa emissão de poluentes. Os instrumentos regulatórios atuam no sentido de controlar as ações das empresas, por meio de níveis definidos de emissões e padrões pré-estabelecidos, podendo direcioná-las quanto ao uso de alguma tecnologia especial. Para Bergek e Berggren (2014), os instrumentos tecnológicos específicos favorecem a inovação radical, enquanto o instrumento econômico geralmente conduz à inovação incremental e favorece o processo de difusão. Apesar destes achados, segundo os autores, não existe uma fórmula exata ou instrumento melhor, cada um favorece um determinado tipo de inovação, e muitas vezes diferentes instrumentos são combinados de variadas maneiras. O principal objetivo da política ambiental é induzir as empresas ao processo de adoção de novas tecnologias por meio da redução dos limites de emissões. A difusão tecnológica se dá por meio do desenvolvimento, produção e comercialização de uma nova solução, tornando-se, assim, uma inovação (BERGEK; BERGGREN, 2014).

Como forma de assegurar a inovação das tecnologias para o controle das emissões, os três principais instrumentos políticos para inovação podem ser resumidos como: instrumento regulatório, que se baseia no cumprimento da legislação, também conhecido como comando e controle; instrumento econômico, que inclui a tributação ou subsídio; e instrumento comunicativo, que segue o conceito da conscientização e pode mesclar os dois instrumentos anteriores. O relatório do IVM (2006) avaliou alguns estudos e identificou que o mercado influencia a inovação, mas a legislação ambiental é um importante fator da inovação. Da mesma forma, política ambiental tem se mostrado um dos principais indutores da inovação para a redução de consumo de combustível dos automóveis, mas é preciso estabelecer uma meta ambiciosa, caso contrário a inovação será pouco estimulada. Para ilustrar este conceito, basta comparar o padrão de consumo de combustível entre duas regiões: 5,9 l/100 km no mercado europeu, contra 9 l/100 km dos EUA. O programa *'top runner'* do Japão estabeleceu como padrão a tecnologia com a melhor eficiência energética do mercado, de forma que os fabricantes tenham que seguir esta meta. Na comparação entre os três mercados, a Europa e o Japão estabeleceram metas mais encorajadoras para a inovação, no entanto, insuficientes para incentivar a inovação radical. Isto significa que, para atender às metas destes dois mercados, é possível combinar a difusão de tecnologias existentes com a introdução de inovação incremental (IVM, 2006).

### a) Estados Unidos

A regulamentação de emissões automotivas começou nos Estados Unidos em meados dos anos de 1970, pela definição dos valores específicos de economia de combustível do programa CAFE (*Corporate Average Fuel Economy*). Estas definições vigoraram até 1996, e, em 1998, foi lançado o Programa NLEV (*National Low Emission Vehicle*), desenvolvido pelo estado da Califórnia, impondo limites mais rigorosos que os da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*EPA – US Environmental Protection Agency*), e que teve implantação nacional em 2001. Num período de 10 anos, iniciado em 2001, o governo federal e as montadoras nacionais obtiveram recursos para a criação de um consórcio para o desenvolvimento de baterias avançadas para carros elétricos e híbridos (DIJK; YARIME, 2010).

Conforme o padrão estabelecido pela *EPA* e pelo Departamento Nacional de Rodovias e Administração de Segurança de Tráfego (*Department of Transportation's National Highway Traffic Safety Administration - NHTSA*), foram definidos os padrões para a redução de emissões de GEE (*EPA*) e melhoria na economia de combustíveis (*NHTSA*) para os veículos ano/modelo entre 2017 e 2025. A fase 1 do Programa Nacional compreende os veículos ano/modelo entre 2012 e 2016. A redução de emissões de GEE ao final da segunda fase, em 2025, será da ordem de 50% em relação a um veículo ano/modelo 2010. O volume de CO<sub>2</sub> emitido para cada modelo é baseado na 'pegada' do veículo (*footprint*), largura do eixo (bitola) multiplicada pelo entre eixos, aumentando assim o volume de carbono para veículos maiores. Cada fabricante terá de atingir o volume total de CO<sub>2</sub> equivalente à frota produzida, que deve ser a somatória dos veículos com as respectivas categorias. Esse cálculo flexibiliza a escolha de cada fabricante sobre as quantidades de cada modelo a ser produzido. Um veículo de passageiros ano/modelo 2016 tem como limite de emissões de CO<sub>2</sub> o valor de 225 g/milha (1.609 km), que é reduzido gradativamente a cada ano, devendo cumprir em 2025 o limite de 143 g/mi. Para exemplificar, os limites de um veículo 2012 pequeno, com *footprint* de 40 ft<sup>2</sup> (pé quadrado – aproximadamente 3,7 m<sup>2</sup>), terá como meta em 2025 o limite de emissão de CO<sub>2</sub> de 131 g/mi e consumo de 61,1 mpg (milhas por galão). Por se tratar de uma meta de longo prazo, será feita uma avaliação no transcorrer do período para monitorar e ajustar os padrões para ano/modelo entre 2022 e 2025. Esta avaliação será conduzida pelo *EPA*, *NHTSA* e *CARB* (*California Air Resources Board*), em função do interesse comum de cumprirem o programa. Para incentivar os veículos com tecnologias avançadas, como o elétrico, híbrido *plug-in*, célula de combustível e movido a gás comprimido, serão

contabilizados como mais de um veículo no cumprimento (fator multiplicador) de meta até 2021 (EPA, 2012). Com base na eficiência energética média da frota dos EUA, a meta de consumo para 2025 é de 56,2 mpg, com limite de emissão de 88 gCO<sub>2</sub>/km (ICCT, 2014c).

Em 1975 foi estabelecido o padrão de consumo de combustível nos EUA com a introdução da Média Corporativa de Economia de Combustível (*CAFE*), impondo aos fabricantes objetivos cada vez mais restritivos (BERGEK; BERGGREN, 2014). Em 2011 foram revisados os limites de padrões do *CAFE* para vigorar no período de 2012 a 2016. Esta ação desencadeou melhoria na eficiência dos automóveis, com a redução do consumo de veículos de passageiros em torno de 10% no período de 2011 a 2014. Com base na melhoria de eficiência prevista para 2016, foi estabelecida a meta de 4-5% de redução anual entre 2017 e 2025 (SIMMONS *et al.*, 2015).

## **b) Europa**

A regulamentação ambiental automotiva europeia iniciou em 1985, e a introdução de mudanças foi feita em 1992, visando a redução das emissões dos gases tóxicos CO, HC e NOx. Segundo Dijk e Yarime (2010), no início dos anos de 1990 a preocupação foi além da redução dos gases tóxicos, e o controle da emissão de CO<sub>2</sub> passou a fazer parte dos objetivos dos legisladores, sendo que em 1998 foi definido o limite de 140 g/km para 2008/2009. Para atingir este objetivo, governantes da Comunidade Europeia criaram fundos para custear a pesquisa e desenvolvimento de motores menos poluentes. Outros incentivos foram a introdução de etiquetagem de consumo de energia e subsídios para os consumidores adquirirem veículos menos poluentes (DIJK; YARIME, 2010). Na União Europeia (UE), a legislação estabeleceu, em 2008, o limite de 130 g CO<sub>2</sub>/km para o período de 2012-2015, e 95 g CO<sub>2</sub>/km para 2020 (BERGEK; BERGGREN, 2014).

A meta voluntária estabelecida pela Comunidade Europeia para atingir 140 g CO<sub>2</sub>/km em 2008, e 120 g/km em 2012, seguiu favoravelmente até 2003, mas em 2006 foi sinalizada a necessidade de uma regulamentação, pelo fato de a meta de 2008 estar em risco. Em função do não cumprimento, foi estabelecido no final de 2008 um pacote de metas com a regulamentação das emissões de CO<sub>2</sub> para veículos novos, devendo a frota reduzir gradualmente, iniciando em 2012 e concluindo em 2015 com 130 g/km. As metas para redução de emissões de CO<sub>2</sub> levaram a uma ampliação na participação de veículos Diesel e acabaram por elevar o peso dos veículos, em função de as emissões de CO<sub>2</sub> estarem atreladas ao peso do veículo (CUENOT, 2009).

Conforme publicado pela Agência Ambiental Europeia (*European Environment Agency - EEA*), todas as montadoras atingiram a meta antes de 2015 (130 g/km), com emissão média de 123,3 g/km em 2014, medições baseadas no Novo Ciclo de Condução Europeia (*New European Drive Cycle - NEDC*). A motorização mais vendida é a Diesel (53%), seguida pelos veículos a gasolina (43%) (ICCT, 2015b). A meta de 95 g/km deve ser totalmente cumprida ao final de 2020. Como a base de cálculo tem relação com o peso do veículo, cada 100 kg de aumento no peso representam acréscimo na meta de emissão da ordem de 3,3 g/km de CO<sub>2</sub>. Existe a oportunidade de uso de supercrédito para os veículos de baixas emissões, abaixo de 50 g CO<sub>2</sub>/km. Os fatores multiplicativos serão permitidos no período até 2020, reduzindo-se até 2022, tendo por base a emissão média da frota, o que poderá permitir um ajuste máximo de 7,5 g/km para este período. No caso da introdução de eco-inovações que não sejam capturadas no ciclo de teste (*NEDC*), será permitida a aplicação de crédito máximo de 7 g/km (ICCT, 2014b).

Para os consumidores, a aquisição de um automóvel com maior eficiência energética representa aumento no valor do produto, o que desfavorece a aquisição de tais tecnologias. A melhora na eficiência dos motores permite tanto a economia de combustível como também a aplicação de motores menores em veículos maiores, neste último caso mantendo o consumo. A disponibilidade dessas tecnologias permite tanto a redução no consumo de combustível quanto a melhora na eficiência e desempenho em veículos de porte maior. As condições regionais e regulamentação tendem a influenciar a frota de cada país ou região. Tomando como exemplo as frotas dos EUA e Europa, podem ser apontadas algumas diferenças. Na Europa os veículos possuem motores menores; a frota de veículos novos a Diesel fica em torno de 50%, mas é baixíssima nos EUA; a preferência é por transmissão manual, ao invés da automática; o preço do combustível pode dobrar ou quadruplicar (depende do país) em relação aos EUA; rodam em média 40% a menos por ano do que os americanos; e o preço dos veículos (incluindo tecnologias de alta eficiência) é maior em função dos tributos (PLOTKIN, 2009).

### **c) China**

Em 2001 a China iniciou seu programa para economia de combustível e redução das emissões de CO<sub>2</sub>, época em que foram estabelecidas as ações de médio prazo. O mercado de automóveis chinês se tornou o maior do mundo, e esta condição aumentou a dependência do petróleo importado. Em função deste crescimento, as ações que nasceram em 2001 evoluíram,

usando a experiência internacional, para uma série de implementações sobre os padrões de teste de consumo de combustível, etiquetagem (Figura 1), e limites de consumo, com informações de ciclos urbanos, não urbanos, mistos e o limite estabelecido para a categoria (JIN *et al*, 2015).

Figura 1- Etiqueta com taxa de consumo de combustível, veículos leves - China



Fonte: Jin *et al* (2015)

Em 2012 foi estabelecido na China o mecanismo para cálculo da média corporativa de consumo de combustível (*Corporate-Average Fuel Consumption - CAFC*), por meio da implementação de medidas fiscais, incluindo redução de impostos e subsídios para veículos de baixo consumo, e favorecendo a introdução de tecnologias com maior eficiência energética. Para melhorar a eficiência dos veículos e reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, o país desenvolveu seu próprio ciclo de condução, visando refletir melhor as condições de rodagem, e o teste incluiu os veículos com propulsão elétrica (híbrido, elétrico e célula de combustível). Foram estabelecidos padrões de consumo definidos como fases I e II, e em 2011 a fase III, que permitia a cada fabricante ajustar sua meta CAFC com base nos grupos de veículos, peso e ponderando o volume produzido. A métrica aplicada é o consumo de combustível por 100 km, e para veículos comerciais leves também é considerado o tamanho do motor (capacidade volumétrica) como base da meta de consumo. A redução de consumo de combustível para veículos de passageiros entre 2002 e 2012 proporcionou uma economia equivalente a 11% do combustível consumido em 2010 (JIN *et al*, 2015).

Em 2014 foi estabelecido na China o padrão da Fase 4, que estabelece os limites de consumo de combustível de veículos de passageiros para o período de 2016 a 2020. Para atender a esta regulamentação, o fabricante deve obedecer ao limite de consumo de combustível do veículo e também ao padrão da média corporativa de consumo de combustível

(CAFC). Um veículo com menos de 750 kg deverá consumir abaixo de 3,9 l/100 km em 2020. Com base no ciclo de medição europeu, o consumo deverá partir de 6,9 l/100 km em 2015 para 5,0 l/100 km em 2020. Se for mantida a média de peso da frota de 2010, a média de consumo da frota se reduzirá para 5,0 l/100 km em 2020, devendo ser reduzida gradualmente entre 2016-2020. Para veículos com tecnologias de emissões reduzidas, será permitido gerar créditos de cumprimento da meta CAFC. Estas tecnologias estão divididas em três categorias: veículos com nova energia (elétrico, híbrido *plug-in* e célula de combustível); veículos de consumo ultrabaixo, com limite de 2,8 l/100 km; e veículos com tecnologia inovadora que leve à redução do consumo de combustível (ICCT, 2014a).

#### **d) Japão**

O Japão é um dos países com maior eficiência energética, tanto no setor de energia como na área de transportes. Em 1979 o país adotou o primeiro padrão para economia de combustível para o setor de transportes. Visando melhorar a eficiência energética, foi estabelecido o programa *top runner*, em 1998, que utiliza como padrão o modelo com melhor eficiência do mercado. Os veículos são classificados por tipo de combustível e peso, mas tem recebido críticas por desencorajar a melhoria de eficiência por meio da redução do peso do veículo. Existe uma categoria de veículo no mercado japonês, o *kei-car*, que é um veículo com motor menor que 660 cm<sup>3</sup>, comprimento máximo de 3,4 m, largura abaixo de 1,48 m e 2 m de altura máxima. Ele foi introduzido no mercado japonês após a guerra, e as especificações de tamanho de motor e dimensões eram menores e evoluíram até chegar aos valores atuais. O governo japonês oferece subsídio para a aquisição do *kei-car* para um público específico. Os grupos alvo deste incentivo são os produtores rurais, que não contam com muitas opções de transporte, e pequenas empresas, que fazem uso intensivo do carro. Este tipo de veículo apresentava uma eficiência energética de 150 g CO<sub>2</sub>/km em 2006, contra 190 g CO<sub>2</sub>/km das demais categorias. A utilização do automóvel representa a maior taxa de crescimento no setor de transportes, com participação de 55,8%, e por esse motivo este segmento recebe atenção prioritária nas políticas de eficiência do Japão. Em resposta à crise de 2008, como forma de estimular o mercado automotivo, o governo japonês implementou o “*eco-car*”, com pacote de incentivos por meio de redução tributária e subsídios para modelos com maior eficiência energética, em especial os veículos elétrico, híbrido *plug-in*, movido a gás natural e diesel (*clean*). O automóvel é amplamente tributado no mercado japonês, o que afeta o custo de propriedade, que inclui imposto na aquisição, imposto anual, imposto com

base no peso do veículo, cobrado na inspeção veicular, e custo do registro de estacionamento, com base no valor territorial. Estes tributos e custos subiram de valor desde a crise do petróleo, na década de 1970. O custo tributário para posse de automóvel no Japão supera o custo praticado nos EUA e nos maiores países da Europa. Em pesquisa realizada pelo governo, foi identificado que japoneses com menos de 40 anos têm optado por não possuir um automóvel (LIPSCY; SCHIPPER, 2013). A meta de eficiência energética do Japão para 2020 é de 20,3 km/l ou 115 g CO<sub>2</sub>/km, período que iniciou em 2015. O ciclo de teste é o JC08, e o cumprimento é pela média corporativa com base no peso (ICCT, 2015c)

#### **e) Coreia do Sul**

Em dezembro de 2014 a Coreia do Sul publicou os novos padrões para a média de consumo de combustível e GEE para veículos leves, para o período 2016-2020. Os padrões são baseados no peso do veículo e utilizam os ciclos de teste de cidade e rodovia *CAFE* dos EUA. A meta para veículo de passageiros em 2020 é de 97 g CO<sub>2</sub>/km e o consumo de combustível limitado a 24,3 km/l. Os veículos de baixas emissões serão contabilizados como mais de um (fator multiplicador) para o cumprimento de metas de economia de combustível ou GEE. Serão considerados veículos com emissões inferiores a 50 g CO<sub>2</sub>/km, com emissão zero, com transmissão manual e miniveículos (ICCT, 2015d).

#### **f) Brasil**

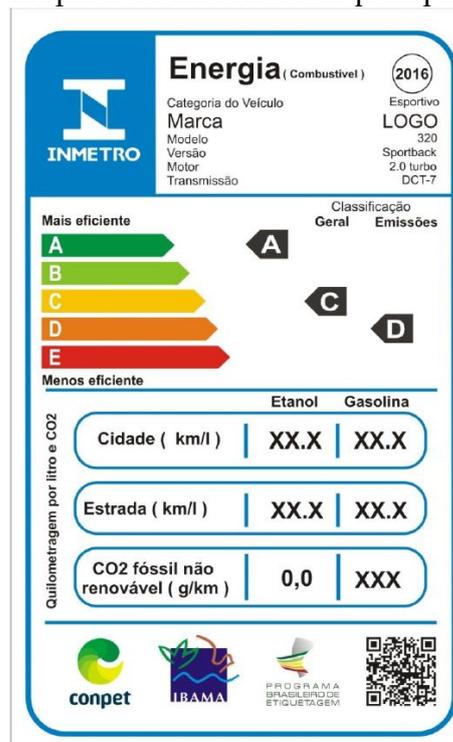
As políticas regulatórias ambientais de diversos países têm monitorado as condições ambientais locais e globais para ajustar o padrão de controle das emissões de GEE. Neste sentido, o Brasil tem regulamentado o setor automotivo visando ajustar o padrão nacional em linha com as práticas que ocorrem ao redor do mundo.

Como parte das ações de ajuste, a Lei nº 12.187 de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), tem como objetivo estabelecer iniciativas para preservar os sistemas naturais por meio de mudanças tecnológicas que reduzam o uso de recursos naturais e as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Entre os instrumentos, consta o incentivo ao uso de tecnologias de redução de GEE, mas que dependem da publicação de leis específicas sobre incentivos tributários. A política nacional irá se compatibilizar com as diretrizes sobre a mudança do clima, e atuará com planos setoriais de mitigação, incluindo ações para uma economia de baixo carbono para energia elétrica e

transportes. O artigo da Lei sobre a substituição de combustíveis fósseis por energias renováveis foi vetado, visando assegurar o sistema energético nacional.

A legislação específica para o setor automotivo foi introduzida pelo governo brasileiro, em 2012, com o Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores - INOVAR-AUTO, visando realizar novos investimentos e desenvolver tecnologias para a indústria automobilística. Este programa oferece redução tributária para as empresas que atenderem aos requisitos do programa. As montadoras participantes precisam realizar no país ao menos 80% do processo fabril; investir no mínimo 0,5% (alíquota para 2015 em diante) do faturamento de vendas de bens e serviços (descontados os impostos) em pesquisa e desenvolvimento no país; investir no mínimo 1,0% (alíquota para 2015 em diante), em engenharia, tecnologia industrial e capacitação de fornecedores; aderir ao PBEV (Figura 2), cobrindo 100% dos modelos em 2017; e cumprir as exigências de eficiência energética, medida por autonomia ou consumo energético. Dentre as cinco metas citadas, são obrigatórias o cumprimento de produção nacional e a eficiência energética, e devem ser escolhidas duas opções entre as outras três metas.

Figura 2 – Proposta de modelo de etiqueta para o PBEV



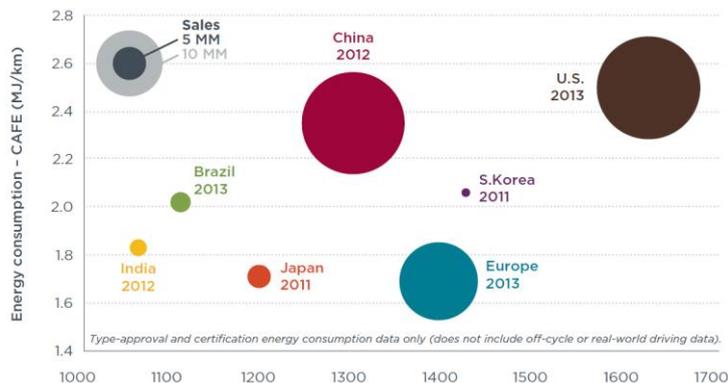
Fonte: MDIC, 2015

A empresa habilitada tem que atender, obrigatoriamente, à exigência de consumo energético básico ( $CE_1$  – Consumo energético). Existem ainda duas opções de eficiência

energética que podem gerar a redução de dois pontos percentuais (CE<sub>2</sub>) do IPI (Imposto sobre Produto Industrializado) ou a redução de um ponto percentual (CE<sub>3</sub>). A eficiência energética refere-se ao nível de autonomia expresso em quilômetros por litro de combustível (Km/l), ou pode ser expressa em consumo energético, com unidade de megajoules por quilômetro (MJ/Km). As três medições de eficiência energética têm como base de cálculo a massa média (peso do veículo em ordem de marcha) de todos os veículos vendidos pela empresa habilitada. O período de avaliação do consumo energético ocorrerá entre 1º de outubro de 2016 e 31 de dezembro de 2017. Para as duas faixas de desconto adicionais do IPI (CE<sub>2</sub> e CE<sub>3</sub>) a verificação será feita em dezembro dos anos seguintes, até 2020 (CASA CIVIL, 2012). O programa tem por objetivo a redução do consumo médio de 2012, de 2,07 MJ/km, para 1,82 MJ/km em 2017 (CE<sub>1</sub>), que equivale à média de 15,8 km/l (gasolina E22) ou 137 g CO<sub>2</sub>/km, e representa uma redução de aproximadamente 12% na média de consumo de veículos leves. Para qualificar o desconto adicional de IPI de 1% (CE<sub>3</sub>) é necessário reduzir o consumo médio para 1,75 MJ/km, e 1,68 MJ/km para uma redução de 2% (CE<sub>2</sub>) do IPI, ambos com base em 2012. O consumo médio corporativo de economia de energia do veículo é baseado na combinação do ciclo de teste urbano e rodoviário *CAFE*. Os veículos com propulsão de alta eficiência (propulsão elétrica, por exemplo) serão contabilizados com fator multiplicador na contagem da cota de veículos, dentro da meta de eficiência energética. Um veículo com consumo energético de até 0,66 MJ/km terá fator 2,75 para o período 2015-2017, e 2,5 para 2018-2020 (ICCT, 2015a).

A frota brasileira apresenta melhor eficiência energética média quando comparada à frota de mercados como China e EUA, mas fica abaixo de outras regiões como Europa e Japão, conforme a Figura 3 (POSADA; FAÇANHA, 2015).

Figura 3 - Comparação internacional do consumo médio de energia da frota de veículos de passageiros



Fonte: Posada e Façanha, 2015

Apesar de 8% mais leves que a frota japonesa, os veículos brasileiros apresentam consumo 18% superior ao do Japão, mercado que utiliza amplamente tecnologias de alta eficiência, como motores de 3 cilindros, comando de válvulas variável e veículos híbridos. Quando comparamos a frota brasileira com outros mercados, com base nas categorias de peso ou tamanho, é possível identificar uma oportunidade de melhoria na eficiência energética dos veículos nacionais, o que deixa o Brasil atrás de outros mercados. A imagem a seguir ilustra este cenário da frota brasileira comparada a outros mercados (POSADA; FAÇANHA, 2015).

Visando ampliar a percepção das políticas de eficiência energética entre o Brasil e outros países e regiões, o Quadro 2 consolida os principais indicadores, referências e características de cada programa.

Quadro 2 – Legislação nacional e internacional com metas de eficiência energética

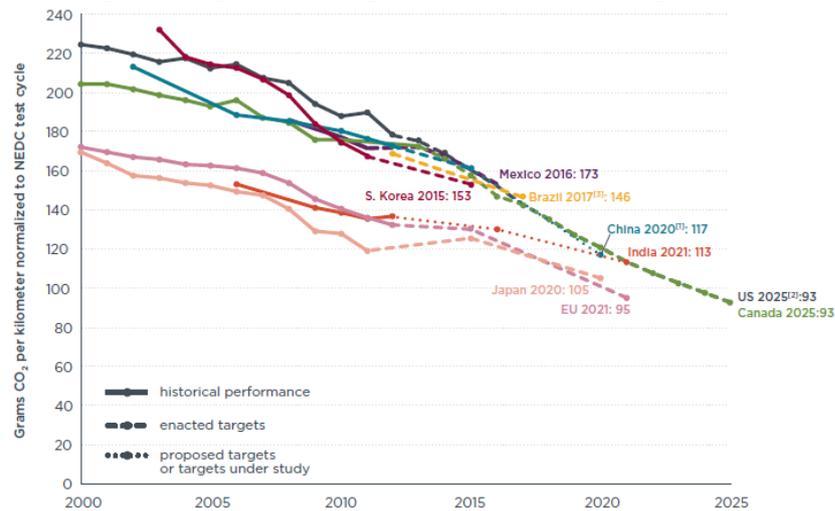
País / região	Regulamentação e Período	Referência Ciclo	Eficiência energética	Definições e indicadores
EUA	CAFE – 2ª fase 2017-2025	Tamanho <i>Footprint</i>  <i>CAFE</i>	56,2 mpg 88 gCO <sub>2</sub> /km	Cumprir redução de emissões de GEE (EPA) e melhorar economia de combustíveis (NHTSA). Cada fabricante: volume total de CO <sub>2</sub> equivalente à frota produzida, e decide quantidades de cada modelo a ser fabricado. Avaliação de médio prazo para 2022-2025. Veículos com tecnologias avançadas valem mais que um no cumprimento de meta, até 2021.
Europa	Diretiva Europeia 2020-2021	Peso <i>NEDC</i>	95 gCO <sub>2</sub> /km	A meta de 2015 (130 g/km) foi atingida em 2014 com emissão média de 123,3 g/km. Existe a oportunidade de uso de supercrédito para os veículos de baixas emissões, abaixo de 50 g CO <sub>2</sub> /km, com fatores multiplicativos que permitirão ajustar o máximo de 7,5 g/km entre 2020-2022. Para eco-inovações não capturadas no ciclo de teste (NEDC) será aplicado crédito máximo de 7 g/km.
Japão	<i>Top Runner</i> 2015-2020	Peso JC08	115 gCO <sub>2</sub> /km 20,3 km/l	O programa <i>top runner</i> utiliza como padrão a tecnologia mais eficiente do mercado. O automóvel tem tributação elevada. A meta é de 20,3 km/l ou 115 g CO <sub>2</sub> /km, com base no ciclo de teste JC08.
China	CAFC Fase 4 2016-2020(2021)	Peso <i>CAFC</i>	5,0 l/100 km	Cada fabricante deve atender o limite de consumo de combustível do veículo e também a média corporativa de consumo de combustível (CAFC). Incentivos para veículos com tecnologias: nova energia; consumo ultrabaixo, até 2,8 l/100 km; inovador e que reduza o consumo de combustível.
Coréia do Sul	Padrões para economia de combustível e GEE 2016-2020	Peso <i>CAFE</i>	97 g CO <sub>2</sub> /km 24,3 km/l	Utiliza os ciclos de teste de cidade e rodovia CAFE dos EUA. Os veículos de baixas emissões terão fator multiplicador. Veículos: emissão zero, emissão <50 g CO <sub>2</sub> /km, com transmissão manual e miniveículos.
Brasil	Inovar Auto Meta obrigatória (CE <sub>1</sub> ) 2016-2017	Peso <i>CAFE</i>	1,82 MJ/km (15,8 km/l; 137 g/km - E22)	Para qualificar desconto adicional de 1% do IPI (CE <sub>3</sub> ), consumo médio até 1,75 MJ/km e 1,68 MJ/km para uma redução de 2% (CE <sub>2</sub> ) do IPI (base 2012). Teste de medição combina ciclos de teste urbano e rodoviário CAFE. Veículos com propulsão de alta eficiência, consumo energético até 0,66 MJ/km, terão fator 2,75 para o período de 2015-2017 e 2,5 para 2018-2020.

**Nota:** a unidade métrica da China é diferente das demais por calcular o consumo em litros por 100 quilômetros.

Fonte: Autor

A Figura 4 compara o padrão europeu de emissões de CO<sub>2</sub> com outras regulamentações semelhantes ao redor do mundo. Todos os parâmetros foram convertidos para o ciclo de teste europeu, para ajustar a base de comparação. Os créditos com fator multiplicativo de veículos de alta eficiência energética ou outros incentivos para inovação não foram considerados neste comparativo.

Figura 4 - Comparação global de regulamentação de CO<sub>2</sub> para veículos de passageiros



Fonte: ICCT, 2014b

As medições para aferir o consumo de cada veículo seguem padrões estabelecidos e aplicados para assegurar o fator de comparação. Os padrões de fábrica podem sofrer grandes alterações em função da manutenção e da forma de uso do veículo. Para os veículos em uso, uma série de fatores pode alterar o consumo, como pneus descalibrados; substituição por pneus menos eficientes; falta de manutenção, conforme plano de manutenção dos fabricantes; peso adicional, como transportar materiais que não estão sendo usados; e a forma de dirigir, com forte aceleração ou alta velocidade (PLOTKIN, 2009).

### 2.3 TECNOLOGIAS AMBIENTAIS PARA MITIGAR EMISSÕES AUTOMOTIVAS

Segundo Davila, Epstein e Shelton (2007), a inovação pode se apresentar de diferentes formas, que se refletem em resultados diversificados. Os tipos de inovação podem ser descritos como: incremental, que proporciona pequenas melhorias no produto atual, aproveitando o máximo da plataforma existente, otimizando desta forma os custos, e este é o tipo mais utilizado pelas empresas; semi-radical, que confere mudança significativa na

tecnologia atual ou no modelo de negócio em vigor; radical, que muda significativamente a tecnologia e o modelo de negócio, simultaneamente. O setor automobilístico usa com frequência a inovação incremental para oferecer novos modelos de veículo aos clientes. O uso balanceado dos três tipos proporciona um portfólio que melhor se adequa à necessidade de cada empresa, permitindo o uso de cada um conforme a estratégia de negócio e a opção de tecnologia. A Figura 5 apresenta a matriz da inovação, ilustrando os tipos de inovação e a relação com as mudanças tecnológicas e do modelo de negócio.

