

A regulamentação como indutora de tecnologias ambientais para a redução de emissões tóxicas em veículos leves no Brasil

ORLANDO DE SALVO JUNIOR¹

MARIA TEREZA SARAIVA DE SOUZA¹

¹ CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI, SÃO PAULO – SP, BRASIL

Resumo

Nas últimas décadas, diversos países adotaram ações para mitigar as emissões tóxicas dos automóveis e, principalmente, reduzir riscos à saúde pública. Pesquisas indicam uma relação estatisticamente significativa entre monóxido de carbono (CO) e doenças respiratórias. A regulamentação teve um papel vital na definição de metas e padrões que fomentaram o desenvolvimento tecnológico dos automóveis. O objetivo deste artigo é analisar o papel da regulamentação como indutora da inovação tecnológica ambiental na redução de emissões tóxicas de veículos leves fabricados no Brasil. Realizou-se uma pesquisa qualitativa descritiva de base documental. A difusão dessas tecnologias no Brasil mostra defasagem cronológica entre a implementação das fases da legislação Euro e do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). Os resultados da pesquisa mostram que a regulamentação fomentou a difusão da inovação tecnológica ambiental, com a introdução de injeção eletrônica de combustível, catalisador e melhoria da motorização. Diante das mudanças identificadas, a regulamentação leva a um processo de balanceamento tecnológico entre as montadoras com ganho de escala, de modo a favorecer a difusão de tecnologias ambientais para mitigar as emissões de gases tóxicos.

Palavras-chave: Tecnologias ambientais. Regulamentação ambiental. Ecoinovação. Veículos leves. Redução de emissões de gases tóxicos.

Regulation as inductor of environmental technologies for the reduction of toxic emissions from light vehicles in Brazil

Abstract

In recent decades many countries have taken actions to reduce toxic emissions from cars and, especially, reduce risks to public health. Research indicates a statistically significant relationship between carbon monoxide (CO) and respiratory diseases. Regulations were vital to set targets and standards that fostered the technological improvement of automobiles. The goal of this research was to analyze the role of regulation as an inductor to automotive environmental technologies in the reduction of toxic emissions from light vehicles manufactured in Brazil. A qualitative descriptive research with a documentary base was carried out. The diffusion of these technologies in Brazil shows a chronological gap between the implementation phases of the European regulations and Program for the Control of Air Pollution from Automotive Vehicle (PROCONVE). Research results show that regulation has fostered the diffusion of environmental technological innovation, with the introduction of electronic fuel injection, catalytic converter and engine improvement. According to the changes identified, legislation leads to a technological balancing process among car manufacturers with a scale gain, in order to promote the diffusion of environmental technologies to reduce emissions of toxic gases.

Keywords: Environmental Technologies. Environmental Regulation. Eco-innovation. Light vehicles. Emission reductions of toxic gases.

La reglamentación como inductora de tecnologías ambientales para la reducción de emisiones tóxicas de vehículos livianos en Brasil

Resumen

En las últimas décadas muchos países han tomado medidas para mitigar las emisiones tóxicas de los automóviles y, sobre todo, reducir los riesgos para la salud pública. Las investigaciones indican una relación estadísticamente significativa entre el monóxido de carbono (CO) y las enfermedades respiratorias. La reglamentación tuvo un papel vital en el establecimiento de metas y estándares que fomentaron el desarrollo tecnológico de los automóviles. El objetivo de esta investigación es analizar el papel de la legislación como inductora de la innovación tecnológica ambiental en la reducción de emisiones tóxicas de los vehículos livianos fabricados en Brasil. Para lograr este objetivo, se realizó una investigación cualitativa descriptiva de base documental. La difusión de estas tecnologías en Brasil muestra el desfase cronológico entre las fases de implantación de la reglamentación en Europa y del Programa de Control de Contaminación del Aire por Vehículos Automotores (PROCONVE) en Brasil. Los resultados de la investigación muestran que la reglamentación fomentó la difusión de la innovación tecnológica ambiental, con la introducción de inyección electrónica de combustible, conversión catalítica y mejora en los motores. Ante los cambios identificados, la legislación lleva a un proceso de equilibrio tecnológico entre los fabricantes de automóviles con economías de escala, con el fin de promover la difusión de tecnologías ambientales para mitigar las emisiones de gases tóxicos.