Figura 5 - Matriz da inovação

Matriz da inovação

<b>Tecnologia</b>	<b>Nova</b>	Semi-radical	Radical
	<b>Semelhante à atual</b>	Incremental	Semi-radical
		<b>Semelhante à atual</b>	<b>Nova</b>

Modelo de Negócio

Fonte: Davila, Epstein e Shelton, 2007

Kemp e Pontoglio (2011) apontaram as formas de avaliar a relação entre inovação ambiental e políticas. Com base neste estudo, os autores formularam algumas proposições sobre os resultados da inovação em função dos instrumentos da política ambiental. A primeira diz respeito à distinção entre inovação incremental e radical, que é de grande relevância para o caso de solução tecnológica inovativa para a redução das emissões de carbono. Para este caso é relevante distinguir o que é novo para o mundo, que pode ser medido por patentes, e os demais casos que se classificam como adoção da inovação. A segunda proposição aborda a relação entre legislador e empresas, que deve ser bidirecional, visando o exercício de influência positiva de um sobre o outro. A inovação ambiental pode ter como origem a legislação, mas a inovação também pode ocorrer antes da legislação e assim influenciar o processo político para consolidar a regulamentação. Outro entendimento está relacionado a como a política é traçada, qual aspecto tem maior influência sobre a inovação e o tipo de instrumento aplicado, o que pode ser interpretado na forma como o instrumento político é desenhado. Este entendimento pode ser ainda complementado com a flexibilidade da política, o que pode fomentar a sua difusão e ampliar os benefícios. A combinação entre instrumentos

de política pode potencializar a inovação em relação à regulamentação (KEMP; PONTOGLIO, 2011).

Segundo estudo realizado por Lee *et al.* (2010), os institutos e universidades têm uma participação reduzida no desenvolvimento de inovação ambiental em razão do curto prazo para as montadoras atenderem aos novos limites de emissões impostos pelas agências ambientais.

Para Oltra e Saint Jean (2009), a indústria automobilística tem respondido aos quesitos ambientais com mudanças tecnológicas sobre a base de motorização atual, mas também desenvolve novas soluções para responder às necessidades de longo prazo. Este segmento da indústria mantém uma base de conhecimento acumulada, a qual fortalece o processo de inovação e assim se resguarda diante de novos competidores. Em relação ao ciclo de vida deste segmento, uma vez que emerge um padrão dominante este passa a evoluir de forma incremental, não somente em função de preferências, mas principalmente pela longa cadeia envolvida no processo, combinando instrumentos que podem contribuir para o processo de inovação.

### **2.3.1 Tecnologias ambientais para a redução das emissões tóxicas automotivas**

No intuito de melhorar a qualidade do ar em função dos poluentes emitidos pelos automóveis, diversas inovações de tecnologias ambientais foram geradas nos países desenvolvidos e difundidas para outros países, para atender a estas necessidades ao redor do mundo. Desde a década de 1980, o Brasil tem recebido diversas tecnologias para a redução dos gases tóxicos, seja de escapamento ou por evaporação do sistema de combustível. Neste contexto, as mudanças ocorreram para atender às exigências ambientais.

A atual tecnologia dos motores a combustão interna segue o mesmo princípio de funcionamento desenvolvido por Otto, com utilização automotiva desde os anos de 1880. A partir dos anos de 1990 esta motorização recebeu diversas inovações tecnológicas para a melhoria de desempenho e redução das emissões. Estas inovações reduziram significativamente o consumo de combustível, e em alguns casos o mantiveram mesmo com o aumento da massa de automóveis. Após 1990 os motores passaram a ser equipados gradualmente com o comando de válvula variável, nos Estados Unidos e Europa, e desde 2002 a injeção direta gradualmente passou a equipar os motores dos automóveis, tecnologias que permitiam o aumento de potência sem elevar os níveis de emissões. Em meados da década de 1990, as tecnologias elétricas passaram a fazer parte do cenário automotivo,

começando com a propulsão elétrica (bateria), porém com baixo volume de vendas em função do elevado preço. Após 1997 entra em cena o veículo híbrido elétrico, apresentando venda mais expressiva a partir da década seguinte (DIJK; YARIME, 2010).

Segundo Dechezleprêtre, Neumayer e Perkins (2015), a difusão internacional de tecnologias de inovação relacionadas às emissões demanda muito esforço de P&D, que exige elevado volume de unidades para amortização dos custos. As patentes pesquisadas foram extraídas de sete categorias de redução de emissões automotivas. A primeira trata dos dispositivos de dosagem ar/combustível: ajuste de marcha lenta; adiciona pequena quantidade de combustível secundário; dispositivo de alta pressão de gasolina; e adiciona ar secundário à mistura. A segunda engloba tecnologias para injeção de combustível, e foram encontradas: mecanismos de injeção de combustível; bomba injetora; injetor sequenciado por distribuidor; injeção de antidetonante; dispositivo para ajuste de pressão ou volume; dispositivos para aquecimento; para refrigeração/aquecimento ou isolamento; dispositivos com duto de combustível ou ventilação; injetores combinados a outros dispositivos; dispositivos de injeção de combustível de baixa pressão. A terceira tecnologia identificada é para catalisadores e outros dispositivos pós-combustão, como: dispositivos de purificação; inoculação ou tratamento de exaustão; conversão catalítica de componentes nocivos da exaustão; regeneração ou reciclagem de reagentes; catalisador de óxidos de metal ou hidróxidos; grupo de metais de platina. A quarta é sobre os sistemas de ventilação positiva do cárter e foi apontado o dispositivo de ventilação para purificar o ar após a saída do cárter (retirada do óleo, p. ex.). A quinta tecnologia é sobre válvula de recirculação dos gases de exaustão, sendo identificado o dispositivo de exaustão combinado com dispositivo de uso da energia de escapamento. A sexta tecnologia aborda os sistemas de diagnóstico a bordo (on-board diagnostic - OBD) e tem como soluções aplicadas: controle elétrico de combustão; controle elétrico de fornecimento de mistura de combustível; controle elétrico combinado de duas ou mais funções; dispositivo de injeção de combustível por controle elétrico; e controle elétrico de tratamento de gás de escapamento. A sétima e última trata dos sensores de oxigênio, NOx e temperatura, e foram identificados: o monitoramento de dispositivo para tratamento de gás de escapamento; e controle de correção por ciclo fechado.

Conforme análise da indústria automobilística, Lee *et al.* (2010) identificaram que a pressão regulatória leva ao processo de inovação e também avaliaram os principais componentes introduzidos nos veículos dos Estados Unidos, durante o período de 1970 a 1998, com base em patentes e publicações relacionadas à emissão automotiva. Os componentes introduzidos na época foram: catalisador, sistema de ventilação positiva do

cárter, sistema de controle de evaporação, controle do avanço de ignição (controle elétrico da linha do avanço a vácuo), válvula térmica de controle do vácuo (controle térmico da linha de vácuo para avanço em alta temperatura), reator de injeção de ar (injeta ar no escapamento para queima de hidrocarbonetos) e válvula de recirculação dos gases de exaustão (EGR). Estes componentes foram ajustados para funcionar nos motores da época (1975). Atualmente alguns destes dispositivos são utilizados nos motores, mas sob comando do gerenciamento eletrônico. Na década de 1990 foram introduzidos dispositivos controlados eletronicamente, como injetor de combustível, sistema para acelerar o aquecimento do catalisador (ex. injeção de ar secundário), sensores de oxigênio e óxidos de nitrogênio (NOx) e sistema de gerenciamento eletrônico a bordo. Baseados em análise estatística, Lee *et al.* (2010) identificaram que 93% das patentes das tecnologias de emissões automotiva estão concentradas nas montadoras e fornecedores, sendo que mais de 80% das patentes eram de origem norte americana ou japonesa (LEE *et al.*, 2010).

O Quadro 3 apresenta as tecnologias ambientais para a redução de emissões tóxicas automotivas, classificadas como inovação ambiental tecnológica incremental.

Quadro 3 -Tecnologia Ambiental para redução e controle de emissões tóxicas automotivas

<b>Categorias de Análise</b>	<b>Elementos</b>	<b>Definições e indicadores</b>	<b>Autores</b>
Inovação Ambiental Incremental	Dispositivos de dosagem ar/combustível	Ajuste de marcha lenta; adiciona pequena quantidade de combustível secundário; dispositivo de alta pressão de gasolina; e adiciona ar secundário à mistura	Dechezleprêtre, Neumayer e Perkins (2015)
	Tecnologias para injeção de combustível	Mecanismos de injeção de combustível; bomba injetora; injetor sequenciado por distribuidor; injeção de antidetonante, dispositivo para ajuste de pressão ou volume; dispositivos para aquecimento; para refrigeração/aquecimento ou isolamento; dispositivos com duto de combustível ou ventilação; injetores combinados a outros dispositivos; dispositivos de injeção de combustível de baixa pressão.	Dechezleprêtre, Neumayer e Perkins (2015); Lee <i>et al.</i> (2010)
	Catalisadores e outros dispositivos pós-combustão	Dispositivos de purificação; inoculação ou tratamento de exaustão; conversão catalítica de componentes nocivos da exaustão; regeneração ou reciclagem de reagentes; catalisador de óxido de metal ou hidróxidos; grupo de metais de platina.	Dechezleprêtre, Neumayer e Perkins (2015); Zapata e Nieuwenhuis (2010); Lee <i>et al.</i> (2010); Oltra e Saint Jean (2009)
	Sistema de ventilação positiva do cárter	Dispositivo de ventilação purificando o ar após saída do cárter (retirada do óleo, p. ex.)	Dechezleprêtre, Neumayer e Perkins (2015); Lee <i>et al.</i> (2010)
	Válvula de recirculação dos gases de exaustão	Dispositivo de exaustão combinado com dispositivo de rendimento de energia de escapamento	Dechezleprêtre, Neumayer e Perkins (2015); Lee <i>et al.</i> (2010)

	Sistemas de diagnóstico a bordo (OBD)	Controle elétrico de combustão; controle elétrico de fornecimento de mistura de combustível; controle elétrico combinado de dois ou mais funções; dispositivo de injeção de combustível por controle elétrico; e controle elétrico de tratamento de gás de escapamento.	Dechezleprêtre, Neumayer e Perkins (2015); Lee <i>et al.</i> , (2010)
	Sensores de oxigênio, NOx e temperatura	Monitoramento de dispositivo para tratamento de gás de escapamento; e controle de correção por ciclo fechado	Dechezleprêtre, Neumayer e Perkins (2015); Lee <i>et al.</i> , (2010)

Fonte: Autor

As tecnologias para a redução das emissões de gases tóxicos dos automóveis tiveram um papel importante para a melhora da qualidade do ar. Para atender à demanda de mudanças climáticas, o setor automotivo tem recebido uma série de regulamentações para adequar as tecnologias automotivas para atender às necessidades de mitigação dos GEE.

### 2.3.2 Tecnologias ambientais para a mitigação das emissões de GEE dos automóveis

A indústria automobilística tem evoluído na redução de emissões de CO<sub>2</sub>, para atender a metas de redução de GEE, principalmente no que tange ao uso de combustão de fonte fóssil. Em função da crescente demanda por mobilidade, o desenvolvimento de iniciativas eco-inovadoras visa o aumento da eficiência energética dos automóveis, por meio de avanços tecnológicos via modificações e *re-design*. As principais modificações estão relacionadas a tecnologias com maior eficiência de injeção de combustível, melhoria dos sistemas de gerenciamento de potência e pneus verdes. Outro desenvolvimento, para a redução de combustível, foram as novas ligas de aço de alta resistência com o intuito de reduzir o peso total do veículo (OECD, 2009). A análise de Horbach (2008), sobre as empresas inovadoras da Alemanha, identificou que a capacidade tecnológica da empresa leva ao processo de inovação ambiental, e os produtos tecnológicos com grande visibilidade internacional, como motores de automóvel, são beneficiados por inovações.

Para Zapata e Nieuwenhuis (2010), as demandas em função de mudanças climáticas têm buscado ajustes no setor automobilístico por meio de inovação, que pode ser radical ou de ruptura. A mudança radical oferece algo novo e desconhecido para os consumidores, podendo gerar uma nova demanda, enquanto a ruptura se refere a uma nova tecnologia, com destaque da inovação para os valores que superam o modelo dominante de mercado. Desde os anos de 1960 têm sido transferidas tecnologias dos veículos de competição para os modelos comerciais, em função de regulamentação governamental. Visando à melhoria do desempenho em emissões, foram introduzidas algumas tecnologias, como cilindro

multiválvula, comando de válvula variável, conversor catalítico e turbocompressor. Este último permite a redução de emissões de CO<sub>2</sub> em função da redução do tamanho dos motores. A introdução de novas tecnologias na indústria automobilística depende da análise do retorno sobre o investimento, em função do elevado montante para assegurar os processos de desenvolvimento e produção. Zapata e Nieuwenhuis (2010) avaliaram duas novas tecnologias: combustível alternativo, como inovação incremental, e sistema propulsor alternativo como inovação radical. Como primeira tecnologia a ser avaliada neste estudo, temos o biocombustível brasileiro, o etanol. Este combustível foi fortalecido com o Programa Proálcool, tendo seu melhor momento no início dos anos 1980 e a pior fase foi no final desta mesma década, tendo sido retomado com vigor somente em 2003, com a introdução dos veículos bicompostíveis (gasolina e etanol). A segunda análise foi sobre o Toyota Prius. Lançado em 1997, foi o primeiro veículo híbrido em escala, combinando motor a combustão interna com motor elétrico e bateria. Atualmente está na terceira geração, apresentando evolução do projeto em cada fase em relação ao aumento de desempenho dos motores, redução do peso e aumento de capacidade da bateria (ZAPATA; NIEUWENHUIS, 2010).

A terceira análise foi sobre a célula de combustível a hidrogênio. Este conceito envolve como desenvolver a melhor forma de extrair o hidrogênio usando o mínimo de energia, e na outra ponta, a busca pelo sistema de propulsão ideal a ser aplicado para este combustível. Zapata e Nieuwenhuis (2010) investigaram inovações incrementais e radicais na busca de tecnologias automotivas mais limpas. A aplicação de novos combustíveis e propulsão deve ser avaliada sob a ótica econômica, de forma a viabilizar novas soluções. As duas primeiras tecnologias apresentam modelo incremental de inovação, e a última aponta para um modelo de inovação potencialmente radical (ZAPATA; NIEUWENHUIS, 2010).

O motor com ignição por centelha pode ter eficiência e emissões melhoradas quando equipado com controle de abertura de válvulas variável, de forma a otimizar o enchimento do cilindro em diversas rotações. Segundo Gölcü *et al.* (2005), o sistema de controle variável para abertura do comando de válvula proporciona otimização no funcionamento do motor conforme a rotação, atuando no controle de abertura da válvula. Para Fontana e Galloni (2009), a melhora no consumo de combustível reflete-se na redução das emissões de CO<sub>2</sub>, o que é obtido por meio da melhoria da eficiência térmica do motor. Os autores testaram um controle de válvula variável e identificaram otimização no controle de torque e consumo de combustível.

A pesquisa de Carrillo-Hermosilla, Del Río e Konnola (2010) utiliza estudos de caso para gerar percepções teóricas visando validação externa e generalização. Como resultado

foram identificadas as dimensões-chave da eco-inovação, que englobam: *design*, como forma de melhorar, criar ou transformar um novo sistema; usuários, envolvidos no desenvolvimento; produto-serviço, suportando redes e infraestrutura; e governança, como forma de incentivo para a difusão de um novo sistema. Os estudos de caso de Carrillo-Hermosilla, Del Río e Konnola (2010) visavam esclarecer, por meio de análise empírica, os detalhes específicos dos tipos de eco-inovação utilizados no veículo híbrido da Toyota. No aspecto de *design* ele apresenta a combinação do sistema convencional com o elétrico, ganho de eficiência energética e uma solução parcial de uma mudança radical em transporte. Os usuários tiveram maior participação nas versões posteriores, pequenas adaptações na forma de dirigir e redução no consumo. Para produto-serviço, mudanças na cadeia de fornecimento em função da bateria e serviço de manutenção. Sobre as mudanças em governança foi identificada a necessidade de adoção de política pública, mas não houve evidências sobre cooperação entre os atores.

O levantamento de patentes realizado por Oltra e Saint Jean (2009) no setor automotivo da França identificou que 40% dos registros estão relacionados ao desempenho ambiental. A pesquisa se voltou para a inovação em veículos de baixas emissões (VBE), focando em dispositivos para a redução de gases primários (CO, NOx e compostos orgânicos voláteis), redução de GEE e diminuição do consumo de combustível. As inovações estão relacionadas não somente aos motores a combustão interna (motor por centelha), mas incluem veículos híbridos (VH), veículos elétricos a bateria (VEB) e veículos a célula de combustível (VCC). O VEB apresenta restrição quanto à autonomia, em função da bateria, e o VCC necessita de hidrogênio, com produção custosa e dependente de rede de distribuição. As inovações em motores a combustão interna são nas áreas de melhoria de eficiência, pós-tratamento de poluentes e combustíveis alternativos (biocombustível). O estudo com foco nas políticas ambiental e de inovação permitiu uma análise de como estas se influenciam e se combinam para se adequar às exigências e demandas do mercado (OLTRA; SAINT JEAN, 2009).

As tecnologias que despontam para proporcionar maior eficiência dos automóveis estão relacionadas aos motores elétricos, seja na propulsão híbrida, elétrica pura ou por célula de combustível. Cada uma destas apresenta alguma restrição para uma aplicação imediata em larga escala, ficando como alternativa as inovações ambientais aplicadas aos sistemas de propulsão convencional. Entre estas inovações se destacam o comando de válvula variável, sistema para desligar o veículo em marcha lenta (sistema start-stop), taxa de compressão elevada e transmissão continuamente variável (sigla em inglês CVT - *continuously variable transmission*) (AHMAN, 2001).

O desenvolvimento de tecnologias automotivas para a redução das emissões de GEE, tais como motores elétricos; baterias; células de combustível; e redução de peso dos veículos, envolvem incertezas e riscos em função de limitações técnicas ou de custos. A flexibilização para atingir objetivos intermediários seria o uso de tecnologias para melhoria da eficiência dos motores atuais, tais como injeção direta e outras soluções, como a adoção de transmissão continuamente variável (CVT). Além destas modificações nos atuais motores a combustão interna por centelha, a utilização de etanol celulósico de segunda geração ou biometanol tem o potencial de redução de carbono da ordem de 80 a 95%, em função do sequestro de carbono no crescimento da planta, e pode ser aplicado em veículos que operam com ambos os combustíveis (DIFIGLIO, 1997). O Brasil possui esta opção de motorização desde 2003, que pode ser alimentada com gasolina E22, etanol hidratado E100 ou a mistura destes em qualquer proporção.

As tecnologias de veículos com sistemas de propulsão híbrida, elétrica ou célula de combustível, se ajustadas para usarem energia elétrica renovável, proporcionam maior redução das emissões de CO<sub>2</sub> (CHRISTENSEN, 2011).

Em revisão científica sobre motores a combustão interna realizada na Inglaterra, Taylor (2008) identificou que os desafios para a melhoria energética destes motores têm as seguintes motivações: atuar na redução de GEE (CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O); desenvolver novos combustíveis; e melhoria do processo de combustão dos motores. Os motores a ignição avaliados foram o convencional e a injeção direta de combustível. Entre as tecnologias e soluções apontadas temos a redução do tamanho dos motores, a sobrealimentação (turbina ou compressor), injeção direta de combustível, aumento da taxa de compressão, desligar o motor em marcha lenta (economia de combustível em 7,5% durante um ciclo de teste de emissões), o comando de válvulas variável, transmissão automatizada e transmissão continuamente variável. Estes dispositivos e estruturas são aplicados nos motores atuais a combustão interna. O autor aponta alguns estudos para melhoria do rendimento destes motores, entre os quais é citada a pesquisa sobre geração de energia com o calor dos gases de escapamento, que ainda depende de aprimoramento do material para tal conversão (TAYLOR, 2008).

Conforme relatório de Posada e Façanha (2015), algumas tecnologias são abordadas como influentes no consumo de energia dos automóveis. Para os veículos com motorização alimentada por etanol (E100) ou gasolina (E22), ou misturado em qualquer proporção, o etanol apresenta consumo em torno de 25% inferior à gasolina, por possuir menos energia por volume. Os motores com maior número de cilindros apresentam menor vibração e ruído, no entanto a redução do número de cilindros proporciona redução no consumo energético. A

redução do número de cilindros é conhecida como *downsizing* e geralmente estes motores são equipados com turbo (sobrealimentado) e injeção direta. O motor mais comum no mercado brasileiro (mais de 90%) é o de quatro cilindros, e o *downsizing* para o mercado local seria o motor de três cilindros. A tecnologia de comando de válvulas variável (do inglês: *VVT - variable valve timing*) altera o tempo da válvula de admissão, de escapamento ou ambas, melhorando a potência específica, diminuindo as perdas com a melhora no fluxo de ar nas diversas condições de operação do motor, resultando em redução do consumo de energia. O sistema de alimentação de combustível multiponto (MPFI) é o mais utilizado no mundo, mas reduz a eficiência volumétrica na admissão devido à expansão do combustível em contato com a válvula de admissão, que tem elevada temperatura em operação. O sistema de alimentação por injeção direta alimenta o cilindro injetando o combustível diretamente na câmara, permitindo maior taxa de compressão e aumento da eficiência termodinâmica. Os motores sobrealimentados, seja por turbina ou compressor, recebem maior quantidade de ar, conseqüentemente podem receber maior volume de combustível, o que permite a redução do motor para gerar o mesmo desempenho; por este motivo estes motores apresentam melhores resultados em combinação com o sistema de injeção direta de combustível (POSADA; FAÇANHA, 2015).

Para informar o consumo dos veículos para o público brasileiro, nos anos de 1980 este dado constava do manual do proprietário. Com o tempo ele foi descontinuado, voltando em 2008 com o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV), introduzido pelo governo brasileiro para melhorar a eficiência energética dos veículos. As montadoras deveriam disponibilizar a etiqueta para 50% dos seus modelos, com a classificação de A até E, sendo A a melhor classificação de consumo. A etiqueta possuía as informações de consumo em km por litro de combustível. Em muitos países existe este programa para a divulgação da eficiência energética dos automóveis, seguindo dois tipos: não comparativo, que apresenta o valor dentro de um objetivo geral; e o comparativo, que classifica conforme o valor atingido pelo veículo na frota geral. As informações podem apresentar o consumo de combustível, com objetivo econômico, mas também podem conter a emissão de GEE, quantidade de CO<sub>2</sub> emitida, com objetivo de conscientização ambiental. Este programa visava a melhoria de consumo dos veículos, e algumas tecnologias ambientais estavam disponíveis em veículos nacionais antes do PBEV, mas somente nos modelos de maior valor, tais como comando de válvula variável e transmissão continuamente variável (CVT); as outras já eram aplicadas nos países de origem das empresas, como sobrealimentação (turbo), injeção direta e redução dos motores (*downsizing*). A aplicação destas tecnologias depende de um cenário propício ao

equilíbrio financeiro para serem utilizadas nos veículos brasileiros, e, para as montadoras, um indutor de tecnologias ambientais para os veículos brasileiros seria seguir a tendência mundial de motores com baixas emissões. O desenvolvimento de produto das montadoras no Brasil utiliza inovação incremental, e as inovações radicais têm sido implementadas prioritariamente nos países de origem e difundidas para as filiais. Os veículos movidos a etanol têm como vantagem a redução de CO<sub>2</sub>, porém os veículos bicombustíveis apresentam eficiência inferior em relação aos motores especializados, que usam somente gasolina E22 ou etanol E100 (BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010).

Nas duas últimas décadas os motores têm recebido diversas inovações com o intuito de melhorar a eficiência energética. Os motores que apresentam o melhor desempenho energético são equipados com injeção direta de combustível, comando de válvulas variável (*VVT*), e ainda deve continuar em evolução o conceito de *downsizing* com turbo. A tecnologia para veículo híbrido necessita de redução nos custos de componentes para ampliar sua participação na frota mundial nos próximos anos (PLOTKIN, 2009).

Segundo levantamento de Simmons *et al.* (2015), o mercado norte-americano deverá receber melhorias anuais na eficiência dos veículos de passageiros no período de 2017 a 2025, em função das metas estabelecidas. Este cenário exigirá uma ampla difusão tecnológica, e as atuais soluções que apresentam a melhor relação custo-benefício, naquele mercado, são os veículos de alta eficiência, e as tecnologias deste grupo são: turbo com *downsizing*, híbrido e transmissão CVT. Além destas tecnologias com melhor retorno econômico, outras também são aplicadas para a redução das emissões, como o comando de válvulas variável (*VVT*) e injeção direta (SIMMONS *et al.*, 2015).

Segundo a análise de Oshiro e Masui (2015), a difusão de tecnologias de veículos elétricos a bateria, células de combustível, híbridos, híbridos *plug-in* e veículos de alta eficiência permite o ajuste na matriz energética para atingir a meta de redução de GEE do Japão em 80% das emissões até 2050, em relação a 1990.

A tecnologia de redução de atrito dos motores contribui para a diminuição do consumo de combustível. A redução do atrito pode ser obtida por meio do uso de lubrificantes de baixo atrito, redução de contrapeso, componentes geometricamente otimizados, redução de rotação por meio de transmissões com mais velocidades e aplicação de materiais que reduzam o atrito, como revestimentos especiais e roletes. Seguindo esta linha de evolução tecnológica, a utilização do turbocompressor pode contribuir para a redução do consumo, mas para o atrito esta tecnologia apresenta efeito inverso, em função de a pressão exercida nos componentes aumentar a carga, com conseqüente aumento do atrito. A aplicação da sobrealimentação com

*downsizing* para um nível de torque moderado, combinada com a redução de tamanho e número de cilindros (e componentes móveis) e redução do estrangulamento em baixas cargas, contribui para a redução de atrito. A diminuição da possibilidade de detonação no motor permite o aumento de pressão, o que também permite a redução do tamanho do motor, contribuindo para a redução de atrito (NRC, 2015).

As tecnologias abordadas são relativas ao sistema de propulsão do veículo, e a eficiência energética pode ser melhorada com tecnologias em outras partes do automóvel (não propulsão), que contribuem para o ganho geral de eficiência. Essas tecnologias melhoram a eficiência em função de reduzir o consumo de energia do sistema de propulsão.

Um dos fatores que tem relação direta com o consumo é o peso dos veículos. Segundo medição feita pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), a redução do peso em 10% de um veículo a gasolina pode atingir economia de combustível por volta de 6 a 7% (PLOTKIN, 2009). A redução de peso pode ser obtida por meio da substituição do material de alguns componentes, como, por exemplo, o uso de rodas de liga, e substituição da roda sobressalente por kit de reparo (depende da legislação do país); estes são alguns exemplos de mudanças para a redução de peso (SIMMONS *et al.*, 2015).

Além da redução do peso, tecnologias como a aerodinâmica, pneus de baixo atrito, direção assistida e sistema de ar condicionado podem proporcionar a redução de consumo exigido do sistema de propulsão. O sistema de direção assistida convencional é baseado em circuito hidráulico, que tem a bomba movida pelo motor do veículo, consumindo energia. A direção elétrica não necessita do sistema hidráulico, dispensando a potência proveniente da polia do motor, oferecendo assistência para a direção com torque adequado à condição de uso. O sistema de direção eletro-hidráulica também elimina o acionamento da bomba por correia, que passa a ser feito por um motor elétrico, reduzindo assim o consumo de energia do motor do automóvel. Em função desta estrutura, a direção elétrica proporciona a redução de emissões de CO<sub>2</sub>, comparada ao sistema hidráulico (NRC, 2015)

No Quadro 4, as tecnologias ambientais para a redução de emissões automotivas foram classificadas em categorias de inovação ambiental tecnológica de produto incremental, semi-radical e radical, pela análise do tipo de inovação definido por Davila, Epstein e Shelton (2007).

Quadro 4 – Categorias de Inovação Tecnológica Ambiental para redução de emissões automotiva de GEE.

<b>Categorias de Análise</b>	<b>Elementos</b>	<b>Definições e indicadores</b>	<b>Autores</b>
Inovação Ambiental Incremental	Comando de válvulas variável (VVT)	Comando de válvula variável	Zapata e Nieuwenhuis (2010); GÖLCÜ <i>et al</i> (2005); Fontana e Galloni (2009); Ahman, (2001); Dijk e Yarime (2010); Posada e Façanha (2015); Bastin, Szklo e Rosa (2010); Plotkin, 2009; Simmons <i>et al.</i> (2015); Taylor (2008)
	Cilindro multiválvula	Cilindro multiválvula	Zapata e Nieuwenhuis (2010)
	Redução do peso do veículo	Redução do peso do veículo por meio de uso de materiais mais leves	Plotkin (2009); Simmons <i>et al.</i> (2015); NRC, (2015); OECD (2009); Difiglio, (1997);
	Direção com assistência elétrica	Direção assistida por sistema elétrico ou eletro-hidráulico	NRC, (2015)
	Injeção direta de combustível	Injeção de combustível diretamente na câmara de combustão	Difiglio, (1997); Taylor (2008); Dijk e Yarime (2010); Posada e Façanha (2015); Bastin, Szklo e Rosa (2010); Plotkin, 2009; Simmons <i>et al.</i> (2015)
	Taxa de compressão elevada	Aumento da taxa de compressão do motor	Ahman, (2001); Taylor (2008); Posada e Façanha (2015);
	Sistema start-stop	Desligamento do motor em marcha lenta (veículo no congestionamento)	Ahman, (2001); Taylor (2008)
	Transmissão automatizada	Sistema de transmissão com embreagem e troca de marchas automatizadas	Taylor (2008)
	Transmissão continuamente variável (CVT)	Transmissão com variação contínua de velocidade	Ahman, (2001); Difiglio, (1997); Taylor (2008); Bastin, Szklo e Rosa (2010); Simmons <i>et al.</i> (2015)
	Redução do tamanho dos motores ( <i>downsizing</i> )	Redução do tamanho dos motores, com diminuição da quantidade de cilindros	Taylor (2008); Zapata e Nieuwenhuis, (2010); Posada e Façanha (2015); Bastin, Szklo e Rosa (2010); Plotkin (2009); Simmons <i>et al.</i> (2015); NRC (2015);
	Turbo compressor	Sobrealimentação	Zapata e Nieuwenhuis (2010); Taylor (2008); Posada e Façanha (2015); Bastin, Szklo e Rosa (2010); Plotkin (2009); Simmons <i>et al.</i> (2015); NRC (2015);
Inovação Ambiental semi-radical	Combustível alternativo	Biocombustível, etanol celulósico, biometanol	Zapata e Nieuwenhuis, (2010); Oltra e Saint Jean (2009); Difiglio (1997); Bastin, Szklo e Rosa (2010)
	Veículo híbrido	Veículo híbrido funciona com motor a combustão e ou motor elétrico	Zapata e Nieuwenhuis (2010); Carrillo-Hermosilla, Del Río e Konnola (2010); Christensen (2011); Dijk e Yarime (2010); Simmons <i>et al.</i> (2015); Plotkin (2009); Oltra e Saint Jean (2009); Ahman, (2001); Oshiro e Masui (2015)
Inovação Ambiental Radical	Veículo elétrico	Veículo com motores elétrico e bateria.	Difiglio (1997); Christensen (2011); Dijk e Yarime (2010); Oltra e Saint Jean (2009); Ahman, (2001); Oshiro e Masui (2015)
	Célula de combustível a hidrogênio	Célula de combustível a hidrogênio para gerar eletricidade e movimentar motor elétrico.	Zapata e Nieuwenhuis (2010); Difiglio (1997); Christensen (2011); Oltra e Saint Jean (2009); Ahman (2001); Oshiro e Masui (2015)

Fonte: Autor

Os artigos discutidos acima apresentam aplicações de inovação ambiental relacionada à tecnologia automotiva para redução das emissões de escapamento e evaporativa. Esses artigos abordam os estudos sobre P&D realizados nos últimos anos no setor automotivo, com foco na otimização de consumo e conseqüente redução de Gases de Efeito Estufa (GEE).