Palabras clave: Tecnologías ambientales. Reglamentación ambiental. Vehículos livianos. Ecoinnovación. Reducción de emisiones de gases tóxicos.

Artigo submetido em 07 de outubro de 2016 e aceito para publicação em 27 de julho de 2018.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1679-395164314>

INTRODUÇÃO

O modelo de utilização do transporte individualizado tem levado a um aumento do consumo de energia e, como consequência, ao aumento das 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 esse setor tem provocado. As emissões dos meios de transporte, inclusive dos veículos leves, têm chamado a atenção por afetar a saúde pública. Essa realidade foi apontada por diversos estudos (FREITAS, BREMNER, GOUVEIA et al., 2004; CANÇADO, BRAGA, PEREIRA et al., 2006; CARVALHO, FREITAS, MARTINS et al., 2015; BERGEK e BERGGREN, 2014) 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.

Segundo Carvalho, Freitas, Martins et al. (2015), a poluição do ar tem afetado a saúde da população e, entre as principais fontes emissoras de poluentes nas regiões metropolitanas, os automóveis e outros meios de transporte terrestre têm sido apontados como os causadores desse desequilíbrio ambiental. Entre os principais poluentes emitidos pelos automóveis se destacam: monóxido de carbono (CO); óxidos de nitrogênio (NO_x); e hidrocarbonetos (HC) – estes dois últimos são precursores do ozônio (O₃). Como efeito dos poluentes originados da queima de combustíveis fósseis, os autores apontam o aumento da mortalidade e da incidência de doenças relacionadas ao sistema respiratório (CANÇADO, BRAGA, PEREIRA et al., 2006).

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 esses limites eram seguros, mas somente na década de 1980, com o advento da computação, tornou-se possível uma análise mais precisa dos efeitos na saúde. Uma pesquisa com análises estatísticas da qualidade do ar, no período de 1993 a 1997, identificou relação estatisticamente significativa entre o CO e a incidência de doenças relacionadas ao sistema respiratório, bem como aumento da mortalidade – principalmente entre os idosos. O O₃ também apresentou relação com doenças respiratórias (FREITAS, BREMNER, GOUVEIA et al., 2004).

Os automóveis são responsáveis pelo maior volume das emissões de gases tóxicos na atmosfera. Para mudar esse cenário, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabeleceu, em 1986, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). Segundo Carvalho, Freitas, Martins et al. (2015), no período de 1996 a 2009 ocorreram reduções da concentração de CO e NO_x na Região Metropolitana de São Paulo apesar da frota mais do que dobrar durante esses anos.

Para Lee, Veloso, Hounshell et al. (2010), o rigor da legislação ambiental constitui um desafio para as montadoras e os fornecedores; os autores também apontam a política regulatória de comando e controle como um dos principais fatores do cumprimento da legislação ambiental automobilística nos Estados Unidos da América (EUA). A partir de 1960, os membros da OCDE estimularam o desenvolvimento de tecnologias para a redução das emissões de fontes móveis e, nas décadas seguintes, houve a redução dos limites de emissões estabelecida pela legislação em diversos países. Os instrumentos de controle, tecnológicos ou econômicos, levaram a diferentes tipos de inovação (BERGEK e BERGGREN, 2014). A regulamentação de emissões automotivas nos EUA começou em meados dos anos de 1970, avançando na década de 1990, com a introdução do programa de veículos com baixas emissões. A regulamentação ambiental automotiva europeia iniciou em 1985, visando à redução das emissões dos gases tóxicos (DIJK e YARIME, 2010). Em 1979, o Japão introduziu o primeiro padrão para economia de combustível (LIPSCY e SCHIPPER, 2013).