A introdução de uma nova tecnologia fica por vezes vinculada à perspectiva de retorno do investimento. Analisando as inovações dos últimos vinte anos, pode ser observado que muitas convergem na redução de emissões de poluentes e de consumo de energia, e a exigência regulatória tem potencializado esta demanda. O processo de inovação tem focado ainda o aspecto ambiental, em função das exigências dos mercados, e a experiência internacional tem cruzado fronteiras permitindo maior difusão da inovação no cumprimento das metas ambientais.

## 2.4 DETERMINANTES E BARREIRAS PARA A DIFUSÃO DA INOVAÇÃO AMBIENTAL NO SETOR AUTOMOTIVO

Para a inovação promover benefícios, ela precisa ser difundida. Nesse item são discutidos os fatores favoráveis e as barreiras para a difusão da inovação ambiental.

### 2.4.1 Fatores para a difusão da inovação ambiental no setor automotivo

Evidências empíricas apontam que a difusão da inovação ambiental necessita de um longo tempo até ser adotada, que está relacionado com a taxa e o caminho da difusão. A literatura sobre difusão da inovação apresenta-se de forma fragmentada e o processo ocorre com foco em objetivos específicos. A adoção de uma inovação depende da interação de alguns fatores, agrupados da seguinte forma: fatores relacionados à oferta (*supply-side factors*) consideram a disponibilidade da informação e a interação entre fornecedores e consumidores; fatores relacionados à demanda (*demand-side factors*), com os adeptos e suas diferentes percepções; e fatores entre países (*cross-country*), que incluem questões culturais e opiniões de líderes. Os termos ‘adoção’ e ‘difusão’ muitas vezes são tratados como sinônimos, mas a adoção refere-se ao nível individual, e a difusão ocorre na sociedade. Os temas principais identificados no levantamento bibliográfico de Karakaya, Hidalgo e Nuur (2014) tratam da evolução da economia ambiental, política e sistemas setoriais. Entre as abordagens mais abrangentes da difusão de eco-inovação, a hipótese do mercado piloto analisa os países que implantaram a inovação com sucesso, e busca o entendimento da

dinâmica internacional da difusão, relacionando o rigor da regulamentação com os mercados pioneiros.

O estudo de Schwarz e Ernst (2009) traz uma análise empírica da difusão da inovação ambiental, abordando o processo de difusão de inovações entre indivíduos, e cita algumas dimensões, tais como: o disparo da difusão, por meio de comunicação em redes sociais; técnicas de modelagem de padrões de difusão; e nível de agregação, considerando a decisão individual e sua influência sobre o sistema social. Segundo Rogers (2003), os principais elementos da difusão englobam a inovação, que é comunicada para proporcionar o compartilhamento e entendimento do conceito, e segue por canais específicos, durante um tempo, envolvendo participantes de um sistema social.

Com base no estudo de Oltra e Saint Jean (2009), a inovação ambiental não é utilizada somente para atender à legislação, ela se aplica em condições adequadas usando uma base existente e resultando em soluções para o mercado. Como o fruto de uma inovação ambiental nem sempre é percebido como valor para o cliente, outros fatores impulsionam o seu desenvolvimento; desta forma, a combinação de instrumentos pode contribuir para o processo de inovação. Conforme os achados das autoras, as novas tecnologias influenciadas pela legislação resultam em inovação incremental, modalidade que favorece a sua difusão.

O setor automobilístico atua na evolução dos produtos, evitando mudanças radicais na tecnologia. Um exemplo deste princípio é o motor a combustão interna, presente no automóvel há mais de um século. Apesar desta característica, a mudança tecnológica pode ser impulsionada pelos consumidores, por meio da percepção social de ser um produto ambientalmente amigável. Neste contexto, o veículo com motorização elétrica, seja por meio de bateria ou híbrido, desempenha também um papel social. Esta percepção de valor por parte do público potencializa o desenvolvimento de novas tecnologias, bem como sua difusão (DIJK; YARIME, 2010). Este tipo de difusão ocorre por meio de demanda de mercado, em função da procura pelo público consumidor de tecnologias ambientalmente amigáveis.

A utilização de veículos elétricos, híbridos e híbridos *plug-in* (siglas em inglês: EV, HEV e PHEV) proporcionam a melhoria no consumo de combustível e reduzem o impacto ambiental. Para mensurar a difusão destas inovações no setor automotivo, o estudo de Al-Alawi e Bradley (2013) avaliou modelos de previsão de taxa de propagação das tecnologias de veículos com propulsão elétrica no mercado norte americano. Diversos pesquisadores têm desenvolvido modelos para estimar esta taxa, por meio de interações entre localidades. Os modelos mais aplicados para a previsão de difusão de veículos elétricos e híbridos são: modelos baseados em agentes (*agent-based models*), que aplicam simulação por computador

criando interações entre os agentes; modelos pela escolha do consumidor (*consumer choice models*), que descrevem decisões individuais e coletivas em função dos atributos das tecnologias dos veículos; e taxa de difusão e modelos de série temporal (*diffusion rate and time series models*), que descrevem a aceitação do mercado ao longo do tempo. Para os autores, a difusão está relacionada com a aceitação de um novo produto, e a taxa de difusão é a velocidade com que esta novidade permeia o mercado. Cada atualização e remodelação de um produto é identificada por meio da liberação de uma nova geração para o mercado, e a taxa final de difusão é a somatória da difusão de cada geração. A simulação feita com base em diversos estudos sobre a difusão de EV, HEV e PHEV apresentaram como principais variáveis para a análise os incentivos, como subsídios dos fabricantes e isenção tributária do governo (redução do preço destas tecnologias em relação à convencional), e o preço do combustível. O cenário geral aponta para maior difusão quando o custo de operação se aproxima daquele de um veículo convencional. Cada um destes modelos apresenta vantagens e desvantagens, e um dos fatores que mais sensibilizam as análises é o baixo histórico de dados, por se tratar de tecnologias recentes no mercado automobilístico. A difusão nesses casos ocorreu por meio de incentivo por parte das montadoras e incentivo tecnológico provido por governos de alguns países, como forma de propagação de tecnologias ambientais que esbarram na limitação em função do custo resultante da baixa escala de produção (AL-ALAWI; BRADLEY, 2013).

A inovação tecnológica ambiental na indústria automobilística é difundida em muitos casos pelos fornecedores, como a tecnologia de injeção direta Diesel, uma inovação da Fiat em 1987, que evoluiu para o *common rail* em 1997, logo em seguida sendo adquirida pela Bosch e difundida para outras montadoras, reduzindo os custos devido à escala. Em outros casos a inovação tecnológica ambiental é desenvolvida pela própria montadora e difundida para as demais, como, por exemplo, o comando de válvula variável, para aplicações em motores a combustão interna, que foi usado pela primeira vez pela Honda, em 1989, e difundido para outras montadoras. Essa tecnologia não levou à redução de custo, pelo fato de receber constantemente inovações, fragmentando a escala. O resultado destes dois caminhos levou à difusão da injeção direta Diesel em 100% dos veículos, enquanto o comando de válvulas variável (VVT) passou a equipar 40% dos veículos a gasolina, na Europa, em 2005 (DIJK; YARIME, 2010). O VVT foi aplicado pela primeira vez no Honda Civic nacional em 1997 (SMITH, 2010). Entre os anos de 1990 e 2000, GM, Toyota e BMW introduziram inicialmente o VVT e em seguida a alimentação por injeção direta. A inovação tecnológica ambiental com novas tecnologias, como o veículo elétrico e a célula de combustível, exige

grande aporte financeiro das montadoras, levando à criação de consórcios para compartilhar os custos. Neste sentido, a inovação incremental para motores a combustão interna se mostra atrativa, pois pode ser desenvolvida internamente pelas montadoras e, em muitos casos, as inovações são originadas em fornecedores como Bosch, Delphi, Denso e Valeo (DIJK; YARIME, 2010).

Segundo Simmons *et al.*(2015), o mercado automotivo dos Estado Unidos tem atuado na melhoria da eficiência por meio de transformação tecnológica visando a redução do consumo de combustível. Com a nova fase do CAFE, novas soluções foram implementadas na frota, visando atender não somente à legislação, mas também às exigências do mercado. Os aspectos mais relevantes considerados na regulação priorizam a economia de combustível para favorecer a escolha do consumidor; a melhora da qualidade do ar, com a redução das emissões; e uma política nacional que atenda os envolvidos. Algumas montadoras superaram a meta de 2012, gerando crédito para os demais anos do período (2012-2016) ou permitindo troca entre montadoras. Pode ocorrer variação entre os limites estabelecidos pelas agências, em função da variação do *mix* de vendas e tamanho dos veículos, e pelo fato de a regulamentação atuar sobre o consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub>. Algumas tecnologias de menor custo foram introduzidas, no período de 2008 a 2013, para a melhoria de eficiência, tal como o VVT, que equipa quase a totalidade dos veículos leves. As tecnologias de CVT e híbrido têm apresentado uma taxa de crescimento de quase 100%, a de injeção direta seis vezes, e *downsizing* com turbo aumentou dez vezes (SIMMONS *et al.*, 2015). O CVT foi aplicado pela primeira vez no Brasil em 2003 pela Honda (SMITH, 2010). A nova meta do mercado norte-americano para a melhoria da eficiência dos veículos de passageiros entre 2017 e 2025 exigirá uma difusão tecnológica acelerada. O uso de melhorias incrementais tem menor impacto no custo dos veículos, mas também pouca evolução na eficiência energética. Os híbridos têm a maior perspectiva de evolução tecnológica e melhoria energética nos próximos anos, mantendo uma relação favorável entre custo e economia de combustível. O híbrido *plug-in* ainda exige subsídio para se aproximar de uma relação custo-benefício favorável. Em médio prazo, a difusão de tecnologias proporcionará uma economia de combustível entre 5 e 15%. Os consumidores que investiram, em média, US\$ 1.490 em tecnologias para o aumento da eficiência energética tiveram uma melhora na economia de combustível na faixa de 17,3%. Para os usuários com média anual de rodagem elevada, as tecnologias que oferecem o melhor benefício econômico são o turbo com *downsizing* e o híbrido normal (SIMMONS *et al.*, 2015). Diante dos desafios para o mercado dos EUA no

período de 2017 a 2025, será exigida a difusão de diversas tecnologias atualmente conhecidas, de forma a cumprir a meta de eficiência energética estabelecida.

As mudanças tecnológicas para atender à melhoria da eficiência energética dos automóveis nos EUA exigirão rápida mudança tecnológica e de aumento de custos, superior ao observado em regulamentações anteriores. Simmons *et al.* (2015) avaliaram o aumento no custo do veículo com a introdução de tecnologias para melhoria de eficiência energética, e o relacionaram com a economia de combustível. Fator maior que 1 indica resultado favorável em adquirir veículo de alta eficiência, e as tecnologias deste grupo são: turbo com *downsizing*, híbrido e transmissão CVT. Veículo com turbo e *downsizing* apresenta uma economia de combustível na faixa de 7 a 22%, veículo híbrido consegue obter o dobro de economia, mas o custo adicional do veículo híbrido é proporcionalmente superior à economia (SIMMONS *et al.*, 2015). Com base neste estudo é possível identificar a necessidade de difusão das tecnologias ambientais para atender à meta progressiva de aumento da eficiência energética até 2025.

Segundo estudo de Bergek e Berggren (2014), os instrumentos regulatórios contribuem para a difusão da inovação, pois controlam as ações das empresas por meio da imposição de limites de emissões, padrões tecnológicos estabelecidos ou controle de emissões por unidade produzida. O instrumento regulatório pode ser geral, como controle de emissões tóxicas, ou de tecnologia específica, como veículo emissão zero na Califórnia. Outro instrumento utilizado é o econômico, que estimula a difusão de tecnologias de baixas emissões. Este instrumento também é dividido, em geral, como tributação das emissões do transporte de combustível, ou tecnologia específica, como subsídio a um combustível alternativo ou a uma tecnologia específica. O instrumento geral, seja ele regulatório ou econômico, tende a fomentar a inovação incremental, o que favorece a difusão, enquanto o instrumento de tecnologia específica, regulatório ou econômico, favorece a inovação radical, mas a difusão se torna uma etapa mais crítica. A Figura 6 apresenta os quatro tipos de instrumentos da política ambiental (BERGEK; BERGGREN, 2014).

Figura 6- Quatro tipos de instrumentos de política ambiental

	Econômico	Regulatório
Geral	Econômico geral	Regulatório geral
Tecnologia específica	Econômico de tecnologia específica	Regulatório de tecnologia específica

Fonte: Bergek e Berggren, 2014

Em localidades com o modelo de demanda de mercado (*market-pull*), os investimentos em inovação que são regidos pelo mercado reagem favoravelmente aos produtos desenvolvidos para a necessidade do público. Na situação onde predomina modelo de tecnologia empurrada (*technology-push*), devem-se identificar as condições de mercado e as fontes das mudanças tecnológicas. A existência de ambos os modelos em um mercado favorece os incentivos que promovem a inovação. Diversas inovações ocorridas no mercado automobilístico brasileiro foram motivadas por incentivos tributários que levaram a uma ampla difusão das tecnologias (BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010).

Na década de 1970 o programa Proálcool recebia benefícios do governo quanto ao preço do etanol em relação à gasolina, e isenção do imposto de produtos industrializados (IPI). Até a introdução do primeiro veículo movido a etanol, entre 1975 e 1979, este combustível foi adicionado em 20% à gasolina como forma de reduzir a dependência do petróleo. Em 1979 foi firmado um acordo entre o governo e a Associação dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), estabelecendo a redução do IPI. A inovação desta motorização ocorreu entre 1979 e 1980, época em que a Fiat introduziu o primeiro veículo a etanol no mercado brasileiro. Esta primeira versão apresentava alguns problemas técnicos, que foram solucionados com a introdução do Corcel II da Ford, em 1981. A difusão do motor a álcool prosperou entre 1983 e 1985, chegando a quase 96% das vendas. A desaceleração desta tecnologia ocorreu, principalmente, em função da queda na cotação do petróleo em 1986, e em 1989 faltou etanol no mercado. A introdução do etanol foi baseada em tecnologia empurrada (*technology-push*), que, com a evolução do mercado, migrou para demanda de mercado (*market-pull*) (BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010).

Em 1993, a redução do IPI para veículos de até 1.000 cm<sup>3</sup> estimulou o mercado de veículos básicos, com motor pequeno de menor consumo, e emissões mais baixas. Este foi um instrumento criado para atender à necessidade do mercado brasileiro por veículos de menor valor, um modelo baseado na demanda de mercado. Após a introdução do incentivo para esta motorização, ocorreu uma ampla difusão dos veículos de 1.000 cm<sup>3</sup>, cobrindo mais de dois terços do mercado automotivo brasileiro em 2001 (BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010; SZKLO *et al.*, 2005).

Uma nova fase se abriu no mercado automotivo brasileiro em 2002, com incentivos tributários para veículos bicombustíveis – *flex*, que passaram a ser iguais aos dos veículos movidos a etanol, levando rapidamente à difusão do bicombustível a partir de 2003, com o lançamento de diversos carros com este tipo de motorização (BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010). Resgatando o histórico desta tecnologia, segundo Oliva *et al.* (2013), o primeiro

veículo *flex* foi apresentado nos Estados Unidos em 1991, podendo ser abastecido com álcool E85, que contém 15% de gasolina, mudando para E70 durante o inverno, em função de não possuir sistema de partida a frio. O primeiro veículo com esta tecnologia naquele país foi da General Motors, que utilizava um sensor para identificar a quantidade de álcool presente em um destes dois combustíveis, mas este tipo de motor não operava com gasolina pura (ALVES; BRANDAO, 2007). Em 1992 a Bosch apresentou ao mercado brasileiro um veículo com a tecnologia *flex*, com uso de sensor para identificar a proporção entre etanol e gasolina. Em 1998 a Magneti Marelli decidiu investir em um sistema *flex* sem o sensor adicional, baseado na estratégia de *software* da unidade de controle do motor, por meio da informação do sensor de oxigênio, de forma a evitar mudança no custo por não adicionar uma nova peça ao veículo. Este projeto foi oferecido para as grandes montadoras em 2000, que não demonstraram interesse naquele momento. Em 2002 houve uma mudança da tributação do IPI para motores *flex*, a mesmo do motor a etanol, levando ao lançamento do primeiro carro bicomcombustível em 2003, pela Volkswagen. No mesmo ano GM e Fiat lançaram veículos com motor bicomcombustível. Os principais fornecedores do sistema para injeção eletrônica no Brasil são Magneti Marelli, Bosch e Delphi (OLIVA, *et al.*, 2013). Para Bastin, Szklo e Rosa (2010), a difusão de tecnologias de sistemas de injeção eletrônica e bicomcombustível foi realizada pelos fornecedores, como Bosch e Magneti Marelli, para atender à legislação e se beneficiar dos incentivos tributários. Desde o lançamento em 2003, o veículo bicomcombustível teve ampla difusão no mercado brasileiro, conquistando mais de três quartos do mercado em 2006, e evoluindo continuamente até o patamar de 88% de participação das vendas de veículos leves, e tem se mantido nesta faixa até o momento (ANFAVEA, 2016).

O PBEV foi introduzido no mercado brasileiro em 2008 para estimular a difusão nos veículos mais simples de tecnologias presentes em modelos mais caros e importados; no entanto, este programa teve efeito em apenas uma montadora. A perspectiva de mudanças ficou na dependência de uma política com foco na eficiência energética dos automóveis (BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010), que aconteceu em 2012, com a introdução do programa Inovar-Auto (CASA CIVIL, 2012), que estabelece metas de eficiência energética que fomentam a difusão de tecnologias ambientais nos veículos.

Segundo Oshiro e Masui (2015), a difusão de tecnologias de veículos de alta eficiência, incluindo os eletrificados, permite o ajuste na matriz energética para atingir a meta de redução de GEE do Japão em 80% das emissões até 2050 (base 1990). O setor de transportes é uma das áreas com significativa contribuição para reduzir GEE por meio da difusão de tecnologias de baixo carbono. Segundo os autores, para atingir este nível deveriam

ser difundidas, de forma integrada, as tecnologias automotivas com a produção de energia renovável, como a energia solar fotovoltaica, fora dos horários de pico, para alimentação dos veículos. A difusão ocorreria até 2030 em tecnologias de veículos de alta eficiência, híbridos e híbridos *plug-in*, principalmente para o transporte de passageiro e fretes. Até 2050, a difusão da tecnologia ampliaria a participação de veículos elétricos e a células de combustível (OSHIRO; MASUI, 2015).

Dechezleprêtre, Neumayer e Perkins (2015) realizaram uma pesquisa a respeito de patentes de tecnologias para a redução de emissões automotivas, no período de 1992 a 2007. A análise relacionou as informações sobre o padrão de emissões veiculares de 72 países com patentes referentes às tecnologias para reduzir emissões dos automóveis. Para assegurar o critério de comparação foi aplicado como referência o padrão de emissões da União Europeia. No levantamento foram encontrados 183.000 registros de patentes relacionadas a tecnologias para controle de emissões automotivas. As categorias ‘injeção de combustível’ e ‘sistemas de diagnóstico a bordo’ representam, cada uma, um terço das patentes levantadas na pesquisa. A análise relatou duas linhas da literatura sobre este assunto, primeiro sobre a difusão internacional de tecnologia e, segundo, sobre a ligação entre política ambiental e a difusão transnacional. Sobre a difusão internacional de tecnologia, os autores afirmam que nas décadas de 1990 e 2000 a introdução de soluções inovadoras com foco na redução do impacto ambiental era conduzida principalmente em função do rigor regulatório. Os países pioneiros na regulamentação tendem a desenvolver novas tecnologias, atingir escalas produtivas que as viabilizem, bem como patentear e aprender com estas tecnologias. A respeito do fluxo da política ambiental e da difusão transnacional de tecnologia, o estudo identificou que estes aumentam à medida que a diferença regulatória se torna menor entre os países. A análise dos autores aponta que os países receptores de tecnologias para redução de emissões são aqueles com maior proximidade regulatória, comprovando que o elevado rigor na legislação pouco influencia a difusão de transferência tecnológica, mas sim à similaridade de regulamentação em relação ao país receptor (DECHEZLEPRÊTRE; NEUMAYER; PERKINS, 2015). A regulamentação do mercado automobilístico chinês, por exemplo, levou à difusão de tecnologias ambientais visando o aumento da eficiência energética dos veículos comercializados na China, para atender à legislação que exigia a redução de emissões de poluentes e do consumo de combustível (BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010).

A difusão de uma nova tecnologia para o mercado depende do nível da inovação. A adoção destas tecnologias normalmente é introduzida como forma de perceber o seu desempenho no mercado, e gradualmente migrar para outros modelos. Uma nova tecnologia

leva de dois a três anos para obter a percepção de desempenho no mercado, e ao menos cinco anos para se difundir por toda a frota. Este tempo pode variar em função do nível de incremento da inovação, ou se a tecnologia pertence a alguma montadora, ou se pertence a um fornecedor. Segundo Plotkin (2009), para mudanças permearem completamente o mercado deveria ser considerado um período de 10 a 12 anos, para que tecnologias existentes possam ser ajustadas e adaptadas para atender às necessidades do mercado (PLOTKIN, 2009).

O Quadro 5 apresenta as categorias de difusão da inovação ambiental, apontando os caminhos da difusão que a inovação trilha para atingir o mercado de destino da tecnologia ambiental, visando a redução das emissões automotivas.

Quadro 5 – Categorias de Difusão da Inovação Ambiental

Fatores determinantes da difusão da inovação	Elementos	Autores
Demanda de mercado	Mudança tecnológica pode ser impulsionada pelos consumidores, por meio da percepção social de um produto ambientalmente amigável que potencializa o desenvolvimento de novas tecnologias. Redução do IPI de motor de até 1.000 cm <sup>3</sup> , para veículos de menor valor.	Dijk e Yarime (2010); Bastin, Szklo e Rosa (2010);
Fornecedor	Tecnologias desenvolvidas por montadoras e difundidas pelos fornecedores, como a injeção direta Diesel (Fiat) pela Bosch.	Dijk e Yarime (2010)
Montadora	Desenvolvida pela própria montadora e difundida para as demais, como o VVT desenvolvido pela Honda (1989). Incentivos (subsídios dos fabricantes e isenção tributária do governo) para estimular a difusão de uma nova tecnologia, por exemplo, veículo elétrico e híbrido.	Dijk e Yarime (2010); Al-Alawi e Bradley (2013);
Instrumento econômico	Incentivo econômico: redução de tributação dos combustíveis para o estímulo ao uso, como o etanol. O programa Inovar-Auto promove incentivo tributário à difusão de inovação tecnológica ambiental que aumente a eficiência energética dos automóveis. Incentivo tecnológico: redução de tributos para estimular a difusão do veículo bicomcombustível - <i>flex</i> , veículos 1.000 cm <sup>3</sup> e veículos com tecnologia elétrica ou híbrida.	Bergek e Berggren (2014); Bastin, Szklo e Rosa (2010); Casa Civil (2012); Al-Alawi e Bradley, (2013);
Instrumento regulatório	Controle de emissões demanda a difusão de tecnologias para a melhoria de eficiência. Instrumentos para o uso de tecnologia específica como veículo emissão zero na Califórnia (carro elétrico). A difusão pode ocorrer por meio do modelo de tecnologia empurrada ( <i>technology-push</i> ).	Bergek e Berggren (2014); Bastin, Szklo e Rosa (2010);
Difusão transnacional	O processo de difusão ocorre entre os países, e é favorável quando existe similaridade regulatória entre os países.	Dechezleprêtre, Neumayer e Perkins (2015); Karakaya, Hidalgo e Nuur (2014)
Tempo de difusão	Uma nova tecnologia leva de 2 a 3 anos para ter a percepção de desempenho no mercado, ao menos 5 anos para difundir em toda a frota, e leva um período de 10 a 12 anos para permear em todo o mercado. O veículo a álcool foi lançado em 1979/1980, chegando em 1985 a quase 96% das vendas. A difusão em tecnologias de veículos de alta eficiência, híbrido e híbrido <i>plug-in</i> ocorreria até 2030, e até 2050 para veículos elétricos e célula de combustível. Em 1993 o IPI de veículos 1000 cm <sup>3</sup> é reduzido, atingindo uma difusão de mais de dois terços do mercado automotivo nacional em 2001. Introduzido em 2003, o veículo bicomcombustível teve ampla difusão no mercado	Plotkin (2009); Oshiro e Masui (2015); Bastin, Szklo e Rosa (2010); ANFAVEA (2016); Dijk e Yarime (2010)

	Brasileiro, com mais de três quartos do mercado em 2008, e atualmente em torno de 88%. O VVT foi lançado pela Honda em 1989 e difundido para outras montadoras, equipar 40% dos veículos gasolina, na Europa em 2005. A tecnologia de injeção direta a Diesel foi adquirida pela Bosch após 1997, e equipava 100% dos veículos Diesel na Europa em 2005.	
--	---	--

Fonte: Autor

Conforme as categorias de difusão da inovação ambiental, apresentadas no Quadro 5, a primeira forma de difusão apontada é a demanda de mercado. Nesta categoria, a necessidade do mercado gera uma demanda para novos produtos, que, uma vez desenvolvidos, apresentam ampla difusão, como o caso de motores de até 1.000 cm<sup>3</sup> e dos veículos *flex*. As inovações advindas das montadoras costumam levar mais tempo para a difusão, em função de o processo ser interno e a aplicação em outras montadoras necessitar de ajustes para adequação à tecnologia existente; já no caso de difusão pelos fornecedores o processo é mais rápido por existir a possibilidade de ela permear simultaneamente várias montadoras. Os instrumentos regulatório e econômico permitem uma homogeneização na difusão das tecnologias ambientais, por estabelecer metas que afetam todas as montadoras ao mesmo tempo, permitindo a melhora de custos pelo ganho em escala. A difusão transnacional tem ocorrido entre países com similaridade de regulamentação, por facilitar o processo de ajuste das tecnologias nos mercados receptores. E para todas estas categorias, o tempo é o fator que estabelece a taxa de difusão, que varia em função de fatores como: a origem da inovação, se montadora ou fornecedor; se existem incentivos ou subsídios para a difusão; se o custo operacional da nova tecnologia é semelhante ao padrão anterior; e o tipo de regulamentação pode influenciar no tempo de propagação da inovação (DIJK; YARIME, 2010).

#### 2.4.2 Barreiras para a difusão da inovação ambiental

A tecnologia dominante possui infraestrutura e processo produtivo estabelecidos, o que se torna uma barreira para a entrada de novas tecnologias, pois exigem novos investimentos e o risco de não cobrir o custo investido (UNRUH, 2002; DIJK; YARIME, 2010). O desenvolvimento econômico exige o uso de recursos naturais e algum tipo de degradação acaba por ser inevitável, em detrimento de novas tecnologias. O padrão tecnológico dominante exerce ampla influência sobre todo o sistema, e este permanece em função da estrutura existente, tanto de produção quanto de distribuição. As mudanças para atender a novas exigências de emissões atuam em diversos momentos com o uso de soluções de fim de tubo (*end-of-pipe*), o que proporciona a inovação incremental, mantendo a estrutura

principal da tecnologia em vigor. Para atender às exigências em função das mudanças climáticas, uma solução seria a migração do motor a combustão interna para célula de combustível, a qual seria uma continuidade para os usuários, mas uma grande mudança para os fabricantes e reparadores. A predominância tecnológica baseada no combustível fóssil leva os usuários e fabricantes a formar um bloco preso ao modelo atual, ficando os governos e diversas organizações com a incumbência da evolução da política climática. Neste contexto, a inovação tecnológica normalmente chega por meio de novas empresas do segmento, e as empresas com a tecnologia dominante tentam suprimir a nova tecnologia por meio de ampliação da sua participação de mercado. Ações tardias para ações climáticas podem levar a fenômenos indesejáveis, que forçarão a introdução de soluções emergenciais, levando a uma rápida difusão de inovações de baixo carbono (UNRUH, 2002).

A inovação incremental no motor a combustão interna tem sido suficiente para cumprir a legislação, mas retarda a chegada de novas tecnologias. O veículo com propulsão híbrida (motor a combustão interna, motor elétrico e bateria) tem se beneficiado das inovações tecnológicas dos veículos elétricos e dos motores a gasolina e Diesel. Apesar destas oportunidades para inovar na propulsão dos automóveis, existem ainda alguns fatores que bloqueiam (*lock-in*) uma evolução maior destas novas tecnologias. Para Dijk e Yarime (2010), as dependências que levam a um retardo na introdução de inovações tecnológicas são a necessidade de investimento e o elevado valor do produto em função da escala reduzida de produção. Diante deste cenário, trabalhar na inovação tecnológica ambiental incremental, com base nas tecnologias vigentes, exige menor investimento. Também devem ser observadas as preferências do público, que predominantemente identifica uma das opções de motorização a combustão interna para satisfazer suas necessidades. Outro aspecto que leva a manter as motorizações atuais é que as inovações tecnológicas ambientais para atender à legislação têm sido realizadas pela melhoria de eficiência dos motores a combustão interna. A legislação da Califórnia dos anos 1990, por exemplo, exigiu que parte da frota fosse composta de veículos emissão zero (ZEV em inglês) e ocorreram desenvolvimentos desta nova tecnologia, em especial pela Toyota no Japão. Porém, após a década de 1990, a inovação se voltou aos motores de combustão interna em função do interesse do público (DIJK; YARIME, 2010).

Para a introdução de inovações tecnológicas nos veículos brasileiros são necessárias medidas governamentais com foco no consumo de combustível. Existe a necessidade de ampliar a escala de produção, para propiciar o equilíbrio financeiro de investimentos na mudança de produtos, processo produtivo e redução do preço unitário, pelo aumento no volume destes componentes (BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010). Com base neste contexto, a

regulamentação pode proporcionar um impulso para a entrada de novas tecnologias, em função de exercer influência sobre todos os fabricantes simultaneamente, de forma a romper as barreiras causadas pelos custos de introdução destas tecnologias.