Em função do impacto no meio ambiente das emissões tóxicas dos automóveis, a indústria automobilística tem atuado de modo compassado com a regulamentação. Nas últimas décadas ocorreram diversas ações para atender às novas regulamentações e buscar produtos mais competitivos. Nesse cenário, as montadoras têm implementado inovações tecnológicas ambientais em seus produtos e difundindo nos diversos países onde atuam. Assim, o objetivo deste artigo é analisar o papel da regulamentação como indutora da inovação tecnológica ambiental na redução de emissões tóxicas de veículos leves fabricados no Brasil. Sendo assim, este estudo qualitativo descritivo contribui com a sistematização de informações sobre as tecnologias ambientais automobilísticas relacionadas ao motor a combustão interna de ignição por centelha (IC - cicloOtto) e seu processo de difusão no mercado brasileiro.

REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo a definição do relatório do IVM (2006, p. 3), o conceito de “ecoinovação é também sinônimo de inovação em tecnologia ambiental”. 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).

Para a OECD (2009), os objetivos da ecoinovação se baseiam nos cinco tipos de inovação do Manual de Oslo, que englobam: produto; processo; métodos de marketing; ou organizacional. Dentre esses 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 na literatura sobre ecoinovação, é perceptível a ampliação da importância desse conceito, mas suas características e seus 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 ecoinovação, medições qualitativas podem fornecer subsídios aos tomadores de decisão para analisar as tendências, identificar os *drivers* (BOCKEN, FARRACHO, BOSWORTH et al., 2014) e as barreiras. Maior proximidade entre inovação e política ambiental poderia beneficiar ambas as áreas e propiciar esforços em prol da ecoinovação (OECD, 2009).

Carrillo-Hermosilla, Del Río e Könnölä (2010) apontam que as definições de ecoinovação são abordadas de modo genérico e, por esse motivo, tem aumentado a necessidade de classificar a ecoinovação, visando a ampliar o entendimento específico desse conceito. As definições de ecoinovação se voltam à redução do impacto ambiental, podendo ou não ter sido motivadas por questões ambientais. O resultado de uma inovação ambiental pode ter origem na proposta para esse fim ou pode ser um efeito colateral de uma inovação, mas ambas se enquadram no conceito de ecoinovação. Para os autores, ecoinovação é a melhoria do desempenho ambiental com consequente redução do impacto ambiental, podendo ser incremental ou radical. O primeiro adiciona valor ao modelo vigente e mantém os sistemas e as 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.

O rigor da regulamentação de emissões direcionou os investimentos em tecnologias ambientais para atender aos limites estabelecidos pela legislação (BERGEK e BERGGREN, 2014) em diversos países. A inovação incremental ambiental (CARRILLO-HERMOSILLA, DEL RÍO e KÖNNÖLÄ, 2010) foi introduzida no sistema de propulsão de motores de IC para a redução das emissões de gases tóxicos, como o CO, HC, NO_x, tornando a regulamentação (DIJK e YARIME, 2010) um dos principais indutores da inovação ambiental na indústria automotiva. A partir da década de 1970 surgiram programas governamentais nos EUA, em países europeus, no Japão e em diversos outros países para o controle de emissões de gases tóxicos dos automóveis (BERGEK e BERGGREN, 2014; DIJK e YARIME, 2010; LIPSCY e SCHIPPER, 2013).

A regulamentação como indutora de inovação ambiental tecnológica na indústria automotiva

Kneller e Manderson (2012) investigaram a relação entre legislação ambiental e inovação e usaram como base os dados da indústria de manufatura entre 2000 e 2006, período com ampla regulamentação na indústria do Reino Unido. A legislação ambiental fomenta a inovação, mas o impacto ambiental da atividade econômica está muito relacionado à tecnologia disponível. A literatura adotada por este estudo aponta algumas vertentes que avaliaram a relação entre legislação e inovação ambiental. Em muitos casos, ambas 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 a pesquisa e desenvolvimento (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 e MANDERSON, 2012).

A análise de Horbach (2008), sobre as empresas inovadoras da Alemanha, identificou que as medidas regulatórias e a inovação cooperativa, entre empresas com alta qualificação de especialistas, são mais suscetíveis ao processo de inovação ambiental do que 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, indicando que a regulamentação atua como principal indutor desse tipo de inovação. A regulamentação também pode contribuir para a empresa aumentar a percepção dos benefícios atingidos com a inovação ambiental, que, em outras situações ocorreria de modo não estruturado, dificultando essa percepção (HORBACH, 2008).

Zapata e Nieuwenhuis (2010) apontaram o mercado europeu como inovador no setor automotivo, bem como o processo regulatório, por vezes se baseando em referências de outros mercados, como o Japão. 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 aumento do rigor da legislação de emissões direcionou o aprimoramento nesse segmento (ZAPATA e NIEUWENHUIS, 2010).

O controle de emissões de gases tóxicos dos automóveis teve sua origem nos EUA, na década de 1960, culminando em 1970 com a Lei do Ar Limpo dos EUA (US Clean Air Act Amendment – U.S. CAAA). Foram estabelecidas metas que limitaram as emissões de CO, HC e NO_x em 90%, nos anos 1975 e 1976. Não houve redução dos limites na década de 1980, voltando a ocorrer em 1990 (padrão Tier 1). O padrão Tier 2 foi estabelecido em 2004 e deveria atingir 98% de redução do HC e 95% de redução do CO em comparação aos padrões de 1970. A Europa estabeleceu regulamentação similar, impondo restrições aos limites de emissões dos automóveis. O nível Euro I foi introduzido em 1992, 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, em relação ao período anterior à regulamentação (BERGEK e BERGGREN, 2014).

Como exemplo dos efeitos da legislação, a Quadro 1 resume as principais tecnologias introduzidas nos veículos a gasolina na Europa para atender à legislação sobre controle de emissões de gases tóxicos.

Quadro 1

Tecnologias introduzidas em cada fase da legislação de emissões na Europa

Fase da legislação	Ano	Tecnologias
Euro 1	1992	MPFI* e catalisador
Euro 2	1996	MPFI e catalisador
Euro 3	2000	MPFI, catalisador e segundo sensor de oxigênio
Euro 4	2005	MPFI, catalisador e segundo sensor de oxigênio
Euro 5	2010	MPFI, catalisador, segundo sensor de oxigênio e melhoria do catalisador

* MPFI = injeção eletrônica de combustível multiponto (do inglês *multi-point fuel injection*).

Fonte: Kousoulidou, Ntziachristos, Mellios et al. (2008).

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 eletrônica de combustível multiponto (MPFI – *multi-point fuel injection*) 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, NTZIACHRISTOS, MELLIOS et al., 2008).

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 essas 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. Nesse contexto, as mudanças ocorreram para atender às exigências ambientais.

A atual tecnologia dos motores a combustão interna segue o mesmo princípio de funcionamento desenvolvido pelo engenheiro alemão Nikolaus August Otto (1832-1891), com utilização automotiva desde a década de 1880. A partir da década de 1990, essa motorização recebeu diversas inovações tecnológicas para melhoria de desempenho e redução das emissões. Essas 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 EUA e na Europa, e desde 2002 a injeção direta gradualmente passou a equipar os motores dos automóveis, tecnologias que possibilitaram 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 entrou em cena o veículo híbrido elétrico, apresentando venda mais expressiva a partir da década seguinte (DIJK e YARIME, 2010). O processo de difusão da inovação ambiental nem sempre ocorre em função de uma demanda espontânea do mercado, pelo fato do cliente não necessariamente aceitar aumento do preço em função de melhoria ambiental no produto (OLTRA e SAINT JEAN, 2009).