A legislação europeia sobre redução das emissões de CO<sub>2</sub> relaciona a média de emissões com o peso dos veículos. Em função dos parâmetros da legislação, a análise das mudanças das características dos veículos, entre 1995 e 2005, feita por Cuenot (2009) aponta um aumento na quantidade de veículos Diesel, no peso dos veículos e na potência dos motores. Ponderando a variação de cada parâmetro, o aumento do peso dos veículos tem superado a redução das emissões de CO<sub>2</sub>. Algumas ações governamentais levam à busca por tecnologias específicas, como veículos Diesel, e na França, o incentivo para a aquisição de veículos com baixa emissão de CO<sub>2</sub>, e que resultam em aumento da procura por veículos menores. Este tipo de estímulo com base em metas leva à procura por tecnologias existentes que emitam menos CO<sub>2</sub>, mas não incentiva a introdução de novas tecnologias para a redução mais acentuada destas emissões. O cumprimento das metas com base na legislação pode levar a um incentivo para veículos menores e mais leves, e também pode levar à oferta de modelos mais pesados para ampliar os limites de emissões. Para o autor, o cumprimento da meta se dará com a combinação de redução dos veículos, diminuição de peso, uso de tecnologia híbrida (motor a combustão e elétrico), mas ainda será necessária a introdução de tecnologias para a redução de consumo (CUENOT, 2009). O mercado europeu reorganizou a oferta de tecnologias conhecidas que puderam atender em boa parte à legislação. A meta de melhoria de eficiência energética pouco ousada atua como barreira para a chegada de novas tecnologias que reduzam a emissão de CO<sub>2</sub> de forma mais significativa.

O relatório da IVM (2006) identificou que a legislação ambiental é um importante fator de inovação, tendo a política ambiental como um dos principais indutores da inovação na redução de consumo de combustível dos automóveis, mas exige a imposição de metas ambiciosas para estimular a inovação.

Com base em diversos estudos realizados nos EUA, a economia de combustível proporcionada pela introdução de novas tecnologias não sensibiliza os consumidores para adquirir veículos com estas tecnologias, em razão do aumento no preço do produto, dificultando a difusão da inovação (PLOTKIN, 2009). A difusão de novas tecnologias baseada somente na dependência dos consumidores encontra barreiras em função do custo para aquisição de novos veículos de alta eficiência.

A indústria automobilística possui instalações adequadas para montar automóveis com as atuais tecnologias. Para Christensen (2011), a inovação radical exige altos investimentos na

estrutura de montagem e pode causar redução da capacidade de utilização das linhas de montagem. Para se ajustarem diante de novas tecnologias, algumas montadoras têm optado por modularizar subsistemas dos veículos, passando a receber de fornecedores e terceirizados módulos prontos para a montagem, mas mantendo o conhecimento dentro da montadora. O estudo aponta a necessidade de adequação das instalações de montagem para atender às novas tecnologias de veículos eletrificados com sistemas de propulsão híbrido, elétrico e célula de combustível. Estas soluções, em combinação com a geração de energia elétrica renovável, proporcionam redução das emissões de CO<sub>2</sub> (CHRISTENSEN, 2011). O investimento para o desenvolvimento de novas tecnologias automotivas, combinado com os investimentos nas linhas para a produção destes veículos, tem grande impacto no preço final do produto, que atua como barreira para a viabilidade econômica destes novos veículos.

O Quadro 6 apresenta as barreiras à difusão da inovação ambiental, apontando os elementos que dificultam o processo de difusão de novas tecnologias, potencializando a manutenção do padrão de tecnologia ambiental vigente.

Quadro 6 – Categorias de Barreiras à Difusão da Inovação Ambiental

Barreiras à difusão da inovação	Elementos	Autores
Elevado investimento	Para a produção de uma nova tecnologia existe a necessidade de investir em infraestrutura e novo processo produtivo para suportar a fabricação e aplicação do novo produto, sendo necessário atingir escala de produção. A inovação radical exige elevados investimentos na estrutura de montagem. O custo para a introdução de uma nova tecnologia pode ser a barreira, em função do prazo de retorno do investimento do novo processo produtivo.	Unruh (2002); Dijk e Yarime (2010); Bastin; Szklo e Rosa (2010); Christensen (2011)
Ampliação na participação de mercado	As empresas com tecnologia dominante aumentam a participação de mercado contra a entrada de novas tecnologias por empresas ingressantes no mercado, dificultando a difusão de novas tecnologias por oferecer a tecnologia vigente com preço atraente aos consumidores.	Unruh (2002)
Otimização no investimento	A inovação incremental exige menor investimento e favorece a difusão. A meta de eficiência pouco ousada favorece o uso de tecnologias existentes para atender à regulamentação.	Dijk e Yarime (2010); Cuenot (2009); IVM (2006)
Demanda de mercado	A procura por tecnologias conhecidas e de menor custo pelo consumidor reduz a difusão de novas tecnologias.	Dijk e Yarime (2010); Plotkin (2009);

Fonte: Autor

A inovação tecnológica ambiental promove melhorias no desempenho dos produtos, mas estas podem resultar em aumento do preço, que aparece como barreira para a difusão da inovação. A origem deste aumento de preço pode ser o novo modelo de negócio, que envolve investimentos no processo produtivo e infraestrutura, para atender à nova demanda. A característica da indústria automobilística, de usar preferencialmente a inovação incremental, desestimula a criação de tecnologia radical, que também exige maior investimento. Na ponta

final, o consumidor procura o equilíbrio entre um produto ambiental em relação ao valor incremental. Se o preço da tecnologia nova não for distante da tecnologia vigente, o produto oferece atratividade para o público, caso contrário atua como barreira da inovação.

### 3 MÉTODO DE PESQUISA

Neste módulo são apresentados a abordagem metodológica, os instrumentos de coleta de dados e a forma de análise e tratamento de dados realizados nesta pesquisa.

#### 3.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA

Segundo Berg e Lune (2004), é necessário examinar, testar e refinar a teoria, que pode ser interpretada como a interligação entre conceitos, processos ou eventos. Esta teoria deve ser construída com base em conceitos, que são elementos representados por objetos ou processos, de forma a permitir que as ideias sejam compartilhadas entre as pessoas.

Para Godoy (1995), a pesquisa qualitativa visa o levantamento de dados descritivos do ambiente que envolve a situação a ser estudada. Apesar da diversidade sobre o tema, o trabalho qualitativo considera o ambiente real de estudo, o local onde as coisas se passam, devem ser transcritos os achados de campo e documentos, procura a compreensão dos fenômenos captando o ambiente interno das situações e, por fim, utiliza o enfoque indutivo que visa a informação específica, partindo de uma investigação mais ampla.

O método utilizado foi a análise descritiva, com abordagem qualitativa dos dados para avaliar a difusão das novas tecnologias introduzidas nos automóveis brasileiros para a redução dos Gases de Efeito Estufa (GEE), especificamente o dióxido de carbono, a partir de 2016. O estudo descritivo visa obter dados e informações, de forma a compreender o ambiente em que a situação está inserida, buscando o entendimento de um processo e não de um simples resultado. A coleta de dados foi realizada por meio da pesquisa documental, buscando as novas tecnologias introduzidas nos automóveis brasileiros para a redução dos GEE. O estudo descritivo visa obter informações de campo e documentos em detalhes.

#### 3.2 INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS

O instrumento de coleta de dados é a pesquisa documental. Os dados secundários foram levantados por meio de instituições e programas, a saber: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), Programa Nacional da Racionalização do uso dos Derivados do Petróleo e Gás Natural (CONPET), Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), Associação Nacional dos Fabricantes de

Veículos Automotores (ANFAVEA) e Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

Outras fontes de referência são as instituições de outros países, como *Environmental Protection Agency (EPA)* e *California Air Resources Board (CARB)*, nos Estados Unidos, e *Directive of the European Parliament* e *Council of the European Union*, na Europa. Além da pesquisa baseada em legislação e tecnologias ambientais implementadas no Brasil, foram consultadas as bases de dados dos mercados europeu e norte-americano, no intuito de correlacionar as aplicações introduzidas localmente com aquelas provenientes das matrizes de fabricantes instalados no Brasil.

Para o levantamento das informações foi desenvolvida uma base de dados em uma planilha Excel com as principais inovações tecnológicas ambientais automotivas identificadas na revisão bibliográfica desenvolvida no referencial teórico. A base do formulário consiste em uma tabela do *site* da Petrobras/CONPET com os dados do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV) contendo as emissões de poluentes e GEE, e a classificação de consumo de combustível realizada pelo INMETRO. Foram criadas categorias para facilitar a visualização e interpretação dos dados e também adicionadas colunas contendo as tecnologias que influenciam a melhoria da eficiência energética.

A estrutura da base de dados está subdividida em seis categorias: dados relacionados à identificação do veículo; tecnologias que influenciam o consumo de combustível; consumo de combustível de cada veículo; eficiência energética; classificação do PBEV; e poluentes emitidos.

A primeira categoria, ‘identificação do veículo’, engloba as principais características dos veículos, como: (1) categoria, como o porte e atributos do veículo; (2) marca, que é o fabricante; (3) modelo do veículo; (4) motor que equipa o veículo; e (5) versão, que é uma variante do modelo do veículo.

A segunda categoria, proveniente do referencial teórico e da própria tabela do INMETRO, trata das ‘tecnologias com influência no consumo’: (6) tipo de transmissão (transmissão continuamente variável - AHMAN, 2001; DIFIGLIO, 1997; TAYLOR, 2008; SIMMONS *et al.*, 2015; BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010; transmissão automatizada – TAYLOR, 2008) e número de velocidades; (7) se possui ar condicionado; (8) se é equipado com direção assistida (NRC, 2015); (9) combustível (ZAPATA; NIEUWENHUIS, 2010; OLTRA; SAINT JEAN, 2009; DIFIGLIO, 1997; BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010); (10) quantidade de cilindros (TAYLOR, 2008; ZAPATA; NIEUWENHUIS, 2010; POSADA; FAÇANHA, 2015; BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010; PLOTKIN, 2009; SIMMONS *et al.*,

2015; NRC, 2015); (11) quantidade de válvulas por cilindro (ZAPATA; NIEUWENHUIS, 2010); (12) se o motor é (A) Aspirado ou (T) Turbocompressor (ZAPATA; NIEUWENHUIS, 2010; TAYLOR, 2008; POSADA; FAÇANHA, 2015; BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010; PLOTKIN, 2009; SIMMONS *et al.*, 2015) ou (C) com Compressor volumétrico; (13) se possui comando de válvula variável (ZAPATA; NIEUWENHUIS, 2010; GÖLCÜ *et al.*, 2005; FONTANA; GALLONI, 2009; AHMAN, 2001; DIJK; YARIME, 2010; PLOTKIN, 2009; SIMMONS *et al.*, 2015; BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010; TAYLOR, 2008; POSADA; FAÇANHA, 2015); e (14) tipo de alimentação, podendo ser (D) Injeção direta (DIFIGLIO, 1997; TAYLOR, 2008; DIJK; YARIME, 2010; PLOTKIN, 2009; SIMMONS *et al.*, 2015; BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010; POSADA; FAÇANHA, 2015) ou (I) Injeção indireta.

Dentre os 28 itens da tabela, as colunas de 10 até 14, que são as tecnologias ambientais, foram adicionadas à tabela do INMETRO, pois constituem o objeto deste estudo, para análise sobre a contribuição para a redução do consumo de combustível e de emissões de GEE. Para a criação de categorias, a sequência original da tabela também foi reorganizada, portanto difere do modelo original disponível no *site*.

A terceira categoria está relacionada ao ‘consumo’, expressa em quilometragem por litro: etanol, (15) cidade e (16) estrada; gasolina, (17) cidade e (18) estrada.

A quarta categoria apresenta dados da ‘eficiência energética’ com os parâmetros de: gramas por quilômetro (g/km) para CO<sub>2</sub> de combustível: (19) etanol e (20) gasolina; (21) consumo energético em MJ/km.

A quinta categoria é sobre a ‘classificação’ do PBEV (Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular) com notas de A até E, e dividida em (22) comparação relativa na categoria, e (23) comparação absoluta geral, esta última englobando todas as categorias; e (24) o selo CONPET de eficiência energética.

A sexta e última categoria está relacionada aos ‘poluentes’, que são as emissões de gases tóxicos do escapamento: (25) NMHC (hidrocarboneto não metano) em g/km; (26) CO em g/km; (27) NOx em g/km; e (28) redução relativa ao limite, com classificação de uma a três estrelas.

As categorias e seus respectivos subitens são apresentados no Quadro 7. Além dos dados do PBEV do INMETRO, foram adicionadas colunas contendo as tecnologias para melhoria de eficiência energética, que estão em destaque dentro do quadro vermelho. Os dados de fabricantes e respectivos modelos, versões e parâmetros específicos foram modificados para não serem identificadas as marcas e modelos dos veículos.

Quadro 7 – Tabela de coleta de dados com as tecnologias ambientais

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Categoria	Veículo	Marca	Modelo	Motor	Versão	Tecnologias com influência no consumo			Consumo			Eficiência Energética			Classificação		Poluentes										
						Transmis. Veloc. (nº)	AC	Direção Assistida	Consumo		Consumo Energético (MJ/km)			Classificação PBE	seio CONPET de Eficiência Energética	NMHC (g/km)	CO (g/km)	NOx (g/km)	Redução Relativa ao Limite								
						Manual (M) Automática (A) Automática Dupla Embreagem (DCT) Automatizada (MTA) Contínua (CVT)	Sim (S) Não (N)	Hidr. (H) Mec. (M) Elétrica (E) Eletro-hidr. (E-H)	Comb. (E) Gasol. (G) Flex (F)	Etanol (km/l) Gasolina (km/l)	Etanol (g/km) CO <sub>2</sub> fóssil (g/km) CO <sub>2</sub> fóssil (g/km)	Etanol (g/km) CO <sub>2</sub> fóssil (g/km) CO <sub>2</sub> fóssil (g/km)	Etanol (g/km) CO <sub>2</sub> fóssil (g/km) CO <sub>2</sub> fóssil (g/km)														
COMPACTO MÉDIO	C 21	CC	Y	M-5	S	E	F	3	4	A	S	I	6	7	8	9	0	111	1,8	A	A	SIM	0,022	0,333	0,018	A	
	N 40	CC	Y	M-5	S	H	F	3	4	A	S	I	6	7	8	9	0	111	1,8	A	A	SIM	0,022	0,333	0,018	A	
	K 28	FF	Y	M-5	S	E	F	4	4	A	S	I	6	7	8	9	0	111	1,8	A	A	SIM	0,022	0,333	0,018	B	
	I 19	CC	Y	M-5	S	H	F	4	4	A	N	I	6	7	8	9	0	111	1,8	A	A	SIM	0,022	0,333	0,018	B	
	K 29	FF	Y	M-5	S	E	F	4	4	A	S	I	6	7	8	9	0	111	1,8	A	A	SIM	0,022	0,333	0,018	A	
	A 16	EE	Y	M-5	S	E	F	4	2	A	N	I	6	7	8	9	0	111	1,8	A	A	SIM	0,022	0,333	0,018	A	
	N 32	CC	Y	M-5	S	E	F	3	4	A	S	I	6	7	8	9	0	111	1,8	A	A	SIM	0,022	0,333	0,018	A	
	B 11	CC	Y	M-5	S	H	F	4	2	A	N	I	6	7	8	9	0	111	1,8	A	A	SIM	0,022	0,333	0,018	A	
	F 24	EE	Y	M-5	S	E	F	4	4	A	S	I	6	7	8	9	0	111	1,8	A	A	SIM	0,022	0,333	0,018	A	
	F 23	EE	Y	M-5	S	E	F	4	4	A	S	I	6	7	8	9	0	111	1,8	A	A	SIM	0,022	0,333	0,018	A	
	L 3	EE	Y	M-5	S	E	F	4	2	A	N	I	6	7	8	9	0	111	1,8	A	A	SIM	0,022	0,333	0,018	A	
	L 1	EE	Y	M-5	S	E	F	4	2	A	N	I	6	7	8	9	0	111	1,8	A	A	SIM	0,022	0,333	0,018	A	
	J 9	CC	Y	M-5	S	H	F	3	4	A	S	I	6	7	8	9	0	111	1,8	A	A	SIM	0,022	0,333	0,018	A	
	B 4	CC	Y	M-5	S	H	F	4	2	A	N	I	6	7	8	9	0	111	1,8	A	A	SIM	0,022	0,333	0,018	A	
	E 48	DD	Y	M-5	S	H	F	4	2	A	N	I	6	7	8	9	0	111	1,8	A	A	SIM	0,022	0,333	0,018	A	
	E 33	DD	Y	M-5	S	H	F	4	2	A	N	I	6	7	8	9	0	111	1,8	A	A	SIM	0,022	0,333	0,018	A	
	C 21	EE	Y	M-5	S	E	F	4	4	A	N	I	6	7	8	9	0	111	1,8	A	A	SIM	0,022	0,333	0,018	A	
	B 17	FF	Y	M-5	S	E	F	4	4	A	S	I	6	7	8	9	0	111	1,8	A	A	SIM	0,022	0,333	0,018	A	
	C 37	DD	Y	M-5	S	H	F	4	2	A	N	I	6	7	8	9	0	111	1,8	A	A	SIM	0,022	0,333	0,018	A	
	N 36	FF	Y	M-5	S	H	F	4	2	A	N	I	6	7	8	9	0	111	1,8	A	A	SIM	0,022	0,333	0,018	A	

Fonte: Autor “adaptado de” Petrobras/CONPET (2016)

A classificação dos veículos os divide em leves e pesados. Os veículos leves são automóveis (com capacidade até oito pessoas, com o condutor), utilitários, ciclomotor, motoneta, motocicleta, triciclo, quadriciclo, caminhonete e camioneta (para transporte de carga até 1500 kg), que tenham peso bruto total (PBT) inferior ou igual a 3.500 kg, e reboques com PBT até 750 kg. Enquadram-se como veículos pesados ônibus (acima de 20 passageiros), micro-ônibus (até vinte passageiros), caminhão (para transporte de carga superior a 1.500 kg), caminhão-trator, trator de rodas, trator misto, chassi-plataforma, motor-casa, reboque (com PBT acima de 750 kg) ou semirreboque e suas combinações (CONTRAN, 2011).

A política de incentivo oferecida pelo INOVAR-AUTO utiliza como métrica de eficiência energética o consumo em megajoules por quilômetro (MJ/km), com base no peso do veículo. Apesar de pouco comum, o uso de MJ/km independe do tipo de combustível. A avaliação de consumo tem como alvo os veículos que serão vendidos em 2017, considerando o consumo médio de energia dos veículos. O cálculo de consumo energético aplicado para a frota brasileira multiplica o valor em  $\text{gCO}_2/\text{km}$  *CAFE* pela densidade energética da gasolina E22 (MJ/l) e divide pela emissão de  $\text{gCO}_2/\text{l}$ , resultando na conversão dos valores de  $\text{CO}_2$  para MJ/km. (POSADA; FAÇANHA, 2015).

O objeto deste estudo são os automóveis, classificados como veículos leves. O item 1 da tabela está relacionado à categoria dos veículos, que tem como base a área ou uso, e que os classifica da seguinte forma: micro-compactos são veículos de passageiros, com área inferior a  $6,0 \text{ m}^2$  (mais ou menos  $0,10 \text{ m}^2$ ); subcompactos são veículos de passageiros, com área entre  $6,0$  e  $6,5 \text{ m}^2$  (mais ou menos  $0,10 \text{ m}^2$ ); compactos são veículos de passageiros, com área entre  $6,5$  e  $7,0 \text{ m}^2$  (mais ou menos  $0,10 \text{ m}^2$ ); médios são veículos de passageiros, com área entre  $7,0$  e  $8,0 \text{ m}^2$  (mais ou menos  $0,10 \text{ m}^2$ ); grandes são veículos de passageiros, com área entre  $8,0$  e  $8,5 \text{ m}^2$  (mais ou menos  $0,10 \text{ m}^2$ ); extra-grandes são veículos de passageiros, com área superior a  $8,5 \text{ m}^2$  (mais ou menos  $0,10 \text{ m}^2$ ); esportivos com até quatro assentos, potência mínima de 140 kW (aproximadamente 190 cv), relação mínima de 75 kW/1000 kg e aceleração de 50 a 61 km/h em no máximo em 20 m; fora-de-estrada, possuem tração nas quatro rodas e ao menos quatro características relacionadas a ângulo de ataque de  $25^\circ$ , ângulo de saída de  $20^\circ$ , ângulo de transposição de rampa de  $14^\circ$ , altura livre entre os eixos de 200 mm e sob os eixos de 180 mm; comerciais leves, exceto aqueles com características de fora-de-estrada, derivados ou não de veículos leves, com massa total até 3.856 kg, e peso em ordem de marcha de até 2.720 kg, para transporte de carga ou até 12 passageiros; picapes, com os mesmos limites de carga do comercial leve, e não derivado de veículo leve de passageiros, para o transporte de carga e passageiros, dotados de caçamba; utilitários esportivos compactos, veículos de

transporte de passageiros, com área inferior a  $8,0 \text{ m}^2$  (mais ou menos  $0,10 \text{ m}^2$ ) e características de ângulos e alturas semelhantes aos fora-de-estrada; utilitários esportivos grandes, com os mesmos atributos do anterior, mas com área superior a  $8,0 \text{ m}^2$  (mais ou menos  $0,10 \text{ m}^2$ ); minivans, para transporte de carga ou passageiros, com três ou mais fileiras de bancos e capacidade entre 6 e 12 passageiros, incluindo o motorista; veículos de carga derivados de veículos de passageiros, para o transporte de carga. A área do veículo é o produto da largura pelo comprimento, desconsiderando saliências de para-choques, pneu sobressalente (externo) e retrovisores externos (MDIC, 2008; MDIC, 2011; MDIC, 2013; MDIC, 2016). A faixa de tolerância é criticada por montadoras com menor quantidade de modelos, em função de permitir alterar a categoria do veículo com área na faixa de tolerância, podendo, assim, enquadrar o modelo na categoria que apresentar melhor classificação (BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010).

A tabela do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV) do INMETRO tem informações sobre o consumo dos veículos em quilômetros por litro de combustível (etanol e gasolina); as emissões de poluentes e de  $\text{CO}_2$ , GEE, expressa em gramas por quilômetro rodado; e o consumo energético, em MJ/km (Megajoules por quilômetro). Os acessórios e dispositivos, como ar condicionado e direção assistida, influenciam o consumo dos veículos, e por esse motivo devem fazer parte dos itens declarados do modelo participante do PBEV, especialmente os veículos com participação de vendas superior a 33% (MDIC, 2011)

Como forma de divulgar ao público em geral estas informações, o PBEV disponibilizou um aplicativo (Figura 7) CONPET para *smartphone*, com os dados sobre consumo e emissões dos veículos participantes do programa, permitindo fazer filtros por marca, modelo e categoria.

Figura 7 – Telas do aplicativo de celular do PBEV



Fonte: Petrobras/CONPET, 2014

O processo de medição para a determinação da eficiência energética, a qual definirá a classificação de “A” a “E”, sendo “A” a melhor classificação, se inicia com os resultados da medição de consumo (km/l), seguido pelo cálculo de consumo de energia em MJ/km. Os valores de densidade energética são de 28,99 MJ/l para gasolina (E22) e 20,99 MJ/l para o etanol (E100). Para cada categoria de veículos é determinada a mediana do consumo energético, e a cada veículo serão atribuídos valores em relação à mediana. A seguir, o intervalo dos desvios em relação à mediana, é dividido em quatro quartis (Q1 a Q4). Com base nos valores dos quartis são calculados os limites estatísticos superiores e inferiores. O intervalo entre a mediana e cada limite é dividido em cinco faixas iguais. A classificação por categoria fica estabelecida pela classe “C” para as faixas acima e abaixo da mediana. A partir desta referência, as faixas logo acima compõem a classe “B” e acima desta a classe “A”, com a melhor eficiência. Da mesma forma, logo abaixo da classe “C” está a classe “D” seguida pela classe “E”, com a menor eficiência. (MDIC, 2011).

O levantamento de dados secundários deste estudo inclui veículos nacionais com motorização com ignição por centelha, abastecidos com gasolina E22 (gasolina A mais etanol anidro), etanol hidratado ou ambos os combustíveis (tecnologia *flex fuel*), fabricados a partir de 2016 no Brasil e na Argentina, participantes do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular 2016. A Argentina foi considerada neste estudo por produzir veículos desenvolvidos para o mercado brasileiro, e, em muitos casos, o próprio desenvolvimento destes veículos é feito no Brasil. Os veículos produzidos em outras localidades não fazem parte deste estudo em função de utilizarem tecnologias para atender a mercados com diferentes níveis restritivos de emissões, o que pode distorcer a análise da difusão tecnológica ambiental no Brasil. A análise da frota completa fica como proposta para um estudo futuro.

Os países e regiões contemplados neste estudo foram Estados Unidos, Europa, Japão, China e Coreia do Sul. A escolha se deu em função de estes países sediarem as matrizes das montadoras instaladas no Brasil.

Os veículos movidos a Diesel foram excluídos porque este tipo de motor tem algumas diferenças tecnológicas em relação ao ciclo Otto, além de as emissões também possuírem componentes e proporções diferentes dos motores por centelha. Outro fator é que esta motorização não é liberada para veículos de passeio, somente para comerciais leves ou veículos maiores. Por não fazer parte dos combustíveis avaliados pelo PBEV, os veículos movidos a GNV (Gás Natural Veicular) também não fizeram parte deste estudo.

Assim, a base de dados foi baixada do *site*, que contém 816 versões de veículos participantes do PBEV. Seguindo os critérios para a seleção da amostra, foram retirados os modelos importados e movidos a Diesel, ficando 369 versões de veículos para a análise.

Os dados de motorização trazem informações sobre o tamanho do motor (capacidade volumétrica), que tem relação com o volume de emissões, devido ao método de medição do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), expresso em gramas por quilômetro rodado. Outro aspecto é a existência de tecnologia específica na motorização que atue na eficiência energética, como, por exemplo, o sistema de sobrealimentação (turbocompressor ou compressor volumétrico) que melhora o rendimento térmico, otimizando as emissões dos motores.

Além da motorização, a dinâmica veicular também pode contribuir para a eficiência energética final. A aplicação de materiais mais leves, e a redução do tamanho de alguns componentes, entre outras soluções, têm sido utilizadas com foco na redução de peso dos automóveis, o que diminui o consumo de combustível. Este estudo levou em consideração as tecnologias do sistema de propulsão que incluem o motor e a transmissão. As demais tecnologias com influência na eficiência energética eventualmente são citadas, mas não foram avaliadas ou aprofundadas nas discussões, como, por exemplo, o peso do veículo (peso em ordem de marcha).

### 3.3 TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

A análise foi realizada com base na redução do volume de emissões de dióxido de carbono (gramas por quilômetro) dos veículos leves, relacionando-a à inovação tecnológica ambiental aplicada para atingir a otimização da emissão por quilômetro rodado. As tecnologias ambientais introduzidas no Brasil, com foco no aumento da eficiência e otimização energética, foram comparadas às tecnologias utilizadas nos Estados Unidos, Europa e nos principais mercados asiáticos.

Segundo Bardin (2009), para o tratamento dos dados é necessário codificá-los para se obter uma representação das suas características. A categorização principal contempla a classificação por conjuntos e reagrupamentos, conforme os critérios definidos no referencial teórico. Assim, os dados relacionados à identificação do veículo, tecnologias que influenciam o consumo de combustível, o consumo de combustível de cada veículo, a eficiência energética, a classificação do PBEV, e os poluentes emitidos foram agrupados e tratados em subcategorias de análise.

Esses resultados são apresentados em tabelas e gráficos, para condensar e categorizar o material de estudo, permitindo a análise mais acurada dos dados. A análise foi feita por meio de filtros na planilha Excel, e os valores encontrados foram transferidos para outro arquivo Excel, gerando tabelas e respectivos gráficos. Cada análise de dados foi feita em uma aba, distribuídas pelos seguintes temas: comparativo por classificação relativa do PBEV, comparativo por classificação absoluta geral do PBEV, tecnologia por categoria de veículo, tecnologias específicas como *downsizing* e VVT, e, por último, os veículos sem ar condicionado.

Os resultados obtidos, provenientes do formulário utilizado para a análise qualitativa deste estudo, foram divulgados em valores percentuais, agregados por tecnologias, sem apresentar dados específicos, visando evitar a divulgação não intencional sobre determinado fabricante, modelo ou tecnologia.

Para Bardin (2009), a análise qualitativa permite deduções sobre um assunto ou inferências específicas. Podem ser reduzidas a categorias para os tópicos com maior frequência, destacando aqueles com valores relevantes. Os elementos com menor nível de pertinência não devem ser descartados até que se tenha a compreensão completa do tema.

A forma de análise dos resultados deve ser fundamentada com base nas evidências, juntando dados primários, secundários e observações, permitindo a convergência entre as fontes. Os resultados da pesquisa documental e registros foram triangulados, para que a análise documental e seu conteúdo permitissem criar relações e evidências, segundo Yin (2005). Os resultados encontrados devem ser confrontados com o modelo conceitual, visando compreender o fenômeno e tirar conclusões.

## 4 RESULTADOS DA PESQUISA

Neste capítulo são apresentados os resultados da pesquisa documental realizada com os dados de veículos do Programa Brasileiro de Etiquetagem veicular (PBEV) do INMETRO/CONPET, e comparados com as tecnologias automotivas para a redução de emissões de GEE discutidas no referencial teórico.

### 4.1 A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA COMO DETERMINANTE NA ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS AMBIENTAIS AUTOMOTIVAS

Esse item discute a influência da legislação na implementação de tecnologias nos automóveis para a redução de gases tóxicos e GEE, melhoria de eficiência energética e redução das emissões de CO<sub>2</sub>.

#### 4.1.1 Redução de emissões tóxicas em veículos leves fabricados no Brasil

Desde a criação do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), em 1986, diversas inovações tecnológicas foram introduzidas nos automóveis visando a redução do impacto ambiental por meio do controle dos poluentes. Este programa acompanha as necessidades do mercado brasileiro em relação ao controle de poluentes, evoluindo continuamente com o intuito de melhorar a qualidade do ar de forma a beneficiar a saúde pública.

O Quadro 8 apresenta o resumo das mudanças tecnológicas dos veículos leves para atender aos níveis de emissões estabelecidos em cada etapa do PROCONVE, bem como as duas fases de implementação do sistema de monitoramento de emissões OBDBr.