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 por Dechezleprêtre, Neumayer e Perkins (2015) foram extraídas de sete categorias de redução de emissões automotivas: dispositivos de dosagem ar/combustível; tecnologias para

injeção de combustível; catalisadores e outros dispositivos pós-combustão; dispositivo de ventilação para purificar o ar após a saída do cárter; válvula de recirculação dos gases de exaustão (EGR – *exhaust gases recirculation*); sistemas de diagnóstico a bordo (OBD – *on-board diagnostic*); sensores de oxigênio, NO_x e temperatura. E foram identificados: monitoramento de dispositivo para tratamento de gás de escapamento; e controle de correção por ciclo fechado (DECHEZLEPRÊTRE, NEUMAYER e PERKINS, 2015).

Lee, Veloso, Hounshell et al. (2010) identificaram que a pressão regulatória leva ao processo de inovação e também avaliaram os principais componentes introduzidos nos veículos dos EUA, no 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 HC) e válvula de EGR. Esses componentes foram ajustados para funcionar nos motores da época (1975). Atualmente, alguns desses 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 (p. ex., injeção de ar secundário), sensores de oxigênio e óxidos de nitrogênio (NO_x) e sistema de gerenciamento eletrônico a bordo. Baseados em análise estatística, Lee, Veloso, Hounshell et al. (2010) identificaram que 93% das patentes das tecnologias de emissões automotivas estão concentradas nas montadoras e nos fornecedores, sendo que mais de 80% das patentes eram de origem norte americana ou japonesa.

Essas tecnologias para a redução das emissões de gases tóxicos dos automóveis tiveram um papel importante para a melhora da qualidade do ar. A Quadro 2 apresenta as tecnologias ambientais para a redução de emissões tóxicas automotivas, classificadas como *inovação ambiental tecnológica incremental*.

Quadro 2
Inovação ambiental incremental para redução e controle de emissões tóxicas automotivas

Tecnologias ambientais	Definições e indicadores	Autores
Dispositivos de dosagem ar/ combustível	Ajuste de marcha lenta; adiciona pequena quantidade de combustível secundário; dispositivo de alta pressão de gasolina; adiciona ar secundário à mistura.	Dechezleprêtre, Neumayer e Perkins (2015).
Tecnologias para injeção de combustível	Injeção eletrônica de combustível; bomba injetora; injetor sequenciado por distribuidor; injeção de antitetonaente, 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, Veloso, Hounshell et al. (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, Veloso, Hounshell et al. (2010); Oltra e Saint Jean (2009).
Sistema de ventilação positiva do cárter	Dispositivo de ventilação purificando o ar após saída do cárter (p. ex., retirada do óleo).	Dechezleprêtre, Neumayer e Perkins (2015); Lee, Veloso, Hounshell et al. (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, Veloso, Hounshell et al. (2010).
Sistemas de diagnóstico a bordo	Controle eletrônico de combustível; controle eletrônico de fornecimento de mistura de combustível; controle eletrônico combinado de duas ou mais funções; dispositivo de injeção de combustível por controle eletrônico; controle eletrônico de tratamento de gás de escapamento.	Dechezleprêtre, Neumayer e Perkins (2015); Lee, Veloso, Hounshell et al. (2010).
Sensores de oxigênio, NO _x e temperatura	Monitoramento de dispositivo para tratamento de gás de escapamento; controle de correção por ciclo fechado.	Dechezleprêtre, Neumayer e Perkins (2015); Lee, Veloso, Hounshell et al. (2010).

Fonte: Adaptado de Dechezleprêtre, Neumayer e Perkins (2015).

O fluxo entre política ambiental e difusão transnacional de tecnologia aumenta à medida que a diferença regulatória se torna menor entre os países. Assim, os países recebedores 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 recebedor. Os países pioneiros na regulamentação tendem

a desenvolver novas tecnologias, atingir escalas produtivas, que as viabilizem, bem como patentear e aprender com essas tecnologias (DECHEZLEPRÊTRE, NEUMAYER e PERKINS, 2015).

O desenvolvimento tecnológico automotivo pode ocorrer nas montadoras ou ter origem nos fornecedores. Quando o processo de inovação ocorre internamente, a inovação é fechada, o que proporciona melhor resultado financeiro em função do pioneirismo. Quando a inovação é aberta, o desenvolvimento tecnológico é realizado em conjunto com concorrentes e parceiros. Esse modelo permite a redução de custo e prazo, bem como dilui o risco da nova tecnologia entre os participantes (LOPES, FERRARESE e CARVALHO, 2017).

PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O método utilizado foi a pesquisa qualitativa descritiva. O estudo descritivo visa a obter informações de campo e documentos em detalhes, de modo a compreender o ambiente em que a situação está inserida, buscando o entendimento de um processo e não de um simples resultado (GODOY, 1995). Este estudo descritivo buscou dados sobre a regulamentação como indutora e difusora de tecnologias ambientais automotivas para a redução de emissões tóxicas em veículos leves fabricados no Brasil.

A coleta de dados foi de base documental. Os dados secundários foram levantados no PROCONVE, Conama, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), Conselho Estadual de Meio Ambiente (Conema) e Ministério do Meio Ambiente (MMA). Os veículos movidos a diesel foram excluídos, porque esse tipo de motor tem algumas diferenças tecnológicas em relação ao ciclo Otto; além disso, as emissões têm componentes e proporções diferentes dos motores por centelha.

Segundo Bardin (2011), a análise documental proporciona a representação da informação com uma abordagem adequada ao contexto atual, ajustando o conteúdo pesquisado para uma abordagem compatível ao cenário do estudo em questão. A representação feita com base no texto original possibilita a criação de categorias com os temas em comum, de modo a manusear o conteúdo visando aos padrões identificados. Para o tratamento dos dados é necessário codificá-los com vistas a obter uma representação de suas características. A categorização principal contempla a classificação por conjuntos e reagrupamentos, conforme os critérios definidos no referencial teórico. Assim, a análise qualitativa possibilitou deduções sobre o assunto e inferências específicas, o que reduziu as categorias em tópicos de maior frequência, destacando aqueles com valores relevantes (BARDIN, 2011). Na categoria inovação ambiental incremental foram identificadas sete subcategorias: a) dispositivos de dosagem ar/combustível; b) tecnologias para injeção de combustível; c) catalisadores e outros dispositivos pós-combustão; d) sistema de ventilação positiva do cárter; e) válvula de EGR; f) sistemas de diagnóstico a bordo (OBD); e g) sensores de oxigênio, NO_x e temperatura (DECHEZLEPRÊTRE, NEUMAYER e PERKINS, 2015).

A forma de análise dos resultados foi fundamentada com base nas evidências de dados secundários, permitindo a convergência entre as fontes. Os dados da pesquisa documental foram coletados no PROCONVE, Ibama, MMA e Conema e os resultados foram triangulados com artigos publicados para que a análise documental e seu conteúdo possibilitasse a criação de relações e evidências, que, segundo Yin (2005), aumenta a confiabilidade e validade interna das informações. Os artigos utilizados abordam: a redução de emissões diante da regulamentação automotiva brasileira; a relação dos poluentes com problemas de saúde no Brasil; a previsão de emissões tóxicas na Europa; o estudo de eficiência energética no setor de transporte japonês; a evolução tecnológica diante da regulamentação nos EUA; a regulamentação ambiental e sua influência na inovação no Reino Unido; o impacto dos instrumentos políticos sobre a inovação ambiental na Alemanha; os bloqueios e dimensões da inovação; e os conceitos da inovação ambiental na indústria automotiva.