Quadro 8 –Tecnologias introduzidas nos automóveis por fase do PROCONVE, veículos leves

Fases da Legislação	Ano	Objetivo	Tecnologias
PL-1	1988	Controle de emissão evaporativa	Controle de emissão evaporativa e melhoria no avanço de ignição
PL-2	1992	Controle de emissões de escapamento	Carburador eletrônico, injeção eletrônica e catalisador.
PL-3	1997	Redução de CO	Controle eletrônico do motor para formação de mistura e sensor de oxigênio.
PL-4	2005	Redução de HC e NOx	Melhoria da câmara de combustão e dos injetores e aumento da pressão de combustível
OBDBr-1	2007	Primeira fase	Lâmpada Indicadora de Mau Funcionamento (LIM)
PL-5	2009	Redução de HC e NOx	Otimizações análogas à fase PL-4

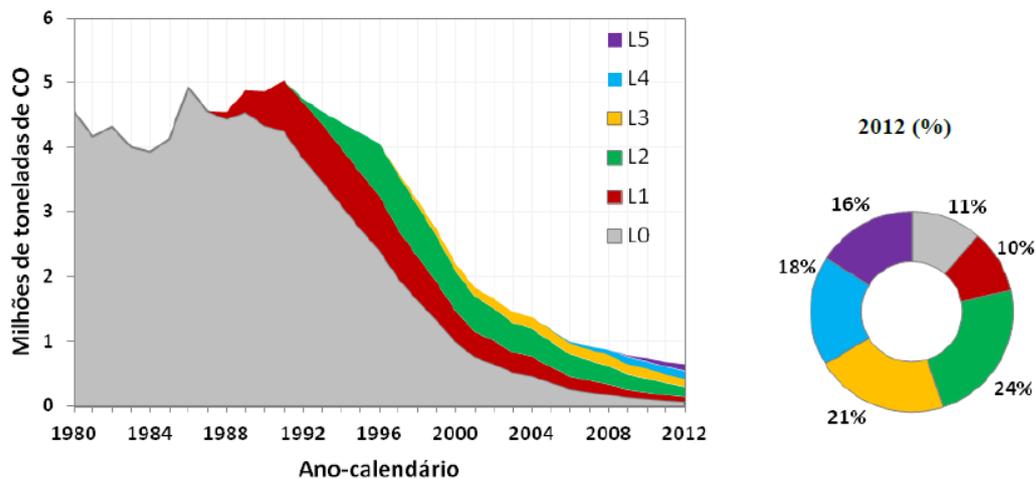
OBDBr-2	2010	Monitoramento eletrônico das emissões a bordo	Sensor de oxigênio pós-catalisador (segundo sensor de oxigênio)
---------	------	---	---

Fonte: Autor

Nota: Elaborado com base em MMA, 2013 e CONAMA, 2004

A Figura 8 mostra a evolução das reduções das emissões de CO por automóveis e veículos comerciais leves do ciclo Otto, da frota nacional, por fase do PROCONVE. Os valores são em milhares de toneladas de CO, com destaque para a distribuição porcentual em 2012 das emissões de cada fase do PROCONVE, e mostram a redução desde o início do PROCONVE Fase L-2, mas com queda mais significativa a partir da Fase L-3 em 1997.

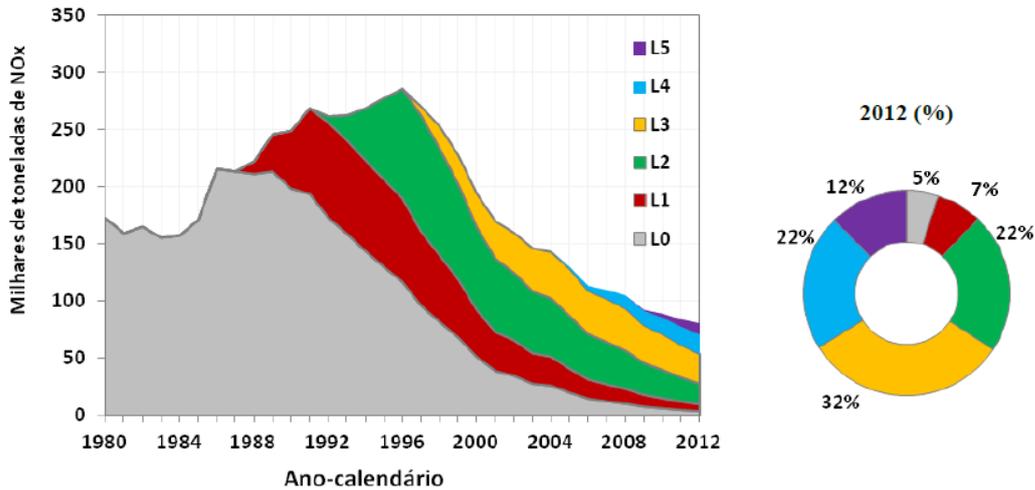
Figura 8 - Emissões de CO por automóveis e veículos comerciais leves do ciclo Otto, por fase do PROCONVE



Fonte: MMA, 2013

A Figura 9 mostra a evolução das reduções das emissões de NOx por automóveis e veículos comerciais leves do ciclo Otto, da frota nacional, por fase do PROCONVE. Os valores são em milhares de toneladas de NOx, com destaque para a distribuição porcentual em 2012 das emissões de cada fase do PROCONVE, e mostram a redução a partir de 1997, como resultado da introdução da Fase L-3.

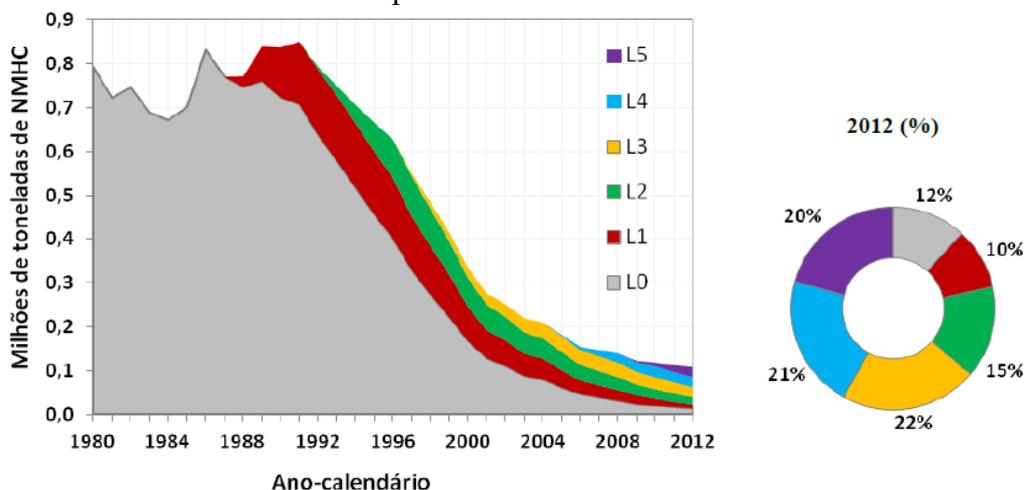
Figura 9 - Emissões de NOx por automóveis e veículos comerciais leves do ciclo Otto por fase do PROCONVE



Fonte: MMA, 2013

A Figura 10 mostra a evolução das reduções das emissões de NMHC (hidrocarbonetos não metano) por automóveis e veículos comerciais leves do ciclo Otto, da frota nacional, por fase do PROCONVE. Os valores são em milhares de toneladas de NMHC, com destaque para a distribuição percentual em 2012 das emissões de cada fase do PROCONVE, e na figura pode ser observada a redução destas emissões a partir de 1992, como resultado da introdução da Fase L-2.

Figura 10 - Emissões de NMHC (hidrocarbonetos não metano) por automóveis e veículos comerciais leves do ciclo Otto por fase do PROCONVE



Fonte: MMA, 2013

O PROCONVE tem acompanhado a evolução tecnológica dos veículos brasileiros há três décadas, contribuindo para a redução das emissões de gases tóxicos. A primeira fase para veículos leves, L-1, introduziu o controle de emissões evaporativas, com tecnologias para

controlar os sistemas de alimentação de combustível, incluindo o tanque e as tubulações. Nas fases L-2 e L-3 os automóveis receberam melhorias significativas quanto ao controle de mistura, incluindo o sistema de injeção eletrônica e catalisador, tecnologias difundidas pelos fornecedores. Nas fases L-4 e L-5, os motores receberam melhorias em componentes internos, aprimoramentos desenvolvidos pelas montadoras. Além da motorização, alguns componentes foram aprimorados com o intuito de reduzir as emissões de NOx e HC, como os injetores e catalisador. Com estas tecnologias introduzidas nos veículos ao longo destas fases do PROCONVE, o objetivo de reduzir as emissões de gases tóxicos e melhorar as condições de saúde da população vem sendo cumprida. A fase L-6, de 2014 e 2015, levou novamente à difusão de tecnologias para a redução do CO e NOx, e o PROCONVE continua com o programa de aprimoramento e monitoramento contínuo das emissões dos automóveis.

O Brasil inaugurou o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores, o PROCONVE, em 1986, enquanto a Europa introduziu a legislação Euro em 1992, com a primeira fase (Euro 1), evoluindo para outras etapas de redução das emissões de gases tóxicos, com a difusão de tecnologias para controle das emissões. Nos Estados Unidos, o controle de emissões de gases tóxicos teve início na década de 1960, culminando na Emenda do Ar Limpo (*US CAAA - US Clean Air Act Amendment*), que resultou na efetivação da redução de gases tóxicos, CO, HC e NOx, em 1975 (BERGEK; BERGGREN, 2014). Neste período foram patenteadas diversas tecnologias para a redução destes gases tóxicos, o que levou à difusão de tecnologias para reduzir emissões automotivas, por meio da legislação, para outros países como o Brasil.

Como exemplo dos efeitos da legislação, o Quadro 9 resume as principais tecnologias introduzidas nos veículos a gasolina na Europa, para atender à legislação sobre controle de emissões de gases tóxicos.

Quadro 9 – Tecnologias introduzidas em cada fase da legislação de emissões na Europa

Fase da Legislação	Ano	Tecnologias
Euro 1	1992	Injeção eletrônica de combustível multiponto ( <i>MPFI</i> em inglês) e catalisador de três vias (CTV)
Euro 2	1996	<i>MPFI</i> e CTV
Euro 3	2000	<i>MPFI</i> , CTV e segundo sensor de oxigênio
Euro 4	2005	<i>MPFI</i> , CTV e segundo sensor de oxigênio
Euro 5	2010	<i>MPFI</i> , CTV, segundo sensor de oxigênio e melhoria no catalisador

Fonte: Kousoulidou *et al.*, 2008

Para assegurar a introdução de novas tecnologias nos veículos brasileiros, a indústria local passou a receber investimentos para atender à nova demanda. As mudanças incluem o

desenvolvimento de novas especialidades e P&D no Brasil, e a produção local de componentes e conjuntos que antes eram importados, visando atingir o volume de produção para as tecnologias de injeção eletrônica, catalisador e componentes relacionados ao controle de emissões. Antes de 1992 os veículos tinham o sistema de carburação (sistema mecânico) para o controle de mistura, mas, desde 1997, todos os veículos ciclo Otto (ignição por centelha) passaram a sair de fábrica com injeção eletrônica e catalisador (IBAMA, 2011). Para atender aos limites de emissões de poluentes exigidos pela legislação, uma ampla difusão tecnológica ocorreu no Brasil no setor automotivo, criando parques industriais e infraestrutura para suprir a demanda do mercado nacional.

#### **4.1.2 Aumento de eficiência energética para a redução de GEE em veículos leves fabricados no Brasil**

Em 2012 o programa INOVAR-AUTO estabeleceu metas para os fabricantes quanto à utilização de componentes locais na produção de automóveis, investimento nacional em pesquisa em desenvolvimento, investimento em capacitação tecnológica, e adesão ao Programa de Etiquetagem Veicular. Todas estas metas, iniciadas em 2013, deverão ser cumpridas na sua totalidade até o ano de 2017. Para 2016, as montadoras precisam comprovar os gastos com pesquisa e desenvolvimento de, no mínimo, 0,5% das vendas de bens e serviços (descontados os impostos), e também devem investir 1,0% em engenharia, tecnologia industrial e capacitação de fornecedores. Neste ano também precisam aderir ao PBEV em no mínimo 81% dos modelos. Estas metas permitem aos fabricantes reduzir o impacto no IPI em 30%. O investimento em pesquisa e desenvolvimento exige a obtenção de conhecimento necessário para assegurar a viabilidade de novos processos e sistemas inovadores, deve agregar novas funcionalidades aos produtos e processos que tragam melhorias incrementais, e ganhos que aumentem a competitividade no mercado. A redução tributária tem validade do início de 2013 até o fim de 2017. O não cumprimento implicará no cancelamento da habilitação e a cobrança do IPI. Além das exigências citadas, ainda existe a meta de melhoria da eficiência energética, a ser cumprida a partir de primeiro de outubro de 2016, sendo um valor obrigatório do programa, com dois patamares opcionais que permitem a redução no IPI de 1 ou 2% (CASA CIVIL, 2012).

A publicação deste decreto levou a indústria automotiva a investir em P&D visando atender à nova demanda de aumento da eficiência energética e redução de CO<sub>2</sub> dos veículos. Para esta nova meta, os veículos necessitam receber novas tecnologias e algumas já

conhecidas, mas que não se justificavam em função do custo para os modelos mais simples. Apesar de voluntária, a não adesão ao programa INOVAR-AUTO implica a incidência de tributos nos veículos que tornam o valor elevado, se comparado a outra montadora participante que cumpra os requisitos do programa.

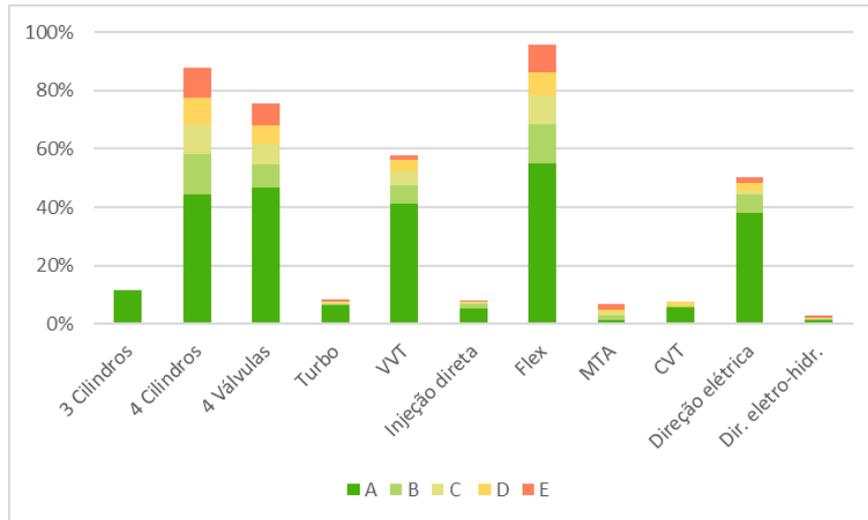
O sistema *flex* trabalha com dois combustíveis em um motor, mas tecnicamente necessita de condições internas diferentes para cada combustível. Como novo desafio para motores bicombustível, o decreto 8.544 de 2015 altera o programa INOVAR-AUTO e estabelece que a relação de consumo de combustível entre o etanol hidratado (E100) e a gasolina (E22) seja superior a setenta e cinco por cento, mas sem a redução de eficiência energética da gasolina. Esta nova demanda exigirá o desenvolvimento e introdução de tecnologias ambientais para que o motor possa operar com novos sistemas ou dispositivos que atendam à condição ideal de funcionamento para cada combustível.

## 4.2 TECNOLOGIAS AMBIENTAIS PARA REDUÇÃO DE GEE NA FROTA BRASILEIRA

Os Gráficos 1 a 7 comparam as tecnologias para a redução de GEE de veículos com ar condicionado participantes do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular – PBEV.

O Gráfico 1 apresenta a distribuição das tecnologias automotivas para redução de GEE. As cinco cores do Gráfico 1 representam as cinco classificações, A, B, C, D e E do PBEV, que indicam a eficiência energética para cada versão de veículo, divididos por categoria. A base de cálculo considera os veículos 2016, produzidos no Brasil e Argentina, participantes do programa, com motor ciclo Otto (ignição por centelha). Os veículos pertencem a 13 categorias e cada um está classificado de acordo com a eficiência energética. O veículo com a melhor eficiência da categoria tem classificação A, e abaixo ficam os modelos com menor eficiência, distribuídos entre as demais B, C, D e E.

Gráfico 1 – Comparação das tecnologias automotivas de redução de GEE com a classificação do PBEV 2016

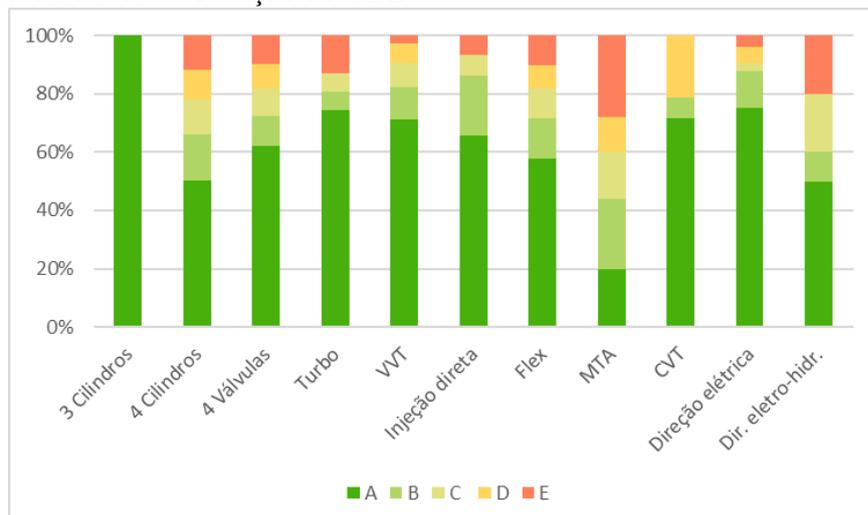


Fonte: Autor

As versões oferecidas para o mercado brasileiro, historicamente, são de motores quatro cilindros, mas os motores com três cilindros começam a fazer parte do cenário automotivo para atender aos objetivos de redução de GEE. Outros pontos de destaque são o veículo bicomcombustível (*flex*), com participação superior a 90%, e o uso da tecnologia de comando de válvulas variável (VVT), cada vez mais presente nos veículos nacionais. Os motores equipados com turbocompressor e injeção direta de combustível ainda apresentam uma tímida participação no leque de opções de veículos.

O Gráfico 2 apresenta a proporção das tecnologias dentro de cada uma das cinco classificações do PBEV.

Gráfico 2 – Distribuição da classificação do PBEV 2016 pelo total de veículos, por tecnologias automotivas de redução de GEE

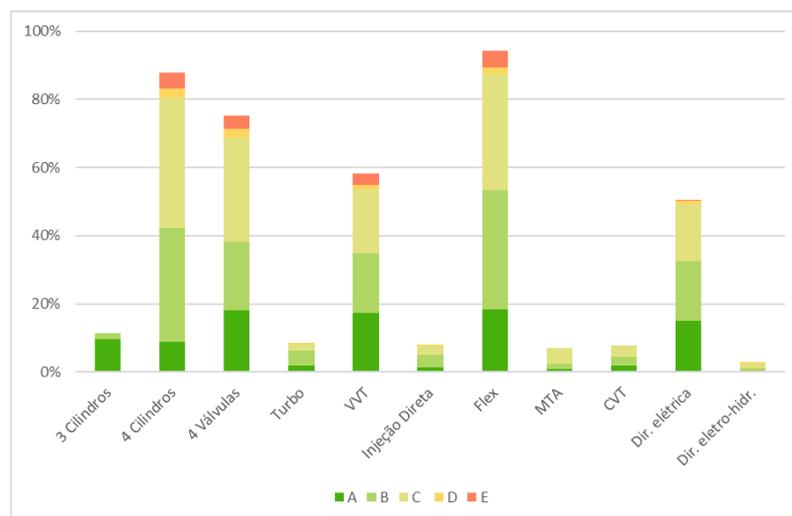


Fonte: Autor

O Gráfico 2 tem o intuito de ampliar a percepção da proporção de cada tecnologia em relação às cinco classificações do PBEV. O Gráfico 1 oferece uma visão do volume de cada tecnologia nos veículos nacionais, enquanto o Gráfico 2 mostra a proporção de cada tecnologia nas classificações. Observando as proporções de turbocompressor, injeção direta de combustível e 3 cilindros, por exemplo, no Gráfico 2 estas tecnologias apresentam uma participação expressiva na classificação A, chegando a 100% no caso de motores de 3 cilindros.

O Gráfico 3 apresenta a distribuição das tecnologias automotivas para redução de GEE, comparando os veículos com base na classificação absoluta geral do PBEV, divididos em cinco classificações, de A a E, o que representa todos os veículos sem separação por categoria, somente em função da eficiência energética. Essa classificação do INMETRO ordena os veículos independentemente do tamanho ou peso, ou seja, um veículo de duas toneladas será classificado na mesma escala de um veículo de uma tonelada. Como as emissões de CO<sub>2</sub> têm relação com o peso do veículo, o modelo mais leve tende a levar vantagem.

Gráfico 3 – Comparação das tecnologias automotivas de redução de GEE com a classificação geral do PBEV



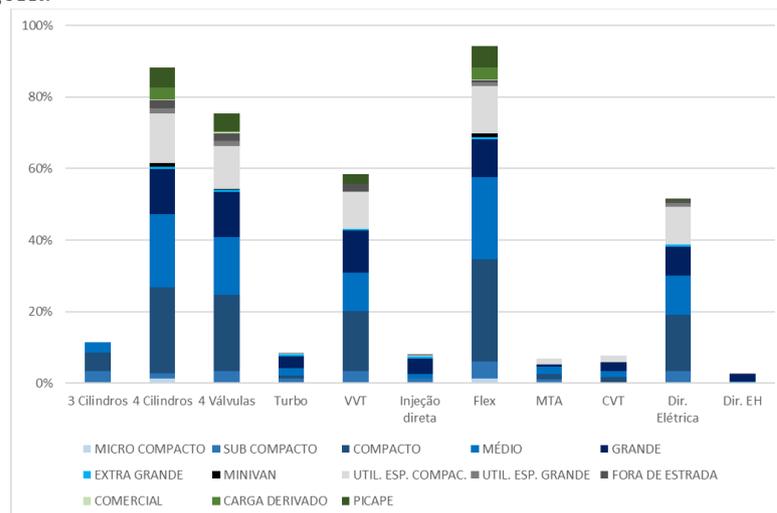
Fonte: Autor

A classificação geral do PBEV oferece ao mercado a posição de eficiência energética, comparando todos os veículos e respectivas versões, sem a divisão por categorias. Nesta classificação, as versões mais eficientes de uma categoria podem receber uma classificação abaixo da escala relativa (por categoria – Gráfico 1), em função da eficiência energética na classificação geral. Como no exemplo anterior, o veículo maior leva desvantagem na classificação em função do maior peso. A etiqueta do PBEV destaca a escala absoluta, que é

por categoria, mas a segunda classificação é a escala geral, para o consumidor ficar ciente do nível de eficiência energética do modelo desejado em relação aos demais veículos do mercado. Tomando como exemplo o VVT, entre os veículos do PBEV, 41,2% (Gráfico 1) têm classificação A por categoria, enquanto 17,3% (Gráfico 3) do mesmo universo de veículos têm classificação A na escala geral.

O Gráfico 4 apresenta a distribuição das tecnologias entre todos os veículos, divididos nas 13 categorias, englobando as cinco classificações, entre A e E. Estas treze categorias são utilizadas pelo PBEV, ficando de fora a décima quarta categoria, esportivo, pois todos são importados. As categorias dividem os veículos por tamanho ou pelo tipo de uso dos veículos. As categorias por tamanho possuem seis classificações, que variam de micro-compacto (com área inferior a 6,0 m<sup>2</sup>) até extra-grande (com área superior a 8,5) m<sup>2</sup>. Pelo tipo de uso os veículos se dividem por aplicação como: picape, minivan, esportivo, fora de estrada, comercial leve, utilitário esportivo compacto, utilitário esportivo grande (com área superior a 8,0 m<sup>2</sup>) e carga derivado.

Gráfico 4 – Distribuição das tecnologias automotivas de redução de GEE dos veículos do PBEV por categoria



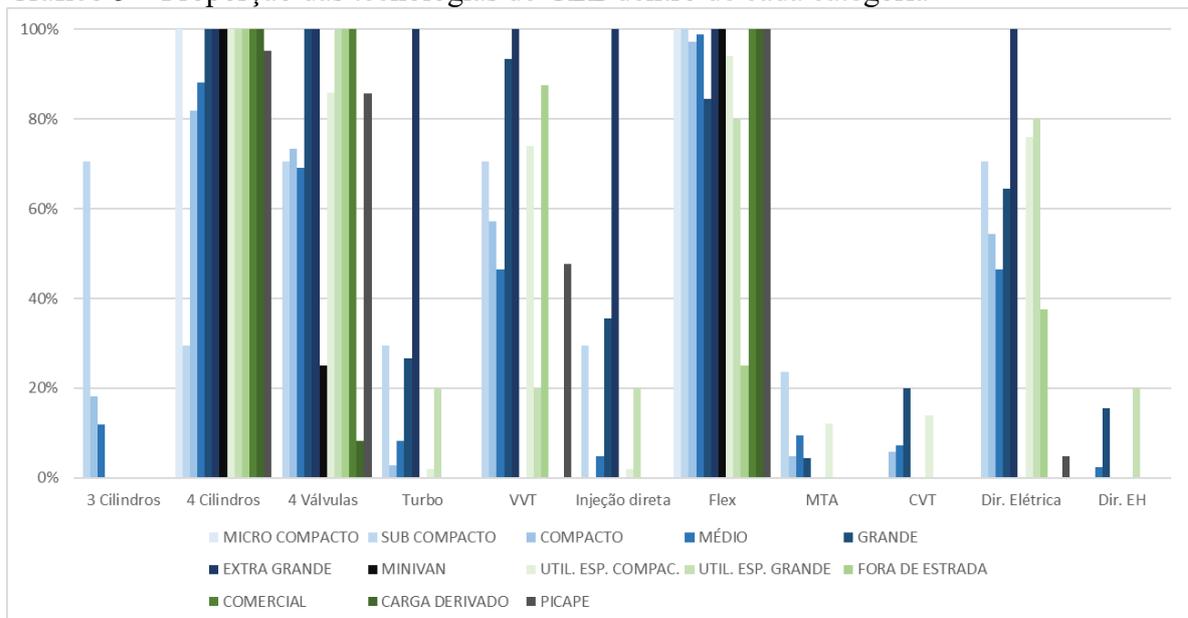
Fonte: Autor

Nota: O agrupamento segue o padrão do PBEV, que contém 14 categorias; os dados da ANFAVEA classificam estes veículos apenas como automóveis e comerciais leves.

Além das classificações de A a E, as tecnologias equipam os veículos das treze categorias em diferentes proporções. Como exemplo, a categoria de veículos grandes representa a quarta maior frota dentre todas as categorias, e a maior porcentagem dos motores com turbocompressor (3,3%) e injeção direta (4,5%), que são tecnologias que aumentam a eficiência energética.

O Gráfico 5 apresenta as 13 categorias de veículos e a distribuição proporcional das tecnologias dentro de cada uma. A base de cálculo é a quantidade de versões de veículos por tecnologia em relação ao total de veículos da respectiva categoria, ou seja, a proporcionalidade que uma tecnologia representa dentro de uma categoria. A quantidade de versões de veículos entre as categorias varia entre 1 e 105, dentro das 13 categorias. Para exemplificar a mudança de base, as tecnologias mencionadas anteriormente apresentam uma difusão de 26,7% com turbocompressor e 35,6% com injeção direta, entre os veículos grandes, enquanto os modelos extra-grandes têm 100% destas tecnologias, o que mostra a propagação da tecnologia dentro de cada categoria.

Gráfico 5 – Proporção das tecnologias de GEE dentro de cada categoria



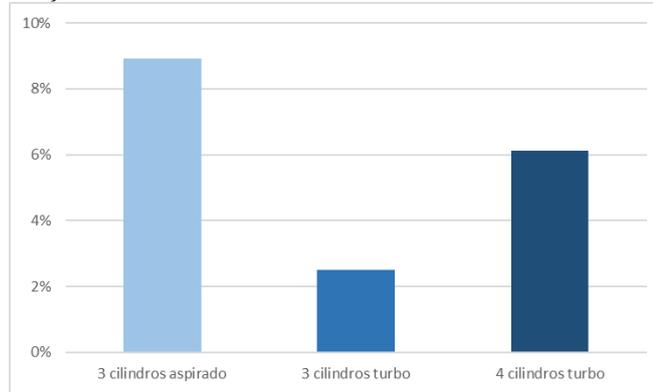
Fonte: Autor

A distribuição em porcentagem dentro das categorias permite identificar o quanto cada um recebeu de dispositivos para melhorar a eficiência energética. Tomando novamente como exemplo as tecnologias do turbocompressor e injeção direta, que se apresentam em 100% dos veículos extra-grandes, seguidas pelos veículos grandes, logo depois pode ser identificado em 29,4% dos modelos subcompactos e em 20% dos utilitários esportivos grandes.

O Gráfico 6 apresenta características de motorização com redução de tamanho (*downsizing*), mostrando a distribuição de motores três cilindros aspirado, três cilindros turbo e quatro cilindros turbo nos veículos do PBEV. A tecnologia de redução do tamanho dos motores apresenta algumas características construtivas que podem ser internas, como a redução de atrito, e algumas podem ser identificadas externamente, como a redução do

número de cilindros e alguns casos de motores equipados com turbocompressor. A redução do tamanho está relacionada à eficiência energética e a baixas emissões de GEE, levando parte considerável de veículos nessa categoria - 85% - a classificação A do PBEV.

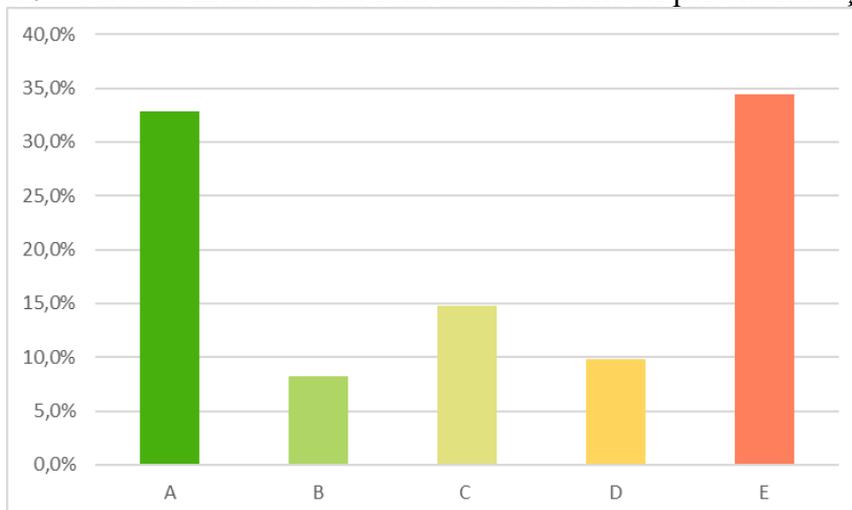
Gráfico 6 – Distribuição de motores três cilindros e motores com turbocompressor



Fonte: Autor

Dentre as tecnologias para a redução de emissões e aumento da eficiência energética, algumas funcionam melhor em conjunto, como é o caso do motor multiválvulas, 4 válvulas por cilindro, combinado ao comando de válvulas variável (VVT). O Gráfico 7 apresenta as versões de veículos equipados com quatro válvulas por cilindro, mas sem o comando de válvulas variável (VVT). A distribuição foi feita em relação às cinco classificações do PBEV. O motor com tecnologia multiválvula não apresenta a mesma eficiência energética quando comparado ao motor com o comando de válvulas variável (VVT). Apesar de 32,8% destes motores receberem a classificação A, 34,4% estão na classificação E.

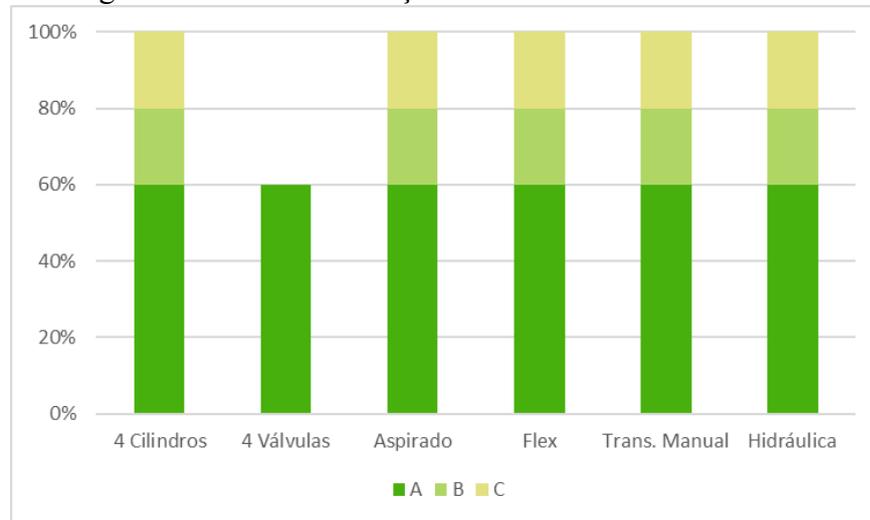
Gráfico 7 – Veículos multiválvulas sem comando variável por classificação do PBEV



Fonte: Autor

O Gráfico 8 apresenta as tecnologias presentes nos veículos sem ar condicionado, distribuídos por nota (relativa) do PBEV.

Gráfico 8 – Tecnologia veicular e classificação do PBEV de veículos sem ar condicionado

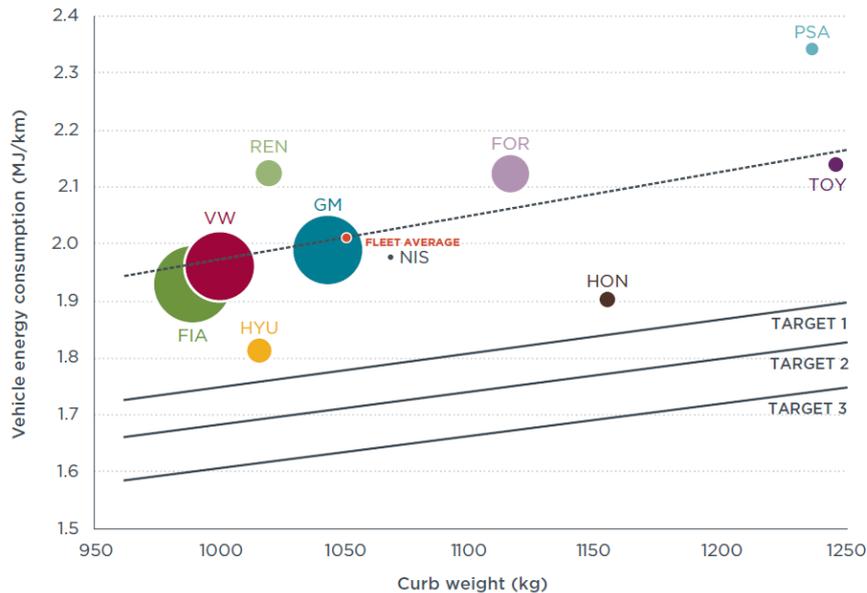


Fonte: Autor

Os veículos sem ar condicionado estão distribuídos nas categorias micro-compacto, subcompacto, compacto, comercial e carga derivado. Estas versões não estão equipadas com as principais tecnologias para a redução de emissões, mas ainda foram classificadas entre A e C. Analisando os modelos envolvidos nesta amostra, algumas inferências podem ser apontadas. Os modelos não possuem o sistema de ar condicionado (AC), reduzindo o consumo de energia do motor, e a redução de peso, por não possuir este sistema instalado. Por se tratar de veículos sem ar condicionado, é possível que estas versões sejam para uso comercial, mais despojadas de acabamentos, o que contribui para a redução de peso. Verificando a eficiência energética das versões com classificação A, os valores ficam próximos ao limite para a classificação B. Todos são equipados com transmissão manual, que tem a melhor eficiência dentre as versões do mercado. Algumas categorias possuem poucos modelos, reduzindo a faixa de classificação. As categorias pelo tipo uso, e não pelo tamanho, têm uma grande variação de peso entre os modelos (43%). Em suma, dois fatores relevantes são o peso e a transmissão manual, que reduzem o consumo.

A Figura 11 apresenta a média ponderada de peso, com base em volume de vendas, das dez maiores marcas do Brasil em 2013. Quanto maior o volume de vendas maior o diâmetro, e a posição no quadrante que relaciona o peso ponderado da frota de um fabricante com a meta de eficiência energética.

Figura 11 - Meta de consumo energético dos veículos brasileiros (Base 2013)



Fonte: ICCT, 2015a

As três retas (*target 1, 2 e 3*) são os objetivos estabelecidos pelo programa Inovar-Auto. A primeira reta, *target 1*, é mandatória para todas as montadoras habilitadas e as demais são opcionais, com incentivos de redução tributária (ICCT, 2015a; POSADA; FAÇANHA, 2015). Cada montadora vem trabalhando para atingir ao menos a reta *target 1*, com a introdução de novas tecnologias para o aumento de eficiência energética. Para cumprir a meta, cada fabricante terá que ponderar a venda dos modelos conforme o consumo de combustível e peso, o que resultará na média da montadora. As metas *target 2 e 3* servem de incentivo para o aumento de tecnologia ambiental nos veículos, bem como a ampliação da oferta dos modelos mais eficientes para o mercado, tendo como benefício para a montadora uma redução de 1 ou 2% no IPI, respectivamente.

#### 4.3 ELEMENTOS DA DIFUSÃO E BARREIRAS À INOVAÇÃO AMBIENTAL NO SETOR AUTOMOTIVO

Neste item são discutidos os resultados a respeito dos elementos que levam ao processo de difusão, bem como as barreiras à inovação ambiental, e comparados com os dados da pesquisa.

### 4.3.1 Fatores da difusão da inovação ambiental no setor automotivo brasileiro

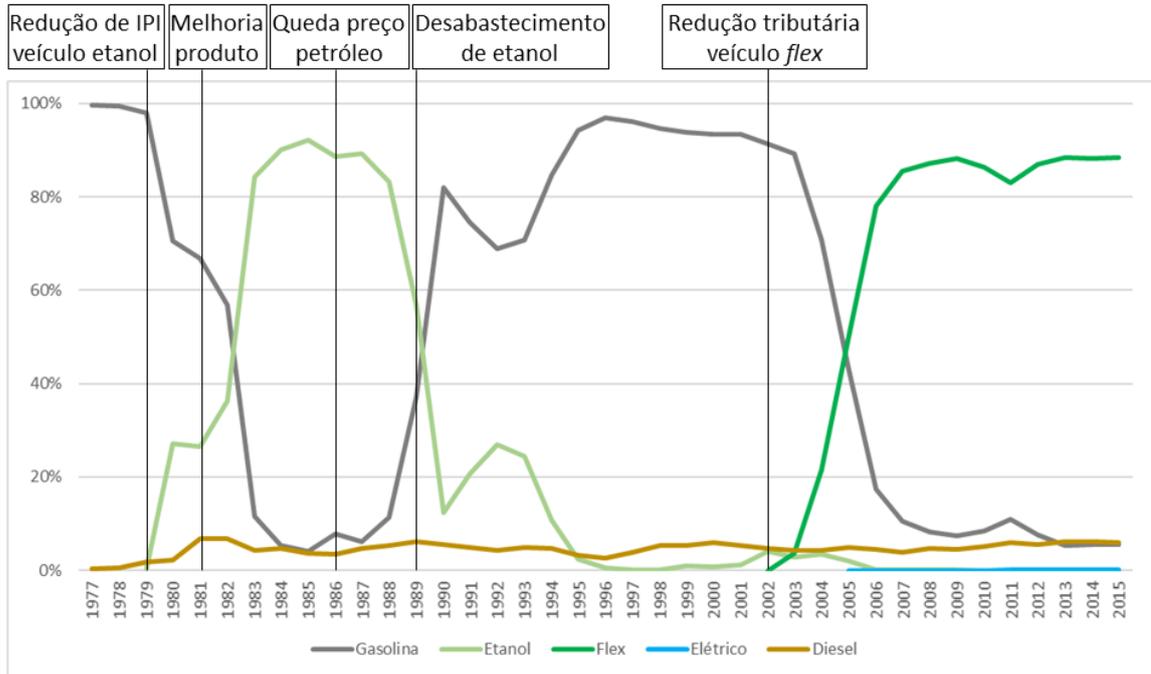
Ao longo da trajetória do desenvolvimento de novas tecnologias no setor automobilístico brasileiro, os instrumentos políticos moldaram estas mudanças, atuando em prol das necessidades de melhorias nos automóveis para atender à demanda de mercado e redução de emissões. Estas mudanças foram desenhadas em conjunto com a indústria, visando a adequação das tecnologias e consequentes ajustes no processo produtivo.

A evolução tecnológica para o controle de emissões de gases tóxicos, com base em instrumento regulatório como o PROCONVE, desenvolveu um cronograma com os novos limites de emissões para os automóveis. Como resultado, ocorreu uma ampla difusão de tecnologias ambientais, principalmente no sistema de controle eletrônico de injeção de combustível, catalisador e arquitetura dos motores, que passaram a equipar os veículos a partir de 1992, cobrindo 100% da frota desde 1997.

Trazendo o histórico do Proálcool, este programa fomentou o desenvolvimento de tecnologias para a motorização a etanol por meio de isenção de IPI, levando a uma ampla difusão desta motorização pelas montadoras no mercado brasileiro. Este cenário foi alterado pela queda do preço do petróleo combinado ao aumento da cotação do açúcar no mercado internacional, desfavorecendo as condições para o etanol, o que levou à redução na oferta deste combustível no final da década de 1980. O resultado destas mudanças se refletiu na queda das vendas de automóveis movidos a etanol. No Gráfico 9 pode ser observado o rápido crescimento após 1982 e a queda acelerada após 1988. Resumindo a evolução histórica do veículo a etanol, ocorreram condições favoráveis como incentivo tributário do automóvel, relação favorável no preço deste combustível e melhoria técnica dos motores a etanol, as quais proporcionaram a difusão desta tecnologia por meio da demanda de mercado.

Com aplicação de instrumento econômico em 2002, ocorreu rápida difusão da tecnologia para motor bicombustível (*flex fuel*), a partir de 2003, como pode ser verificado na curva de veículos *Flex* no Gráfico 9, em razão da ampla demanda de mercado. Para atender a esta nova demanda, foram necessárias mudanças tecnológicas nas motorizações por parte das montadoras, e os fornecedores ofereceram o sistema de gerenciamento eletrônico do motor com a inovação tecnológica para reconhecer o combustível em uso. Esta tecnologia foi difundida amplamente nos cinco primeiros anos, estabelecendo um novo patamar de mercado, que se mantém estável desde 2013.

Gráfico 9 – Participação de vendas de automóveis e comerciais leves novos por combustível (1977 a 2015)



Fonte: ANFAVEA, 2016

Apesar da ampla difusão dos motores *flex*, um novo desafio chega ao setor automobilístico para a melhoria de eficiência destes veículos bicompostíveis. Conforme o decreto 8.544 de 2015, a diferença de consumo entre os combustíveis deve ser inferior a 25%. Esta nova exigência demandará a difusão de tecnologias que ajustem as condições internas do motor para aumentar a eficiência com o uso do etanol, sem prejudicar o desempenho com o uso da gasolina.

#### 4.3.2 Barreiras para a difusão da inovação ambiental automotiva

O setor automobilístico tem atuado na mitigação de GEE com investimentos em P&D ao redor do mundo, e a efetivação das ações tem se traduzido em mudanças tecnológicas nos automóveis. Estas mudanças, por vezes, podem ser pequenas, com a melhoria de um sistema ou dispositivo conhecido, adaptado para uma nova demanda, ou ainda a mudança radical com o intuito de redirecionar investimentos e esforços em prol do meio ambiente.

Diante destas possibilidades, a inovação que visa introduzir novas tecnologias por vezes se depara com barreiras que dificultam ou postergam a sua entrada. Por exemplo, a meta estabelecida pelo Brasil de emissões de CO<sub>2</sub> fica um pouco abaixo do padrão europeu, o que pode ser uma barreira para a introdução de tecnologias ambientais nos veículos

brasileiros. A meta mandatória estabelecida para o Brasil em 2017 equivale ao patamar europeu de 2015. Como fator de comparação, o peso médio da frota brasileira é inferior a de outros cinco países e regiões comparados anteriormente neste estudo, mas com eficiência energética inferior ao Japão e Europa. Como base de cálculo da eficiência energética utiliza-se o peso como fator, portanto, se o veículo é mais leve o consumo de combustível tende a ser menor.

Além do nível médio de emissões da frota nacional, existem também as opções de veículos ofertados no mercado brasileiro com diferentes níveis de eficiência. O menor nível de emissões está relacionado ao uso de tecnologias ambientais para a melhoria de eficiência energética, e também o peso, e ambos afetam o nível de emissões de CO<sub>2</sub>. A oferta de veículos com estas características, aliada à preferência do público, irá definir o total de carbono emitido no período de medição do INOVAR-AUTO. A preferência dos compradores está sujeita a questões econômicas e pessoais, que podem levar a escolhas por veículos equipados com tecnologias ambientais, modelos menores com menor peso, resultando em maior eficiência. Esta é a preferência favorável ao meio ambiente, mas o público também pode optar por modelo e versão de menor custo, e menos tecnologia, ou ainda por veículo mais pesado, ambos com menor eficiência. Neste último cenário, a demanda de mercado atuaria como barreira para a difusão das melhores tecnologias ambientais ofertadas.

Conforme apresentado no Gráfico 9, sobre os veículos movidos a etanol, as condições de mercado desfavoráveis, como a queda no preço do petróleo e o desabastecimento deste combustível, afugentaram o público, levando a forte declínio nas vendas após estas ocorrências. Estas condições levaram a uma queda acentuada na demanda de mercado do veículo a etanol, com quadro geral que atuou como barreira para a continuidade, em função da mudança dos incentivos para o etanol e pela falta de uma regulação sobre o fornecimento deste combustível.

## 5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA PESQUISA

Neste capítulo são analisados e discutidos os resultados da pesquisa, de acordo com as categorias apresentadas no referencial teórico, que estão relacionadas à regulamentação como indutora e difusora da inovação ambiental, às tecnologias ambientais para redução de GEE, e à difusão e barreiras à inovação ambiental no setor automotivo.

### 5.1 A REGULAMENTAÇÃO COMO INDUTORA E DIFUSORA DE INOVAÇÃO AMBIENTAL

No Brasil, a regulamentação ainda é determinante para a inovação ambiental com vistas à redução das emissões dos automóveis. A legislação e a inovação ambiental caminham na mesma direção no curto prazo (KNELLER; MANDERSON, 2012), e a regulamentação aparece como maior indutor da inovação quando a mudança é ambiental (HORBACH, 2008), em função da baixa influência do mercado (IVM, 2006). Estas inovações proporcionam melhoria na tecnologia ambiental dos automóveis, conferindo aumento no desempenho, com manutenção ou mesmo redução das emissões, e algumas têm origem nos veículos de competição (ZAPATA; NIEUWENHUIS, 2010).

A legislação automotiva para a redução das emissões de gases tóxicos vem construindo sua fundamentação e regulamentação desde os anos de 1960, em mercados como os Estados Unidos (BERGEK; BERGGREN, 2014). Acompanhando o histórico da legislação ambiental brasileira para reduzir gases tóxicos, ao longo das últimas três décadas, é possível notar mudanças em razão das inovações tecnológicas. Essas mudanças começaram em meados da década de 1980, com o controle de emissões no sistema de alimentação de combustível e respiro dos motores, conforme regulamentação do PROCONVE (IBAMA, 2011). Na década de 1990 ocorreu o estreitamento dos limites de emissões em diversos países, como, por exemplo, o Tier 1 nos EUA (BERGEK; BERGGREN, 2014; DIJK; YARIME, 2010); Euro 1, 2 e 3 na Europa (BERGEK; BERGGREN, 2014; KOUSOULIDOU *et al.*, 2008), e, no Brasil, as fases L-2 e L-3 do PROCONVE para veículos leves (IBAMA, 2011). Cada mercado introduziu inovações tecnológicas ambientais nos automóveis para atender aos respectivos limites de emissões (KOUSOULIDOU *et al.*, 2008; IBAMA, 2009). No Brasil, os automóveis foram beneficiados com o sistema de injeção eletrônica, sensor de oxigênio, antes do catalisador, e catalisador (IBAMA, 2009), tecnologias essas perceptíveis

aos usuários por eliminar o carburador e, conseqüentemente, a alavanca do afogador, permitindo dirigir o veículo com o motor frio.

Na década de 2000, a legislação continuou reduzindo os limites de emissões nos diversos países (BERGEK; BERGGREN, 2014; KOUSOULIDOU *et al.*, 2008), e no Brasil, as fases L-4 e L-5 do PROCONVE fomentaram a introdução de inovações ambientais para a redução de gases precursores do ozônio, com tecnologias refinadas no sistema de injeção eletrônica, injetores, e na câmara de combustão dos motores, de forma a reduzir as emissões de NOx e HC. Essas mudanças continuam em curso para adequação das necessidades de cada época, como é o caso da última fase do programa, a L-6, de 2014 e 2015, com aumento nas restrições das emissões de gases tóxicos (IBAMA, 2009). Com todas essas inovações, que reduziram as emissões, os automóveis receberam um aliado eletrônico para o monitoramento das condições destes componentes durante o uso, ao longo da vida dos veículos, que é o Sistema de Diagnose a Bordo, OBDBr-2 (CONAMA, 2004). O sistema de monitoramento OBD II foi introduzido nos EUA em 1994, para cumprimento da legislação, como forma de monitorar os componentes responsáveis pelo controle das emissões dos veículos (LEE; BERENTE, 2013). Com este sistema, o conjunto de propulsão passa a ser monitorado continuamente, e, no caso de alguma falha que comprometa as emissões, a Lâmpada Indicadora de Mau Funcionamento (LIM) instalada no painel acusa tal situação para que o veículo seja encaminhado para manutenção (CONAMA, 2004). Mesmo contanto com tecnologias para a redução das emissões de gases tóxicos e seu respectivo monitoramento eletrônico, os veículos ainda precisam ser inspecionados periodicamente, com o intuito de identificar alguma anomalia nestas tecnologias e sistemas, visando assegurar que as emissões dos veículos se mantenham dentro dos padrões de fábrica. Nesse sentido, a inspeção veicular desempenha um importante papel, porém somente o Estado do Rio de Janeiro efetua este procedimento atualmente (CONEMA, 2016).

Os principais instrumentos utilizados têm sido o regulatório, como o PROCONVE no Brasil, também conhecido como comando e controle (IBAMA, 2011; IVM, 2006), e o econômico, que podem ser combinados de forma a melhor atender à realidade de cada mercado (IVM, 2006; BERGEK; BERGGREN, 2014). Esses instrumentos têm se efetivado com a regulamentação, impondo metas corporativas para cada fabricante, o que favorece a difusão de inovação incremental (BERGEK; BERGGREN, 2014).

As tecnologias para o controle de emissões de poluentes começaram a equipar os veículos nacionais nos anos de 1990, e desde então vêm reduzindo continuamente os gases tóxicos de escapamento e evaporativos. Além deste controle, os veículos passaram a atender a

uma nova demanda do mercado brasileiro, que é o aumento da eficiência energética, que se reflete na redução do consumo de combustível e das emissões de CO<sub>2</sub> (CASA CIVIL, 2012; ICCT, 2015a). Esta mudança na frota nacional segue a tendência mundial de melhoria da eficiência dos automóveis, a exemplo de alguns países citados a seguir.

Nos anos de 1990, o mercado europeu voltou sua atenção para as emissões de CO<sub>2</sub>, com o objetivo de introduzir mudanças tecnológicas nos automóveis com efeito para 2008, mas esta meta voluntária não foi atingida. Diante deste cenário, foi regulamentada nova meta para 2015, e desta vez a efetivação ocorreu antes do prazo limite. Cumprida esta etapa, um novo desafio foi estabelecido, agora impondo o limite de 95 CO<sub>2</sub>/km a ser cumprido até o final de 2020, e a referência para os limites de emissões de carbono é o peso do veículo (DIJK; YARIME, 2010; BERGEK; BERGGREN, 2014; ICCT, 2014b). A frota europeia passou a contar com mais veículos Diesel como forma a reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, e também com veículos mais pesados, puxando os limites de emissão de carbono para cima (CUENOT, 2009; ICCT, 2015b).

Além das ações do mercado europeu, nos EUA os órgãos ambientais e rodoviários atuaram na definição de padrões e limites para as emissões de CO<sub>2</sub> e consumo de combustível para o período de 2017 a 2025, com base na pegada do veículo (*footprint*); assim, quanto maior o veículo, maiores os limites de emissões. Por se tratar de uma ação de longo prazo, será feita nova avaliação para identificar a necessidade de ajustes de metas para o período de 2022 a 2025 (ICCT, 2014c; SIMMONS *et al.*, 2015).

O maior mercado do mundo, o chinês, estabeleceu as primeiras metas para a redução de consumo de combustível em 2001, incluindo a redução de emissões de CO<sub>2</sub>, também como forma de reduzir a pressão sobre a importação de petróleo. Em função das condições específicas do tráfego no país, foi estabelecido um ciclo de rodagem, o CAFC, que reflete melhor as características da condução chinesa. Foram introduzidas ações baseadas na experiência internacional, como o programa de etiquetagem (JIN *et al.*, 2015). A Fase 4 de redução de consumo estabelece decréscimo gradual entre 2016 e 2020 (ICCT, 2014a).

O mercado japonês estabeleceu o padrão de eficiência energética *Top Runner* em 1998, que utiliza o peso do veículo como base para o consumo. Este programa estabelece o veículo com melhor eficiência da categoria como referência de mercado (LIPSCY; SCHIPPER, 2013). A fase atual tem metas de aumento de eficiência energética para o período de 2015 a 2020 (ICCT, 2015c). Na mesma linha dos outros países asiáticos, a Coreia do Sul estabeleceu metas para a redução do consumo de energia para o período de 2016 a 2020 (ICCT, 2015d).

A regulamentação abriu caminho para a mudança tecnológica dos veículos brasileiros, para atingir um novo patamar de eficiência energética da frota nacional, por meio do programa INOVAR-AUTO. A empresa habilitada deverá cumprir a meta mandatória até outubro de 2017, e para as duas metas opcionais os padrões devem se manter até 2020 (CASA CIVIL, 2012). As metas brasileiras são regidas por instrumento econômico geral (IVM, 2006; BERGK; BERGGREN, 2014), com faixas diferenciadas para o aumento de eficiência energética e consequente redução tributária, que estabeleceu duas faixas como metas adicionais, com efeito de redução tributária proporcional, que confere a redução de 1 ou 2% do IPI. A medição de eficiência dos veículos brasileiros é o ciclo urbano e rodoviário CAFE (ICCT, 2015a).

A comparação entre as regulamentações brasileiras e as de outros países aponta para ações no cenário internacional, no intuito de reduzir o consumo de combustível e, consequentemente, as emissões de CO<sub>2</sub> (SIMMONS *et al.*, 2015; ICCT, 2014c), reduzindo a dependência do petróleo (JIN *et al.*, 2015) e proporcionando melhor qualidade ambiental. Além do Brasil, muitas regiões e países têm ações em curso, com similaridade nos fundamentos de redução, mas se diferenciando quanto aos valores de metas de eficiência energética (ICCT, 2015a; ICCT, 2014b; ICCT, 2014c; ICCT, 2014a; ICCT, 2015d). O método de medição mais encontrado foi o CAFE dos EUA (ICCT, 2014c; ICCT, 2015d; ICCT, 2015a), e o limite final desta fase de regulamentações é o ano de 2020, ficando os EUA com ações até 2025 (SIMMONS *et al.*, 2015). No caso do Brasil, existem metas opcionais que serão monitoradas até 2020 (ICCT, 2015a).

Visando estimular a inovação semi-radical e a radical, muitos mercados estabeleceram meta opcional, que fomenta a introdução de tecnologias de baixas emissões, como veículos híbridos *plug-in* e híbridos (ZAPATA; NIEUWENHUIS, 2010; CARRILLO-HERMOSILLA; DEL RÍO; KONNOLA, 2010; CHRISTENSEN, 2011; DIJK; YARIME, 2010; SIMMONS *et al.*, 2015; PLOTKIN, 2009; OLTRA; SAINT JEAN, 2009; AHMAN, 2001), elétricos (DIFIGLIO, 1997; CHRISTENSEN, 2011; DIJK; YARIME, 2010; OLTRA; SAINT JEAN, 2009; AHMAN, 2001), e movidos a célula de combustível híbrido (ZAPATA; NIEUWENHUIS, 2010; DIFIGLIO, 1997; CHRISTENSEN, 2011; OLTRA; SAINT JEAN, 2009; AHMAN, 2001); inovações ambientais com tecnologias que reduzam o consumo de combustível (ICCT, 2014a); e redução no consumo dos veículos além da meta, para ponderação no cálculo de eficiência energética corporativa. Este padrão utilizado na regulamentação incentiva a difusão de veículos de alta eficiência, incluindo propulsão elétrica, veículos menores (LIPSCY; SCHIPPER, 2013), uso de tecnologias com elevada

eficiência e a perspectiva de inovações para o mundo. Visando a difusão de tecnologias automotivas de baixo carbono no mercado brasileiro (ICCT, 2015a), veículos com baixo consumo energético contarão como mais de um veículo para o cumprimento de meta corporativa, padrão também em uso nos demais mercados analisados neste estudo (ICCT, 2014b; ICCT, 2014c; ICCT, 2014a; ICCT, 2015c; ICCT, 2015d; ICCT, 2015a; EPA, 2012).

Apesar de algumas variações entre as regulamentações ao redor do mundo, o fluxo principal aponta para ações orquestradas, com o objetivo de melhoria da eficiência energética com o aprimoramento das atuais tecnologias de propulsão. Estas ações visam assegurar a otimização do consumo de derivados de petróleo e reduzir o impacto ambiental dos meios de transporte, até que as atuais barreiras tecnológicas (DIJK; YARIME, 2010) das inovações radicais sejam superadas.

## 5.2 TECNOLOGIAS AMBIENTAIS PARA REDUÇÃO DE GEE

O Quadro 10 consolida as principais tecnologias para a redução de CO<sub>2</sub> e aumento de eficiência energética dos veículos produzidos no Brasil e Argentina. A base de dados são os veículos listados na versão 2016 da tabela INMETRO do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV), que considera os modelos e as respectivas versões.

Quadro 10 –Tecnologias dos automóveis para a redução das emissões de GEE e aumento de eficiência

Tecnologia	Análise dos dados do formulário
Turbocompressor (sobre-alimentado)	O turbo compressor está presente em poucos veículos. Equipa menos de 10% das versões de veículos nacionais, mas quase três quartos das versões equipadas com esta tecnologia estão na classificação A. Está presente em 26,7% dos veículos grandes, o que representa 3,3% de toda a frota. Mais de um terço desta tecnologia está difundido somente nesta categoria. O turbocompressor equipa prioritariamente os motores com <i>downsizing</i> , próximo da metade.
Redução do tamanho dos motores ( <i>downsizing</i> )	Os veículos nacionais são equipados predominantemente por motores quatro cilindros, portanto os motores três cilindros apontam para a tecnologia de <i>downsizing</i> . Estes motores totalizam 11,4% das versões, todos com classificação A. Estão presentes nas categorias: subcompacto, compacto e médio. Além destes, outros 6,1% da amostra são equipados com motores turbo quatro cilindros, que também apontam para uma utilização de <i>downsizing</i> , totalizando 17,5% das versões.
Injeção direta de combustível	A injeção direta foi introduzida recentemente no Brasil e ainda está pouco presente nos veículos. Equipa menos de 10% das versões do PBEV, mas quase dois terços das versões equipadas com esta tecnologia estão na classificação A. Está presente em 35,6% dos veículos grandes, o que representa 4,5% de toda a frota. Esta tecnologia equipa predominantemente os motores com turbo compressor.
Comando de válvulas variável (VVT)	O VVT está presente em quase 60% de todas as versões nacionais, e mais de 70% dos veículos com VVT têm classificação A. Está presente em 57,1% dos veículos compactos, o que representa 16,7% de toda a frota. A maior difusão está nos veículos extra-grande, 100%, seguido pelos grandes, 93,3%.