RESULTADOS DA PESQUISA

Em 1986, a Resolução Conama 18 estabeleceu o PROCONVE, que inaugurou uma nova fase para o controle ambiental do setor automobilístico brasileiro. Essa resolução estabelece diretrizes, prazos e padrões legais de emissões permitidos para cada uma das categorias de veículos automotores, sejam nacionais ou importados. Diversas inovações tecnológicas foram introduzidas nos automóveis, visando a melhorar a qualidade do ar. O PROCONVE tem acompanhado a evolução tecnológica dos veículos brasileiros há três décadas, contribuindo para a redução das emissões de gases tóxicos. Para os veículos leves, o programa estabeleceu fases para controle de diferentes gases, tanto de escapamentos quanto de emissões evaporativas.

A primeira fase para veículos leves, L-1 introduziu, em 1988, o controle de emissões evaporativas em respiros, tampas e conexões de reservatórios, com tecnologias para controlar os sistemas de alimentação de combustível, o tanque e as tubulações. 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. As duas primeiras fases foram cumpridas conforme os limites estabelecidos na Resolução Conama 18, de 1986. Na Resolução Conama 15, de 1995,

foram estabelecidos os limites de emissões para a fase L-3, com efetivação final em 1997. Nessa fase o controle de mistura foi aprimorado, bem como o gerenciamento eletrônico do motor, com redução nas emissões de CO. Nas fases L-2 e L-3 os automóveis receberam melhorias significativas no controle de mistura, no sistema de injeção eletrônica de combustível e no catalisador, tecnologias difundidas pelos fornecedores. A Resolução Conama 315, de 2002, estabeleceu novos limites de emissões para as fases L-4 e L-5, introduzidos em 2005 e 2009, respectivamente. Nessas fases, os motores receberam melhorias em componentes internos, desenvolvidos pelas montadoras, priorizando o controle de emissões de HC e NO_x, por serem precursores do O₃, introduzindo inovações tecnológicas na câmara de combustão. Além da motorização, alguns componentes foram aprimorados pelos fornecedores com o intuito de reduzir as emissões de NO_x e HC, como os injetores e o catalisador. Com essas tecnologias introduzidas nos veículos ao longo dessas fases do PROCONVE, o objetivo de reduzir as emissões de gases tóxicos e melhorar as condições de saúde da população vem sendo cumprido (IBAMA, 2011). A última fase do programa, L-6 se iniciou em 2014, para novos modelos, e foi concluída em 2015, para os demais veículos. Nessa fase foram reduzidos os limites para CO e NO_x dos motores a gasolina (E22) ou *flex fuel* (CONAMA, 2009). Essa fase foi cumprida conforme os limites estabelecidos na Resolução Conama 415, de 2009. A difusão de tecnologias para a redução do CO, HC e NO_x continua com o programa, por meio de aprimoramento e monitoramento contínuos das emissões dos automóveis (CONAMA, 2009).

Para assegurar a integridade dessas tecnologias para controle de emissões, a Resolução Conama 354, de 2004, estabeleceu que os veículos passassem a ser equipados com o sistema de diagnose a bordo “OBDBr-2”, para monitoramento eletrônico de emissões, 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. O 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 emissões de gases tóxicos (IBAMA, 2009), o sistema acende, no painel do veículo, a Lâmpada Indicadora de Mau Funcionamento (LIM), indicando ao 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).

Visando a manter a eficácia e o funcionamento adequado dos dispositivos e das 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. Esse 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 Conama 418 estabeleceu critérios para a elaboração de Planos de Controle de Poluição Veicular (PCPV), para a implantação de inspeção veicular ambiental, a ser conduzidos por órgãos estaduais e municipais em cidades com mais de três milhões de veículos. Apesar da existência dessa resolução, a inspeção veicular ambiental é realizada em poucas localidades do Brasil, como o Estado do Rio de Janeiro (CONEMA, 2016).