Cilindro multiválvula	Esta tecnologia se mostrou presente em mais de três quartos das versões de veículos, mas dentre as versões com motorização multiválvula, 62% têm classificação A. Quanto à difusão, está presente em 100% dos veículos de cinco categorias, e na faixa de 70% dos subcompacto, compacto e médio. Apesar da ampla difusão, esta tecnologia tem maior efeito na melhoria da eficiência energética quando utilizada em conjunto com o VVT.
Taxa de compressão elevada	Esta tecnologia não foi identificada pelo método aplicado neste estudo, que avaliou os dados dos veículos presentes na tabela PBEV de 2016. Para esta análise é necessário levantar a taxa de compressão de um veículo ao longo do tempo.
Direção com assistência elétrica	A direção elétrica se mostrou presente em metade das versões de veículos, e mais de 75% dos veículos com direção elétrica têm classificação A. Este acessório se apresenta em maior volume na categoria de veículos compactos, com 15,9%. Quanto à difusão, está presente em 100% dos veículos grandes, seguido pelos utilitários esportivos grandes com 80%. A direção eletro-hidráulica se mostrou presente em poucas versões de veículos, somente 2,8%, com a participação mais significativa nos veículos grandes, 15,6%.
Transmissão automatizada	Sistema presente em 7% das versões, e dentre as versões com transmissão automatizada, somente 20% têm classificação A. A categoria com maior participação é de veículos médios, com 2,5% dentre todos os veículos, e 20% nesta categoria. Considerando as versões de veículos com transmissão automatizada, o maior volume está na classificação E, com 28%.
Transmissão continuamente variável (CVT)	Tecnologia pouco presente nos veículos. Equipa 7,8% dos modelos nacionais, sendo 2,5% na categoria de veículos médios, o que representa uma difusão de 20% nesta categoria. Quando se avaliam as versões de veículos com CVT, 71,4% têm classificação A.
Sistema <i>start stop</i>	Tecnologia introduzida no Brasil em 2014, mas ainda pouco presente nos modelos nacionais e em alguns modelos nacionalizados. Em função da baixa difusão em projetos nacionais, o sistema <i>start stop</i> não foi avaliado neste estudo.
Combustível alternativo	A frota brasileira tem a opção de usar o etanol nos motores bicombustíveis. Desde o lançamento em 2003, esta tecnologia teve ampla difusão. Atualmente está presente em 95,8% das versões do PBEV, sendo os compactos a maior parcela deste total, o que representa 28,4%. Analisando o valor dentro de cada categoria, sete delas têm difusão em 100% das versões. Dentre os veículos bicombustíveis, 57,6% têm classificação A.
Veículo híbrido	Tecnologia não presente em modelos nacionais, portanto não avaliada neste estudo. Participação de mercado abaixo de 0,1%. Ver detalhes no Gráfico 10.
Veículo elétrico	Tecnologia não presente em modelos nacionais, portanto não avaliada neste estudo. Participação de mercado abaixo de 0,1%. Ver detalhes no Gráfico 10.
Célula de combustível a hidrogênio	Tecnologia não presente em modelos nacionais, portanto não avaliada neste estudo. Ainda sem participação de vendas no mercado nacional.

Fonte: Autor

O Quadro 10 apresenta a transição dos motores e sistemas de conforto para adequar a demanda à exigência por melhoria da eficiência energética. Assim, uma nova realidade tecnológica permeia o sistema de propulsão dos veículos brasileiros, passando a ofertar soluções que antes eram restritas a veículos de alto valor.

A tecnologia *downsizing* (TAYLOR, 2008; ZAPATA; NIEUWENHUIS, 2010; POSADA; FAÇANHA, 2015; BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010; PLOTKIN, 2009; SIMMONS *et al.*, 2015; NRC, 2015) para a redução do tamanho dos motores caracteriza-se por um número menor de cilindros, com conseqüente redução do número de componentes móveis, favorecendo a redução do atrito (NRC, 2015) e peso, para a redução de emissões de GEE. Tal tecnologia está presente em 17,5% das versões de veículos do PBEV. Em conjunto com esta mudança, a sobrealimentação do turbocompressor (TAYLOR, 2008; ZAPATA; NIEUWENHUIS, 2010; POSADA; FAÇANHA, 2015; BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010;

PLOTKIN, 2009; SIMMONS *et al.*, 2015; NRC, 2015) permite extrair mais potência com um motor reduzido, ampliando a eficiência energética, e também contribuindo para a redução de peso. Os motores turbinados já equiparam veículos nacionais nas últimas duas décadas, e combinados com o *downsizing* permitem o uso de motores menores para redução no consumo de combustível ou ainda para aumentar o desempenho dos veículos, sem prejudicar as emissões.

Aliado ao *downsizing* com turbocompressor, o sistema de injeção direta (POSADA; FAÇANHA, 2015; BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010; PLOTKIN, 2009; SIMMONS *et al.*, 2015; DIJK; YARIME, 2010; TAYLOR, 2008; DIFIGLIO, 1997) envia o combustível diretamente à câmara de combustão, deixando de ter contato com as válvulas de admissão, que estão aquecidas, evitando assim a perda de eficiência no trajeto do combustível no coletor (POSADA; FAÇANHA, 2015), efeito que ocorre em um sistema de injeção de combustível indireta. Estas três tecnologias em conjunto equipam veículos nacionais, proporcionando ganhos de eficiência do motor com a redução de atrito e peso, e melhor aproveitamento do ciclo térmico, oferecendo desempenho superior, comparado aos motores aspirados com injeção eletrônica multiponto. Apesar do ganho apontado, estas tecnologias inserem custos nos projetos, e dependem de maior difusão para a redução de custo por escala (BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010; DIJK; YARIME, 2010). Atualmente os sistemas de turbocompressor e injeção direta de combustível estão presentes em pouco mais de 8% das versões de veículos. Considerando a classificação para cada tecnologia, quase três quartos das versões de motores com turbocompressor e quase dois terços dos veículos com injeção direta receberam classificação A.

Os motores multiválvulas (ZAPATA; NIEUWENHUIS, 2010), 4 ou 5 válvulas por cilindro, já equiparam alguns veículos nacionais deste a década de 1990, assim como os dispositivos para ajuste do tempo de abertura da válvula, o VVT (POSADA; FAÇANHA, 2015; ZAPATA; NIEUWENHUIS, 2010; GÖLCÜ *et al.*, 2005; FONTANA; GALLONI, 2009; AHMAN, 2001; DIJK; YARIME, 2010; BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010; PLOTKIN, 2009; SIMMONS *et al.*, 2015; TAYLOR, 2008). Estas tecnologias equipavam os veículos mais completos desde esta época, e continuaram evoluindo até a atualidade, mas algumas vezes restritos a modelos topo de linha (BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010). O motor multiválvula demonstra melhoria na eficiência quando usado em conjunto com o VVT. Considerando os motores com VVT, que também são multiválvulas, estão presentes em 57,9% das versões, e 71,2% dos veículos com VVT têm classificação A. Estes dispositivos melhoram a eficiência do motor, permitindo o ajuste do momento de abertura das válvulas

conforme o regime de funcionamento do motor, melhorando o enchimento dos cilindros (GÖLCÜ *et al.*, 2005; POSADA; FAÇANHA, 2015), e resultando na melhoria da eficiência.

A frota brasileira utiliza tradicionalmente a transmissão manual. Atualmente os veículos têm cinco velocidades, e alguns modelos já são equipados com seis. Para conferir maior conforto, mantendo baixo o custo de aquisição, os fabricantes oferecem a transmissão automatizada (TAYLOR, 2008), que elimina o pedal da embreagem, que passa a ser comandada por um sistema hidráulico, e as trocas de marchas também são feitas pelo sistema automatizado. Todos os mecanismos são controlados por uma unidade eletrônica, que controla as trocas de velocidades, o acionamento da embreagem e indica no painel o número da marcha (velocidade) e o tipo de programa (troca normal ou esportiva, por exemplo). Alguns modelos ainda oferecem a opção de alavancas no volante para troca sequencial. A transmissão automatizada é ofertada em 7% das versões nacionais, e destes modelos somente 20% têm classificação A. Na outra ponta da tabela do PBEV, podem ser identificados 28% dos modelos com este tipo de transmissão com classificação E. Como a frota local é equipada, em sua maioria, com transmissão manual, a transmissão automatizada oferece maior conforto, porém esta tem pequenas perdas em relação à transmissão manual (TAYLOR, 2008; NRC, 2015). Comparada às transmissões automáticas, a automatizada é apontada como a transmissão mais eficiente, porque, em alguns países, como nos EUA, a transmissão predominante é a automática (NRC, 2015).

A transmissão continuamente variável, CVT (BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010; DIFIGLIO, 1997; SIMMONS *et al.*, 2015; AHMAN, 2001), proporciona conforto ao dirigir por eliminar o sistema de embreagem e fazer trocas automáticas de forma suave, em função do seu princípio de funcionamento de variação contínua de velocidade. Este tipo de transmissão equipa poucas versões, menos de 8%, e mais de 70% dos veículos com CVT tem classificação A. A nota alta pode estar associada ao fato de os modelos que recebem este tipo de transmissão serem mais completos, e possuírem mais tecnologias para a melhoria de eficiência do motor. Semelhante ao conceito da transmissão automatizada, esta tecnologia proporciona conforto ao dirigir, e oferece melhor rendimento se comparada à transmissão automática convencional (NRC, 2015).

O sistema de direção assistida não é um item da propulsão do automóvel, mas tem ampla participação no mercado nacional. O sistema convencional de direção é totalmente mecânico e não tem consumo adicional de combustível, mas, para aumentar o conforto ao dirigir, a direção assistida vem aumentando sua participação. O sistema assistido tradicional é o hidráulico, que possui uma bomba hidráulica ligada por correia ao motor, que consome

energia deste, com conseqüente consumo de combustível. O sistema elétrico, ou eletro-hidráulico, utiliza assistência elétrica, que elimina a correia ligada ao motor (NRC, 2015). A direção com assistência elétrica está presente na metade das versões avaliadas, e três quartos das versões com este sistema têm classificação A.

Como forma de redução dos GEE, o Brasil conta com o etanol (BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010; SILVA *et al*, 2013; JUNQUEIRA, 2002). Introduzido na década de 1970, evoluiu na década seguinte, mas desacelerou no final da década de 1980, em função da conjuntura internacional que influenciou o mercado nacional (BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010; SILVA *et al*, 2013; ZAPATA; NIEUWENHUIS, 2010). A retomada do uso deste combustível em grande proporção ocorreu a partir de 2003, com a difusão do veículo bicomcombustível (*flex*) no mercado brasileiro (OLIVA *et al.*, 2013; ALVES; BRANDAO, 2007; BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010; SILVA *et al*, 2013; ZAPATA; NIEUWENHUIS, 2010; DIFIGLIO, 1997), uma solução nacional com benefícios ambientais e redução da dependência do petróleo. Este combustível renovável permite a mitigação de CO<sub>2</sub> durante o crescimento da planta (DIFIGLIO, 1997), proporcionando uma condição favorável para a redução do aquecimento global. Em função de algumas barreiras para os veículos com propulsão elétrica, e pela disponibilidade do etanol em todo o território nacional (BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010), o motor a combustão interna se mantém como alternativa viável no Brasil em médio prazo. Para que este tipo de propulsão melhore a contribuição ambiental, existe a necessidade do aumento da eficiência energética (BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010), com a introdução de inovações tecnológicas ambientais incrementais, de maneira a melhorar o rendimento térmico e reduzir as emissões de GEE.

Todas estas tecnologias para a redução das emissões são conhecidas no mercado nacional, mas dependem de maior difusão para ganhar escala e reduzir seu custo (BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010). Esta combinação permitirá o aprimoramento dos motores, que na sua maioria são bicomcombustíveis, movidos a etanol e/ou gasolina, melhorando o desempenho e a redução das emissões. A vantagem da tecnologia *flex* é a liberdade de escolha do combustível a cada abastecimento, permitindo escolher o que oferece o menor custo por quilômetro. Como os combustíveis sofrem influência externa, o petróleo segue cotação internacional, e o etanol compete com o preço do açúcar, além de oscilar de valor em função da safra. Todos estes fatores causam impacto no preço dos combustíveis, e a possibilidade de escolha no momento do abastecimento confere vantagem a este tipo de motorização. A desvantagem do motor *flex* fica por conta da menor eficiência para cada combustível (BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010),

em função de suas características construtivas contemplarem as necessidades de ambos os combustíveis, acabando por não atuar com a melhor eficiência para cada combustível.

Em função da vantagem de escolha do combustível no abastecimento, esta tecnologia teve ampla difusão, sendo ofertada em mais de 95% das versões avaliadas neste estudo. A análise sobre a eficiência deste tipo de motor, com base nos dados coletados, não apresenta evidências em função de esta tecnologia predominar na frota, o que coloca a comparação praticamente entre veículos bicombustíveis. Apesar de prós e contras em relação ao motor *flex*, o etanol é um combustível renovável, que proporciona vantagem ambiental (BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010; SILVA *et al.*, 2013; ZAPATA; NIEUWENHUIS, 2010; DIFIGLIO, 1997; OLTRA; SAINT JEAN, 2009).

As inovações tecnológicas semi-radiciais de veículos com propulsão elétrica, seja alimentada somente por bateria ou combinada com motor a combustão nos híbridos, ou ainda a inovação radical, como o veículo movido por célula de combustível, proporcionam elevada redução ou eliminam por completo as emissões de GEE (ZAPATA; NIEUWENHUIS, 2010; CARRILLO-HERMOSILLA; DEL RÍO; KONNOLA, 2010; CHRISTENSEN, 2011; DIJK; YARIME, 2010; SIMMONS *et al.*, 2015; PLOTKIN, 2009; OLTRA; SAINT JEAN, 2009; AHMAN, 2001; DIFIGLIO, 1997).

Dentre estas, o veículo híbrido permite maior flexibilidade e facilidade de uso por combinar o motor convencional e a propulsão elétrica, exigindo menor infraestrutura e proporcionando autonomia por se comportar como um veículo convencional no abastecimento. No caso do híbrido *plug-in* (AL-ALAWI; BRADLEY, 2013; SIMMONS *et al.*, 2015; OSHIRO; MASUI, 2015; EPA, 2012), a autonomia do veículo é ampliada em função da possibilidade de carregar a bateria. A tecnologia que tem se difundido no território brasileiro é o veículo híbrido (ZAPATA; NIEUWENHUIS, 2010; CARRILLO-HERMOSILLA; DEL RÍO; KONNOLA, 2010; CHRISTENSEN, 2011; DIJK; YARIME, 2010; SIMMONS *et al.*, 2015; PLOTKIN, 2009; OLTRA; SAINT JEAN, 2009; AHMAN, 2001), seja convencional ou *plug-in*, mas ambos permitem o abastecimento pelo tanque de combustível, e, no caso do *plug-in*, o abastecimento também ocorre para a bateria, que é feito por meio de equipamento para a carga.

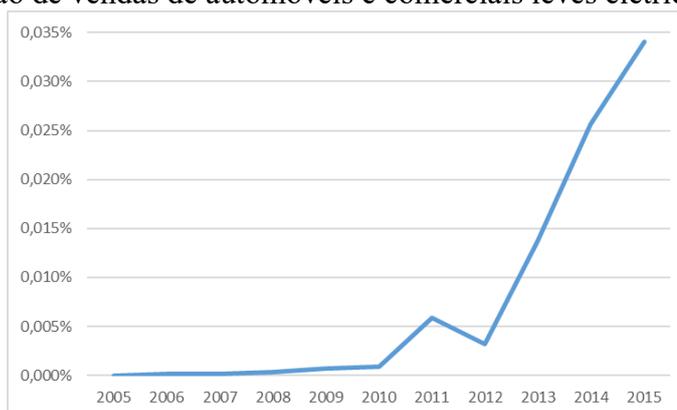
Apesar da emissão zero, os veículos elétricos (DIFIGLIO, 1997; CHRISTENSEN, 2011; DIJK; YARIME, 2010; OLTRA; SAINT JEAN, 2009; AHMAN, 2001) dependem de uma infraestrutura para o abastecimento, tempo para a carga da bateria e a autonomia está vinculada à capacidade de armazenamento da bateria. A expectativa é que este tipo de veículo receba inovações tecnológicas e tenha ampla difusão após 2030 (OSHIRO; MASUI, 2015).

No Brasil ainda não existe versão nacional deste tipo de veículo, somente modelos importados, que, apesar da redução tributária, ainda sofrem com os efeitos da conversão cambial, que acaba elevando o preço final. Pelas dimensões do território nacional, a implantação de infraestrutura demandaria amplo investimento e ainda seria preciso regulamentar a venda de energia para o abastecimento.

No caso dos veículos movidos a célula de hidrogênio, o processo de obtenção do hidrogênio demanda muita energia (ZAPATA; NIEUWENHUIS, 2010; OLTRA; SAINT JEAN, 2009; OSHIRO; MASUI, 2015). Para este tipo de veículo o desafio ainda é maior, pois depende de infraestrutura para a distribuição e abastecimento, além de inovações tecnológicas para o processo de extração do hidrogênio (ZAPATA; NIEUWENHUIS, 2010; CHRISTENSEN, 2011; OLTRA; SAINT JEAN, 2009; AHMAN, 2001; DIFIGLIO, 1997). Semelhante ao veículo elétrico, esta tecnologia não é desenvolvida no Brasil, e por enquanto não existem veículos circulando na frota.

Em diferentes etapas na linha do tempo, as três tecnologias - híbrido, elétrico e célula de combustível - aparecem como o futuro da propulsão automobilística, mas cada uma depende de soluções para atender à demanda do público (DIJK; YARIME, 2010; BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010) quanto ao preço, autonomia e facilidade de abastecimento. Além destas melhorias, por se tratar de tecnologias diferentes do motor a combustão interna, a manutenção destes veículos exige atendimento especializado, com equipamentos especiais e treinamento de pessoas para lidar com manutenção dos sistemas elétricos, e instalações de dispositivos nas residências para a carga de bateria (CARRILLO-HERMOSILLA; DEL RÍO; KONNOLA, 2010). No Gráfico 10 pode ser observado o volume de vendas dos veículos elétricos no mercado brasileiro.

Gráfico 10 – Participação de vendas de automóveis e comerciais leves elétricos (2005 a 2015)



Fonte: ANFAVEA, 2016

Nota: Veículos elétricos englobam versões de fonte elétrica interna ou externa e híbridos.

O cálculo de emissões de CO<sub>2</sub> dos veículos tem como variável o peso do veículo, o que aponta para uma relação entre peso e consumo de combustível. Em função desta relação, uma das soluções utilizadas pela indústria automobilística é a redução do peso dos veículos (PLOTKIN, 2009; SIMMONS *et al.*, 2015; NRC, 2015; OECD, 2009; DIFIGLIO, 1997), aplicando materiais mais leves em alguns componentes, simplificando mecanismos ou substituindo-os por dispositivos que desempenhem a mesma função, mas com menos componentes. No Brasil, o investimento na redução de peso e em outras melhorias, como aerodinâmica e resistência ao rolamento, ainda recebem investimento inferior em relação às matrizes para o desenvolvimento destas tecnologias (BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010).

### 5.3 DIFUSÃO E BARREIRAS À INOVAÇÃO AMBIENTAL NO SETOR AUTOMOTIVO

Neste item são discutidos os fatores que conduzem ao processo de difusão da inovação ambiental, e também serão tratadas as barreiras à inovação ambiental, comparando com os dados da pesquisa.

#### 5.3.1 Fatores da difusão da inovação ambiental no setor automotivo brasileiro

As inovações tecnológicas ambientais aplicadas no setor automotivo apresentam um processo de difusão, geralmente transnacional (DECHEZLEPRÊTRE; NEUMAYER; PERKINS, 2015), e têm como elementos indutores uma série de caminhos, que pode ser decorrentes da regulamentação (BERGEK; BERGGREN, 2014; BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010), estratégia das montadoras e fornecedores (DIJK; YARIME, 2010; AL-ALAWI; BRADLEY, 2013), demanda de mercado (DIJK; YARIME, 2010; BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010) ou ainda incentivos (BERGEK; BERGGREN, 2014; BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010; CASA CIVIL, 2012; AL-ALAWI; BRADLEY, 2013). Estas tecnologias foram introduzidas nos automóveis em diferentes épocas e a origem da inovação ambiental está relacionada à regulamentação, e aos carros de competição esportiva (ZAPATA; NIEUWENHUIS, 2010), com tecnologias desenvolvidas por uma montadora ou por um fornecedor e difundida para os concorrentes e clientes (DIJK; YARIME, 2010). A tecnologia existente pode ser aprimorada no futuro e passar a atender a uma nova realidade, muitas vezes em função da regulamentação ou exigência de mercado (BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010).

Esta movimentação caracteriza o processo de difusão, que conduz ao aprimoramento de uma tecnologia para atender a uma nova demanda, passando assim a ser aplicada como inovação ambiental, quando esta mudança serve para cumprir requisitos tecnológicos que reduzam o impacto ambiental e a emissão de poluentes. O processo de difusão percorre caminhos fragmentados (KARAKAYA; HIDALGO; NUUR, 2014), guiados para o cumprimento de uma demanda específica, e potencializados pela disponibilidade, influenciados pela demanda e pela relação entre os países.

Em função da inovação ambiental nem sempre ser percebida pelos consumidores, esta recebe influência da combinação de instrumentos, que resulta em inovação incremental, favorecendo o processo de difusão (OLTRA; SAINT JEAN, 2009; HORBACH, 2008). O público tem a percepção dos benefícios dos veículos com propulsão elétrica, e a difusão destas tecnologias está relacionada com a proximidade de custo entre os veículos com propulsão a combustão e os modelos elétricos, valores que podem ser influenciados por incentivos tributários e subsídios de fabricantes (AL-ALAWI; BRADLEY, 2013; SIMMONS *et al.*, 2015). No caso de tecnologia automotiva, a percepção social (ROGERS, 2003; SCHWARZ; ERNST, 2009) exerce influência sobre a difusão dos veículos com melhor eficiência energética. Além da percepção do público, a regulamentação de tecnologias específicas (BERGEK; BERGGREN, 2014; DIJK; YARIME, 2010), como o caso do veículo emissão zero (ZEV) da Califórnia nos anos de 1990, fomentou a difusão de veículos elétricos, que não se manteve ao longo do tempo em função do custo.

A tecnologia ambiental automotiva tem sido amplamente difundida entre as montadoras e também pelos fornecedores. A inovação pode se originar na montadora e ser adquirida por um fornecedor, o que potencializará a difusão (DIJK; YARIME, 2010; OLIVA, *et al.*, 2013). Citando um exemplo da aplicação deste processo, temos o caso da meta de eficiência energética dos EUA, que, para o período de 2017 a 2025 promoverá a difusão tecnológica, consolidando as tecnologias ambientais nos motores a gasolina (SIMMONS *et al.*, 2015). A economia de combustível (SIMMONS *et al.*, 2015) prevista para os EUA em médio prazo é de 5 a 15% em função da difusão de tecnologias como transmissões com mais velocidades, CVT, VVT, injeção direta e turbo com *downsizing* (TAYLOR, 2008; ZAPATA; NIEUWENHUIS, 2010; POSADA; FAÇANHA, 2015; BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010; PLOTKIN, 2009; SIMMONS *et al.*, 2015; NRC, 2015; DIJK; YARIME, 2010; DIFIGLIO, 1997; GÖLCÜ *et al.*, 2005; FONTANA; GALLONI, 2009; AHMAN, 2001). No Brasil, as tecnologias de comando de válvulas variável (VVT) e a transmissão continuamente variável (CVT) foram introduzidas pela Honda em 1997 e 2003 (SMITH, 2010), respectivamente, e a

difusão do VVT atualmente atinge quase 60% das versões do PBEV produzidas no Brasil e Argentina, e mais de 70% destas possuem a classificação A.

A regulamentação exerce função relevante na introdução de tecnologias automotivas. Os instrumentos regulatórios direcionam o desenvolvimento de novas soluções, e estes podem conduzir a uma regulamentação geral ou a uma tecnologia específica. Ambas as modalidades podem atuar de forma econômica, com incentivos ou taxas, ou regulatória, impondo padrões a serem cumpridos (BERGEK; BERGGREN, 2014; IVM, 2006). Além da regulamentação, a difusão pode ocorrer em função da demanda de mercado, ou por tecnologia empurrada, como ocorreu com o veículo a etanol (BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010). Esta tecnologia foi introduzida no mercado em 1979, com uma difusão em 27% das vendas no primeiro ano, estabilizando-se no ano seguinte. Com melhorias tecnológicas introduzidas em 1981, o veículo a etanol ampliou rapidamente a demanda de mercado, superando 90% em três anos (ANFAVEA, 2016), passando a prevalecer esta tecnologia no mercado nacional (BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010; SZKLO *et al.*, 2005). Este movimento de difusão do carro a etanol, ocorrido de 1979 a 1985, pode ser verificado no Gráfico 9. O fenômeno de queda na demanda deste tipo de motorização pode ser observado após o ano de 1988, em função do cenário macroeconômico desfavorável para o etanol.

Com a mudança na regulamentação tributária em 2002, a motorização bicombustível saiu do papel e se tornou uma inovação brasileira. Esta tecnologia foi apresentada no Brasil dez anos antes, mas ainda com o sensor para identificação de combustível, e no ano de 2000 a Magneti Marelli apresentou uma solução sem o uso deste sensor, mas as montadoras não demonstraram interesse. O veículo *flex* foi utilizado pelos EUA, desde a década de 1990, e possuía um sensor para a identificação do combustível. A solução brasileira foi a utilização do sensor de oxigênio para a detecção do combustível em uso, de forma a evitar a instalação de um sensor no veículo, que representaria custo. Esta tecnologia foi rapidamente difundida pelos fornecedores, passando a ser a motorização predominante no Brasil (BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010; ALVES; BRANDAO, 2007; OLIVA *et al.*, 2013). O veículo bicombustível foi gradualmente passando a equipar cada vez mais modelos, em função da demanda de mercado. Lançado em 2003, o veículo *flex* superou o motor a gasolina em dois anos, e em três anos consolidava sua posição de preferência nacional. Em cinco anos atingiu o patamar equivalente ao atual, mas a estabilidade total na preferência ocorreu após dez anos do lançamento, tempo de difusão ocorrido no Brasil que corrobora os estudos de Plotkin (2009).

Com o intuito de incentivar as montadoras a melhorar a eficiência dos veículos brasileiros, foi introduzido em 2008 o PBEV, mas não foi suficiente para uma difusão

tecnológica (BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010). A mudança aconteceu em 2012, com a publicação do programa INOVAR-AUTO, que estabeleceu metas para a eficiência da frota nacional. Este programa fomentou a difusão de inovações tecnológicas em modelos nacionais, como o *downsizing* e injeção direta de combustível.

Para o cumprimento de metas de redução de emissões de GEE, alguns países têm a oportunidade de melhorar a eficiência dos meios de transporte, como forma de contribuir para a mitigação das emissões de carbono (SIMMONS *et al.*, 2015; BERGEK; BERGGREN, 2014; CUENOT, 2009; DIJK; YARIME, 2010; ZAPATA; NIEUWENHUIS, 2010). Para atingir estas metas no mercado japonês, a difusão de tecnologias de veículos de alta eficiência, híbrido e híbrido *plug-in*, deverá ocorrer até 2030, e os veículos elétricos e a célula de combustível nas décadas posteriores. Se a fonte de energia para os veículos eletrificados for renovável, o resultado será ainda mais favorável para a redução de GEE (OSHIRO; MASUI, 2015). Para potencializar a difusão de tecnologias automotivas de aumento da eficiência energética, o fluxo internacional segue o caminho da similaridade regulatória, e não do rigor em si, estabelecendo ligação entre países com semelhança nos padrões de emissões para a difusão tecnológica (DECHEZLEPRÊTRE; NEUMAYER; PERKINS, 2015).

O caminho da difusão é fragmentado em função de atender a exigências variadas em diferentes países e regiões, com distintos padrões tecnológicos e histórico regulatório. A regulamentação da eficiência energética apresenta semelhança nas diretrizes, mas a herança tecnológica de cada região pode ter peculiaridades específicas, como é o caso do Brasil, que possui uma frota de veículos bicomcombustível, que levou uma década para atingir o padrão atual, mas ainda tem espaço para a melhoria tecnológica de eficiência energética, por utilizar dois combustíveis em um motor.

### **5.3.2 Motivos das barreiras da difusão ambiental**

A mudança do modelo tecnológico vigente no mercado potencializa benefícios por permitir a entrada de dispositivos menos poluentes, mas enfrenta algumas barreiras em função da necessidade de uma nova estrutura produtiva para atender ao novo padrão tecnológico. A entrada de um novo produto exige investimento no processo produtivo, que tem como objeção o retorno do investimento, em função da baixa escala. O equilíbrio ocorrerá com o aumento de volume, mas este cenário traz incertezas e riscos para o negócio, forçando a inovação incremental, que reduz estes fatores e facilita a difusão, em função do padrão tecnológico corrente ter melhor aceitação pelo público (UNRUH, 2002; DIJK; YARIME, 2010; BASTIN;

SZKLO; ROSA, 2010; CHRISTENSEN, 2011), bloqueando a entrada de novas tecnologias em função de as tecnologias ambientais não serem muito perceptíveis ao público (PLOTKIN, 2009).

No Brasil, a disponibilidade do etanol pode ser uma barreira para novas tecnologias, como o carro híbrido, em função de esse combustível ser renovável e de baixa emissão de carbono (BASTIN; SZKLO; ROSA, 2010). Outra barreira para a produção local de veículos híbridos é o volume. Semelhante ao que ocorre atualmente com veículos mais caros, de baixo volume, é a falta de escala para equilibrar o custo de produção local. Alguns modelos e tecnologias específicas, como o híbrido, têm valor elevado para o mercado brasileiro, portanto ainda não atingem o volume necessário que justifique a instalação de linhas de produção.

Para elevar o patamar de eficiência energética, organizações e governo podem atuar na exigência de padrões mais elevados, mas a definição de metas realistas que imponham melhorias significativas é crucial. Estabelecer limites de consumo de combustível pouco desafiadores funciona como barreira para a difusão de novas ou melhores tecnologias para o mercado (UNRUH, 2002; DIJK; YARIME, 2010; CUENOT, 2009; IVM, 2006).

## 6 CONCLUSÃO

O objetivo deste estudo foi objetivo analisar o processo de difusão da inovação ambiental incorporada à tecnologia de propulsão automotiva, para mitigar emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE).

As tecnologias implementadas para atender à legislação para redução de poluentes dos automóveis foram difundidas na frota em cumprimento à exigência. As mudanças tecnológicas continuam em curso, com a redução das emissões de poluentes dos automóveis. Estas ações são necessárias para assegurar a saúde pública e são monitoradas continuamente. Com as tecnologias para a melhoria dos níveis de poluentes, foram reduzidos os efeitos na saúde da população, mas outros gases passaram a ser o foco dos especialistas, desta vez as emissões dos Gases de Efeito Estufa (GEE).

Com o desafio de redução no consumo, a inovação tecnológica ambiental passa a fazer parte das estratégias das montadoras, com investimentos em P&D para o aumento da eficiência energética dos automóveis, incluindo mudanças no sistema de propulsão e demais partes do veículo. O objeto deste estudo abordou as tecnologias do sistema de propulsão, que estão relacionadas ao motor e à transmissão, sistemas que têm recebido diversas tecnologias, que já eram conhecidas pela indústria nacional, mas parte delas era exclusiva de modelos mais completos. A inovação, neste caso, ocorreu em função da adequação para o aumento da eficiência energética, anteriormente utilizada para o aumento de potência dos veículos. Tecnologias como turbocompressor e comando de válvulas variável, desde a década de 1990 equipavam poucos modelos, topo de linha, mas com a atual regulamentação essas tecnologias evoluíram e passaram a equipar modelos de entrada. O turbocompressor, ainda com pequena difusão, se encontra em apenas 8,6% das versões locais, e o VVT está presente em 57,9% das versões de veículos do PBEV, sendo que mais de 70% das versões com estas tecnologias têm classificação A. A tecnologia para redução do tamanho dos motores, o *downsizing*, entrou no mercado nacional com a introdução do motor de três cilindros. Dos veículos com motor três cilindros, aspirado ou turbo, 100% têm classificação A por categoria, e 82,9% na comparação geral. A injeção direta foi introduzida recentemente no Brasil, ainda com baixa difusão, em 8,1% dos veículos do PBEV, mas 65,5% das versões com esta tecnologia têm classificação A. Além da motorização, a transmissão também tem influência no consumo de combustível. Para oferecer maior conforto aos usuários, o leque de modelos tem se ampliado, com transmissões sem pedal de embreagem, como a automática, de dupla embreagem, automatizada e CVT.

Todas estas transmissões apresentam algum nível de perda de energia em relação à transmissão manual, a mais utilizada no Brasil.

A inovação tecnológica ambiental tem efetividade quando passa a ser usada amplamente, e o processo de difusão tem papel preponderante. A difusão avança por meio da comunicação da inovação, veiculada na linguagem percebida pelo público; no caso do automóvel, como avanço tecnológico, desempenho e economia de combustível. A exemplo das tecnologias do VVT e turbocompressor, ambas conhecidas da indústria nacional, e que passaram a se difundir para atender às exigências de aumento de eficiência dos motores e redução das emissões de CO<sub>2</sub>. Além das tecnologias conhecidas, existem outras novas para o Brasil, como a redução dos motores para três cilindros, *downsizing*, e a injeção direta, atualmente em processo ascendente de difusão no mercado nacional. A efetividade da difusão destas tecnologias ocorre normalmente por meio da regulamentação, em função de a inovação ambiental ter baixa percepção por parte do público, o que nos automóveis se traduz em aumento de eficiência. O Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular tem o papel de traduzir a eficiência dos veículos em economia de combustível, permitindo calcular o gasto com combustível.

Finalizando, a regulamentação fomentou a inovação tecnológica nacional, com a introdução do *downsizing* e injeção direta, e também a difusão de tecnologias conhecidas, como o turbocompressor e o comando de válvulas variável. Como a introdução de novas tecnologias em veículos de entrada tem como barreira o aumento no preço final do produto, a regulamentação atua como moderador tecnológico, promovendo a difusão de forma concatenada, resultando em melhoria da eficiência energética com ganhos na diminuição do consumo de combustível e redução das emissões do gás de efeito estufa, o CO<sub>2</sub>. Por outro lado, o ciclo atual de inovação incremental limita a entrada de tecnologias para uma redução mais significativa das emissões de CO<sub>2</sub> e consumo de combustível.

Esses resultados apresentam melhoria energética e redução de CO<sub>2</sub>, mas o nível e exigência da legislação nacional levar apenas a inovação incremental do motor a combustão interna do ciclo Otto. Somente os modelos elétricos ou com célula de combustível a hidrogênio eliminam as emissões e eliminam o consumo de combustíveis fósseis, mas a restrição ainda é o baixo volume de vendas, em função do custo de aquisição e manutenção. As tecnologias intermediárias do ciclo Otto, híbridos ou híbrido *plug-in*, promovem a inovação semi-radical, híbrido. As tecnologias de motorização elétrica oferecem a maior redução de GEE, mas estes ainda têm algumas barreiras à difusão. As maiores limitações são

o abastecimento, seja elétrico ou a hidrogênio, pela limitada autonomia dos elétricos, e o custo elevado devido à baixa escala de produção.

Outras barreiras limitam a difusão de inovações ambientais em veículos com propulsão elétrica, entre elas destaca os seguintes fatores: custos para um novo processo produtivo, risco em inovar sem uma perspectiva de aceitação do produto, custo unitário elevado pela baixa escala, exigência da regulamentação pouco desafiadora, e baixa adesão do público às novas tecnologias.

Um fator relevante para o setor automotivo é a previsibilidade, portanto um desdobramento da política energética do setor para o período pós INOVAR-AUTO contribuiria para o planejamento das montadoras, ajustando os investimentos e estratégias dos próximos anos. O incentivo à redução do consumo de combustível desencadeado pelo programa INOVAR-AUTO é um elemento propagador para a melhoria da eficiência energética da frota. Uma oportunidade de aprimoramento tecnológico é o motor bicomustível, que tem espaço para receber inovações, introduzindo soluções para o aumento de eficiência para cada um dos combustíveis.

## 6.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A análise de frota se baseia nas versões de veículos do PBEV, visando refletir a difusão tecnológica nas versões de veículos ofertados no Brasil; porém, o uso de todas as versões pode distorcer a real proporção de veículos com tecnologias ambientais, em função de as tecnologias se repetirem em mais de uma versão.

O estudo levou em consideração as versões atuais do PBEV. Para ampliar a percepção da difusão seria necessário analisar as mesmas tecnologias nos anos anteriores para identificar o processo de difusão tecnológica.

A taxa de compressão elevada não foi identificada pelo método aplicado neste estudo, em função de ele avaliar os dados dos veículos da tabela PBEV de 2016, sendo necessário verificar se houve mudança ao longo do tempo. A taxa de compressão dos veículos brasileiros apresenta uma variação maior que a de outros mercados em função de os motores serem predominantemente *flex*, que utilizam uma faixa intermediária para atender a ambos os combustíveis.

A aplicação da tecnologia *downsizing* pode não ter sido detectada plenamente. A avaliação usou como base motores três cilindros e com turbocompressor, e eventualmente

algum motor pode estar fora destes parâmetros, e se tiver sido reduzido de tamanho, não terá sido detectado por estar fora destes dois critérios.

## 6.2 RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Para um estudo futuro, sugere-se selecionar os modelos de veículos por motorização, e respectivas variantes de acessórios, reduzindo a amostra de forma a considerar a tecnologia somente uma vez por modelo de veículo.

Visando aumentar a amostra e identificar outras tecnologias não utilizadas no Brasil, também é recomendada a análise da frota completa, nacional e importada.

O estudo levou em consideração as versões 2016 do PBEV. Para ampliar a percepção da difusão seria necessário analisar as mesmas tecnologias nos anos anteriores, para identificar o processo de difusão tecnológica, além de identificar algumas tecnologias não detectadas pelo método, como a taxa de compressão elevada, ou parcialmente, como o *downsizing*. Também se recomenda a pesquisa dos modelos com a tecnologia para desligar o motor em marcha lenta (*start stop*).

O sistema de ar condicionado tem participação relevante no consumo de combustível e tem se difundido no mercado nacional nos últimos anos. Fica como sugestão um estudo futuro sobre sistemas de ar condicionado mais eficientes.

Para uma percepção mais detalhada da difusão, o cruzamento destes dados com o volume de vendas proporcionaria uma visão do mercado brasileiro, mapeando as tecnologias e respectivos volumes da frota circulante.

O fluxo das tecnologias ambientais pode ser objeto de um novo estudo, com o levantamento da difusão internacional entre países envolvidos e respectivas montadoras.

## REFERÊNCIAS

- AHMAN, M. Primary energy efficiency of alternative powertrains in vehicles. **Energy**, v. 26, p. 973–989, nov.2001.
- AL-ALAWI, B. M.; BRADLEY, T. H. Review of hybrid, plug-in hybrid, and electric vehicle market modeling Studies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 21, p. 190–203, maio 2013.
- ALVES, M. D. L.; BRANDAO, L. E. T. Automóvel Flex fuel: Quanto vale a opção de escolher o Combustível? In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM ADMINISTRAÇÃO, 2007, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Enanpad,2007. p. 1–14.
- ANFAVEA - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**, 2016. Disponível em: < <http://www.anfavea.com.br/>> Acesso em: 22 abr. 2016.
- ANGELO, F. D.; JABBOUR, C. J. C.; GALINA, S. V. R. Inovação Ambiental: das imprecisões conceituais a uma definição comum no âmbito da Gestão Ambiental proativa. **GEPROS**, v. 4, p. 143–155, out./dez. 2011.
- BALASSIANO, R. Um procedimento metodológico para priorização de intervenções de gerenciamento da mobilidade. **Revista Cetrana (UFBA)**, Salvador, v.1, p. 27-34, 2004.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. 5 ed. Lisboa: Edições 70, 2009.
- BASTIN, C.; SZKLO, A.; ROSA, L. P. Diffusion of new automotive technologies for improving energy efficiency in Brazil' s light vehicle fleet. **Energy Policy**, Rio de Janeiro, v. 38, n. 7, p. 3586–3597, jul. 2010.
- BERG, Bruce Lawrence; LUNE, Howard. **Qualitative research methods for the social sciences**. Boston: Pearson, 2004.
- BERGEK, A.; BERGGREN, C. The impact of environmental policy instruments on innovation: A review of energy and automotive industry studies. **Ecological Economics**, v. 106, p. 112–123, out. 2014.
- BOCKEN, N. M. P. *et al.* The front-end of eco-innovation for eco-innovative small and medium sized companies. **Journal of Engineering and Technology Management - JET-M**, Cambridge, v. 31, n. 1, p. 43–57, jan./mar. 2014.
- CANÇADO, J. E. D. *et al.* Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, São Paulo, v. 32, n. Supl 1, p. S5 – S11, maio 2006.
- CARRILLO-HERMOSILLA, J.; DEL RÍO, P.; KÖNNÖLÄ, T. Diversity of eco-innovations: Reflections from selected case studies. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 10-11, p. 1073–1083, jul. 2010.

CARVALHO, J. L. R. DE; MACHADO, M. N. DA M.; MEIRELLES, A. D. M. Mudanças climáticas e aquecimento global: implicações na gestão estratégica de empresas do setor siderúrgico de Minas Gerais. **Cadernos EBAPE. BR**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 2, p. 220–244, jun. 2011.

CARVALHO, T. S.; PEROBELLI, F. S. Avaliação da intensidade de emissões de CO<sub>2</sub> setoriais e na estrutura de exportações: um modelo inter-regional de insumo-produto São Paulo/restante do Brasil. **Economia Aplicada**, Ribeirão Preto, v. 13, p. 99–124, jan./mar. 2009.

CARVALHO, V. S. B. *et al.* Air quality status and trends over the Metropolitan Area of São Paulo, Brazil as a result of emission control policies. **Environmental Science & Policy**, v. 47, p. 68–79, mar. 2015.

CASA CIVIL. Presidência da república. **Decreto Nº 7.819, de 3 de outubro de 2012**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/Decreto/D7819.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/Decreto/D7819.htm)>. Acesso em: 15 ago. 2015.

CHRISTENSEN, T. B. Modularised eco-innovation in the auto industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 2-3, p. 212–220, jan./fev. 2011.

CHRISTENSEN, T. B.; WELLS, P.; CIPCIGAN, L. Can innovative business models overcome resistance to electric vehicles? Better Place and battery electric cars in Denmark. **Energy Policy**, Roskilde, v. 48, p. 498–505, set. 2012.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº 354, de 13 de dezembro de 2004**. Dispõe sobre os requisitos para adoção de sistemas OBD nos veículos automotores leves objetivando preservar a funcionalidade dos sistemas de controle de emissão. 2004. Disponível em: <[www.ibama.gov.br/phocadownload/category/4?download=171%3A354-13-2004](http://www.ibama.gov.br/phocadownload/category/4?download=171%3A354-13-2004)>. Acesso em: 04 ago. 2009.

\_\_\_\_\_. **Resolução nº 415, de 24 de setembro de 2009**. Dispõe sobre nova fase (PROCONVE L6) de exigências do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores- PROCONVE para veículos automotores leves novos de uso rodoviário e dá outras providências. 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=615>>. Acesso em: 16 fev. 2016.

CONEMA - CONSELHO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução CONEMA Nº 70, de 19 de janeiro de 2016**. Rio de Janeiro, jan. 2016. Disponível em: <[http://www.mprj.mp.br/documents/112957/12456427/RESOLUO\\_CONEMA\\_N\\_70\\_DE\\_19\\_DE\\_JANEIRO\\_DE\\_2016.pdf](http://www.mprj.mp.br/documents/112957/12456427/RESOLUO_CONEMA_N_70_DE_19_DE_JANEIRO_DE_2016.pdf)>. Acesso em: 15 mai. 2016.

CONTRAN - CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Resolução Nº 396, de 13 de dezembro de 2011**. Disponível em: <[http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/RESOLUCAO\\_CONTRAN\\_396\\_11.pdf](http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/RESOLUCAO_CONTRAN_396_11.pdf)>. Acesso em: 26 fev. 2016.

COOPER, R. G.; EDGETT, S. J. Maximizing productivity in product innovation. **Industrial Research Institute**, p. 47-58, mar./abr. 2008.

CUENOT, F. CO<sub>2</sub> emissions from new cars and vehicle weight in Europe: How the EU regulation could have been avoided and how to reach it? **Energy Policy**, v. 37, n. 10, p. 3832–3842, out. 2009.

DAVILA, T.; EPSTEIN, M. J.; SHELTON, R. **As regras da Inovação: Como gerenciar, como medir e como lucrar**. Porto Alegre: Bookman, 2007.

DECHEZLEPRÊTRE, A.; NEUMAYER, E.; PERKINS, R. Environmental regulation and the cross-border diffusion of new technology: evidence from automobile patents February 2012 Centre for Climate Change Economics and Policy. **Research Policy**, v. 44, n. 85, p. 244–257, fev. 2015.

DIFIGLIO, C. Using advanced technologies to reduce motor vehicle greenhouse gas emissions. **Energy Policy**, Washington DC, v. 25, n. 14-15, p. 1173–1178, dez. 1997.

DIJK, M.; YARIME, M. The emergence of hybrid-electric cars: Innovation path creation through co- evolution of supply and demand. **Technological Forecasting & Social Change**, Maastricht, v. 77, n. 8, p. 1371–1390, out. 2010.

EPA - 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**. 2012. Disponível em: <<http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P100EZ7C.PDF?Dockey=P100EZ7C.PDF>>. Acesso em: 28 abr. 2016

EUROPEAN COMMISSION. **Competitiveness and Innovation Framework Programme 2007 to 2013**. Brussels. 2007. Disponível em: <[http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/legal\\_basis/fp/h2020-eu-establact\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/legal_basis/fp/h2020-eu-establact_en.pdf)>. Acesso em: 16 jul. 2015

FONTANA, G.; GALLONI, E. Variable valve timing for fuel economy improvement in a small spark-ignition engine. **Applied Energy**, v. 86, n. 1, p. 96–105, jan. 2009.

FREITAS, C. *et al.* Internações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 38, n. 6, p. 751–757, dez. 2004.

GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de Administração de Empresas da EAESP/FGV**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 57-63, mar./abr. 1995.

GODOY, S. G. M. de. Projetos de redução de emissões de gases estufa: desempenho e custos de transação. **Revista de Administração**, São Paulo, v. 48, n. 2, p. 310–326, abr./jun. 2013.

GÖLCÜ, M. *et al.* Artificial neural-network based modeling of variable valve-timing in a spark-ignition engine. **Applied Energy**, Kinikli, v. 81, n. 2, p. 187–197, jun. 2005.

GUIMARÃES, L. E.; LEE, F. Levantamento do perfil e avaliação da frota de veículos de passeio brasileira visando racionalizar as emissões de dióxido de carbono. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v.22, n.3, p. 577–592, dez. 2010.

HORBACH, J. Determinants of environmental innovation - New evidence from German panel data sources. **Research Policy**, v. 37, n. 1, p. 163–173, fev. 2008.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores - PROCONVE/PROMOT/IBAMA**, 3 ed. Brasília: Ibama/Diqua, 2011.

\_\_\_\_\_. **Instrução normativa N.º 24, de 28 de agosto de 2009**. Disponível em: <[www.ibama.gov.br/phocadownload/category/4?download=184%3A24-28-2009](http://www.ibama.gov.br/phocadownload/category/4?download=184%3A24-28-2009)>. Acesso em: 11 mar. 2016.

ICCT - INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION. **Brazil Inovar-Auto fiscal incentive program Update**. 2015a. Disponível em: <<http://www.theicct.org/brazil-inovar-auto-fiscal-incentive-program-updates>>. Acesso em: 31 jan. 2015.

\_\_\_\_\_. **CO<sub>2</sub> emissions from new passenger cars in the EU: Car manufacturers' performance in 2014**. 2015b. Disponível em: [http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTbriefing\\_EU-CO2\\_201507.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTbriefing_EU-CO2_201507.pdf)> Acesso em: 1 mai. 2016.

\_\_\_\_\_. **China phase 4 passenger car fuel Consumption standard proposal**. 2014a. Disponível em: <[http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTupdate\\_ChinaPhase4\\_mar2014.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTupdate_ChinaPhase4_mar2014.pdf)>. Acesso em: 28 abr. 2016.

\_\_\_\_\_. **EU CO<sub>2</sub> emission standards for passenger cars and light-commercial vehicles**. 2014b. Disponível em: <[http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTupdate\\_EU-95gram\\_jan2014.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTupdate_EU-95gram_jan2014.pdf)>. Acesso em: 1 mai. 2016.

\_\_\_\_\_. **Light-duty vehicle efficiency standards**. Japan. 2015c. Disponível em: <[http://www.theicct.org/sites/default/files/info-tools/pvstds/Japan\\_PVstds-facts\\_jan2015.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/info-tools/pvstds/Japan_PVstds-facts_jan2015.pdf)>. Acesso em: 3 mai. 2016.

\_\_\_\_\_. **Light-duty vehicle efficiency standards**, United States. 2014c. Disponível em: <[http://www.theicct.org/sites/default/files/info-tools/pvstds/US\\_PVstds-facts\\_dec2014.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/info-tools/pvstds/US_PVstds-facts_dec2014.pdf)>. Acesso em: 3 mai. 2016.

\_\_\_\_\_. **South Korea fuel economy and greenhouse gas standards for new light-duty vehicles (2016–2020)**. 2015d. Disponível em: <[http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/S.Korea%20FE%20GHG%20Policy%20Update\\_vFinal.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/S.Korea%20FE%20GHG%20Policy%20Update_vFinal.pdf)>. Acesso em: 30 abr. 2016.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Transport, Energy and CO<sub>2</sub> - Moving Towards Sustainability. **International Energy Agency**, Paris, 2009. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/transport2009.pdf>>. Acesso em: 21 jun. 2015.

\_\_\_\_\_. Energy Climate and Change - World Energy Outlook Special Report. **International Energy Agency**, Paris, 2015. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2015SpecialReportonEnergyandClimateChange.pdf>>. Acesso em: 05 dez. 2015.

IVM - Institute for Environmental Studies. **Innovation dynamics induced by environmental policy**: final report. Nov. 2006. Disponível em: <[http://ec.europa.eu/environment/enveco/policy/pdf/2007\\_final\\_report\\_conclusions.pdf](http://ec.europa.eu/environment/enveco/policy/pdf/2007_final_report_conclusions.pdf)> Acesso em: 28 jun. 2015.

JACOMOSSI, R. *et al.* Os fatores determinantes da eco-inovação: um estudo de caso a partir de uma indústria gráfica brasileira. In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE - ENGEMA, 2013, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ENGEMA, 2013, p. 2725-2741.

JIN, Y.-F. *et al.* Review and evaluation of China's standards and regulations on the fuel consumption of motor vehicles. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 20, n. 5, p. 735–753, jun. 2015.

JUNQUEIRA, M. S. D. “Adicionalidade” ambiental do álcool combustível: um benefício ambiental verdadeiro ou somente mais uma matriz energética – um estudo do ciclo de vida deste combustível. **RAE-Eletrônica**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 11, jan./jun. 2002.

KARAKAYA, E.; HIDALGO, A.; NUUR, C. Diffusion of eco-innovations: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 33, p. 392–399, maio 2014.

KEMP, R.; ARUNDEL, A. Survey Indicators for Environmental Innovation. **IDEA Paper Series Report**, n.8, p.1-26, 1998. Disponível em: <<http://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/226478/Idea8.pdf?sequence=1>> Acesso em: 01 jan. 2016.

KEMP, R.; PEARSON, P. **Final report MEI project about measuring eco-innovation**. p.1-47, 2007. Disponível em: <<http://www.oecd.org/env/consumption-innovation/43960830.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2015.

KEMP, R.; PONTOGLIO, S. The innovation effects of environmental policy instruments — A typical case of the blind men and the elephant? **Ecological Economics**, v. 72, p. 28–36, dez. 2011.

KNELLER, R.; MANDERSON, E. Environmental regulations and innovation activity in UK manufacturing industries. **Resource and Energy Economics**, v. 34, n. 2, p. 211–235, maio 2012.

KOUSOULIDOU, M. *et al.* Road-transport emission projections to 2020 in European urban environments. **Atmospheric Environment**, v. 42, n. 32, p. 7465–7475, out. 2008.

LEE, J.; BERENTE, N. The era of incremental change in the technology innovation life cycle : An analysis of the automotive emission control industry. **Research Policy**, v. 42, n. 8, p. 1469–1481, set. 2013.

LEE, J. *et al.* Forcing technological change: A case of automobile emissions control technology development in the US. **Technovation**, v. 30, n. 4, p. 249–264, abr. 2010.

LIPSCY, P. Y.; SCHIPPER, L. Energy efficiency in the Japanese transport sector. **Energy Policy**, v. 56, p. 248–258, maio 2013.

MDIC - MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR, **Portaria n.º 391, de 04 de novembro de 2008**. Regulamento de Avaliação da Conformidade para Etiquetagem de Veículos Leves de Passageiros e Comerciais Leves com Motores do Ciclo Otto. 2008. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001380.pdf>>. Acesso em: 29 fev. 2016.

\_\_\_\_\_. **Portaria n.º 377, de 29 de setembro de 2011**. Regulamento de Avaliação da Conformidade para Etiquetagem de Veículos Leves de Passageiros e Comerciais Leves com Motores de Ciclo Otto. 2011. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001739.pdf>>. Acesso em: 03 jun. 2016.

\_\_\_\_\_. **Portaria n.º 522, de 31 de outubro de 2013**. Requisitos de Avaliação da Conformidade para Veículos Leves de Passageiros e Comerciais Leves. 2013. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002039.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2016.

\_\_\_\_\_. **Portaria n.º 285, de 19 de junho de 2015**. Aperfeiçoamento dos Requisitos de Avaliação da Conformidade para Veículos Leves de Passageiros e Comerciais Leves. 2015. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002264.pdf>>. Acesso em: 17 maio 2016.

\_\_\_\_\_. **Portaria n.º 15, de 14 de janeiro de 2016**. Requisitos de Avaliação da Conformidade-RAC para Veículos Leves de Passageiros e Comerciais Leves. 2016. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002358.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2016.

\_\_\_\_\_. **Setor automotivo**. [2015]. Disponível em: <<http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=2&menu=327>>. Acesso em: 09 fev. 2016.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários, 2013**. 2013. Disponível em: <[http://www.feam.br/images/stories/inventario/inventario\\_Ar/2014-05-27%20inventrio%202013.pdf](http://www.feam.br/images/stories/inventario/inventario_Ar/2014-05-27%20inventrio%202013.pdf)>. Acesso em: 12 abr. 2016.

NRC – NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Cost, effectiveness, and deployment of fuel economy technologies for light-duty vehicles**. Washington, DC: National Academy Press, 2015.

OECD - ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Oslo manual, the measurement of scientific and technological activities**. Paris: OECD Publishing, 2005.

\_\_\_\_\_. **Sustainable manufacturing and eco-innovation: framework, practices and measurement**. Paris, 2009. Disponível em:  
<<http://www.oecd.org/innovation/inno/43423689.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2015.

OLIVA, F. L. *et al.* Risks and strategies in a Brazilian innovation - Flexfuel technology. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 25, n. 6, p. 916–930, jun. 2013.

OLTRA, V.; SAINT JEAN, M. Sectoral systems of environmental innovation: An application to the French automotive industry. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 76, n. 4, p. 567–583, maio 2009.

OSHIRO, K.; MASUI, T. Diffusion of low emission vehicles and their impact on CO<sub>2</sub> emission reduction in Japan. **Energy Policy**, v. 81, p. 215–225, jun. 2015.

PETROBRAS/CONPET. Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular. **Consulta de Veículos Leves**. 2016. Disponível em:  
<<http://pbeveicular.petrobras.com.br/TabelaConsumo.aspx>>. Acesso em: 09 maio de 2016.

\_\_\_\_\_. **Petrobras aprimora versão do aplicativo gratuito do CONPET com consumo de combustível de automóveis**. 2014. Disponível em:  
<[http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt\\_br/noticia/petrobras-aprimora-versao-do-aplicativo-gratuito-do-conpet-com-consumo-de-combustivel-de-automoveis.shtml](http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt_br/noticia/petrobras-aprimora-versao-do-aplicativo-gratuito-do-conpet-com-consumo-de-combustivel-de-automoveis.shtml)>. Acesso em: 07 jun. 2016.

PLOTKIN, S. E. Examining fuel economy and carbon standards for light vehicles. **Energy Policy**, v. 37, n. 10, p. 3843–3853, out. 2009.

POSADA, F.; FAÇANHA, C. **Brazil Passenger Vehicle Market Statistics** - International comparative assessment of technology adoption and energy consumption. ICCT. [S.l: s.n.], 2015. Disponível em:  
<<http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/Brazil%20PV%20Market%20Statistics%20Report.pdf>>. Acesso em: 04 de jan. de 2016.

REID, A.; MIEDZINSKI, M. **Eco-innovation: final report for sectoral innovation watch**. 2008. Disponível em: <[www.technopolis-group.com](http://www.technopolis-group.com)>. Acesso em: 16 jul. 2015.

RENNINGS, K. Redefining innovation—eco-innovation research and the contribution from ecological economics. **Ecological economics**, v. 32, n. 2, p. 319–332, fev. 2000.

RIBEIRO, S. K.; ABREU, A. A. de. Brazilian transport initiatives with GHG reductions as a co-benefit. **Climate Policy**, v. 8, p. 220–240, jan. 2008.

ROGERS, E. **Diffusion of innovations**. New York: Free Press; 2003.

SCHIEDERIG, T.; TIETZE, F.; HERSTATT, C. Green Innovation in Technology and Innovation Management – an Exploratory literature Review. **R&D Management**, v. 42, n. 2, p. 180–192, mar. 2012.

SCHWARZ, N.; ERNST, A. Agent-based modeling of the diffusion of environmental innovations - An empirical approach. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 76, n. 4, p. 497–511, maio 2009.

SILVA, A. T. B. da *et al.* Cenários prospectivos para o comércio internacional de etanol em 2020. **Revista de Administração**, São Paulo, v. 48, n. 4, p. 727–738, out./dez. 2013.

SIMMONS, R. A. *et al.* A benefit-cost assessment of new vehicle technologies and fuel economy in the U.S. market. **Applied Energy**, v. 157, p. 940–952, nov. 2015.

SMITH, Cristina Bastin. **Análise da difusão de novas tecnologias automotivas em prol da eficiência energética na frota de novos veículos leves no Brasil**. 2010. 278 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

SZKLO, A. S. *et al.* Brazilian energy policies side-effects on CO<sub>2</sub> emissions reduction. **Energy Policy**, v. 33, n. 3, p. 349–364, fev. 2005.

TAYLOR, A. M. K. P. Science review of internal combustion engines. **Energy Policy**, v. 36, p. 4657–4667, dez. 2008.

UNFCCC - UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Kyoto Protocol reference manual on accounting of emissions and assigned amount**. nov. 2008.

UNRUH, G. C. Escaping carbon lock-in. **Energy Policy**, v. 30, p. 317–325, mar. 2002.

VINNOVA. **Drivers of environmental innovation**. 2001. Disponível em: <<http://www.vinnova.se/upload/EPiStorePDF/vf-01-01.pdf>> Acesso em: 01 jan 2016.

WONG, C. Y. *et al.* Examining the patterns of innovation in low carbon energy science and technology: Publications and patents of Asian emerging economies. **Energy Policy**, v. 73, p. 789–802, out. 2014.

YALABIK, B.; FAIRCHILD, R. J. Customer, regulatory, and competitive pressure as drivers of environmental innovation. **International Journal of Production Economics**, v. 131, n. 2, p. 519–527, 2011.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

ZAPATA, C.; NIEUWENHUIS, P. Exploring innovation in the automotive industry: new technologies for cleaner cars. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 1, p. 14–20, jan. 2010.

## GLOSSÁRIO

### C

CAFC - *Corporate-Average Fuel Consumption*: Média corporativa de consumo de combustível, padrão de medição de consumo da China

CAFE - *Corporate Average Fuel Economy*: Média corporativa de economia de combustível, padrão de medição de consumo dos EUA

CARB - *California Air Resources Board*: Agência de Proteção Ambiental da Califórnia

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CE - Consumo energético estabelecido como meta do programa INOVAR-AUTO

CO - Monóxido de carbono emitido pelo escapamento dos automóveis

CO<sub>2</sub> - dióxido de carbono emitido em gCO<sub>2</sub>/km – gramas de CO<sub>2</sub> por quilometro, ou pelo sistema Britânico, gCO<sub>2</sub>/milha – gramas de CO<sub>2</sub> por milha (1,609 km)

Consumo de combustível - km/l - quilômetros por litro de combustível; do sistema Britânico: mpg - milhas por galão (3,78541 l); China, l/100 km – litros de combustível consumido a cada 100 quilômetros

CVT - *Continuously Variable Transmission*: transmissão continuamente variável

### E

Eficiência energética – unidade do PBEV em MJ/Km - megajoules por quilômetro

EPA - *Environmental Protection Agency*: Agência de Proteção Ambiental dos EUA

### F

ft<sup>2</sup> – pé quadrado, unidade de área do sistema Britânico

### G

GEE - Gases de efeito estufa, responsáveis pelo aquecimento global

### H

HC – Hidrocarboneto emitido pelo escapamento dos automóveis

### I

ICCT – *International Council on Clean Transportation*: Conselho internacional de transportes limpos

IEA – *International Energy Agency*: Agência Internacional de Energia

INOVAR-AUTO - Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores

IVM - *Institute for Environmental Studies* – Instituto para estudos ambientais

**L**

LIM – Lâmpada Indicadora de Mau Funcionamento do sistema OBD II, instalada no painel de instrumento

**N**

NHTSA - *Department of Transportation's National Highway Traffic Safety Administration*:

Departamento Nacional de Rodovias e Administração de Segurança de Tráfego (EUA)

NO<sub>x</sub> - óxidos de nitrogênio emitido pelo escapamento dos automóveis

**O**

OBD - *On-Board Diagnose*: Sistemas de Diagnose a Bordo para monitoramento eletrônico de emissões tóxicas

OECD - *Organisation for Economic Co-operation and Development*: OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

**P**

PBEV – Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular

Peso em ordem de marcha – veículo pronto para o uso com todos os equipamentos e fluidos, incluindo óleo, combustível, água, fluido de freio e todos necessários para o funcionamento.

Nesta medição não entra o motorista.

PROCONVE - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores

**V**

VVT - *Variable Valve Timing*: comando de válvulas variável