A Quadro 3 apresenta o resumo das inovações tecnológicas dos automóveis para atender aos níveis de emissões estabelecidos em cada etapa do PROCONVE para veículos leves, bem como as duas fases do sistema “OBDBr”.

Quadro 3
Tecnologias introduzidas nos automóveis por fase do PROCONVE (veículos leves)

Fases da legislação	Ano	Resolução Conama	Objetivo	Tecnologias
L-1	1988	18 (de 1986)	Controle de emissão evaporativa e do cárter	Controle de emissão evaporativa e melhoria do avanço de ignição.
L-2	1992	18 (de 1986)	Controle de emissões de escapamento	Carburador eletrônico, injeção eletrônica de combustível e catalisador.
L-3	1997	15 (de 1995)	Redução de CO	MPFI*, catalisador e sensor de oxigênio.
L-4	2005	315 (de 2002)	Redução de HC e NO _x	MPFI, catalisador, melhoria da câmara de combustão e injetores e aumento da pressão de combustível.
OBDBr-1	2007	354 (de 2004)	Sistemas de diagnóstico a bordo	Monitoramento dos sistemas de controle de emissões e Lâmpada Indicadora de Mau Funcionamento (LIM).
L-5	2009	315 (de 2002)	Redução de HC e NO _x	Análogas à fase PL-4.
OBDBr-2	2010	354 (de 2004)	Sistemas de diagnóstico a bordo	Segundo sensor de oxigênio (sensor de oxigênio pós-catalisador).

* MPFI = injeção eletrônica de combustível multiponto (do inglês multi-point fuel injection).

Fonte: Elaborado pelos autores.

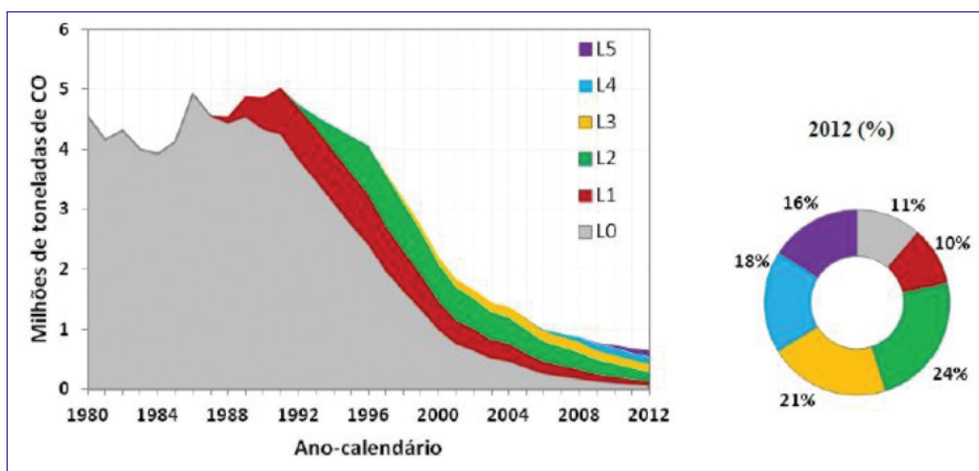
As tecnologias patenteadas e introduzidas nos automóveis dos EUA, da Europa e de alguns países asiáticos serviram para cumprir a regulamentação de cada uma dessas regiões, passando em uma etapa seguinte a equipar os veículos brasileiros, cumprindo, assim, os padrões de emissões do PROCONVE. Algumas tecnologias identificadas podem ser associadas às diversas fases desse programa. Na fase L-1, os veículos passaram a ter o controle de emissão evaporativa, que inclui o controle de emissões do cárter. Entre as fases L-2 e L-3 ocorreu a introdução do maior número de dispositivos nos motores, como controle de dosagem de combustível, sistema de injeção de combustível, sensores de oxigênio e catalisador. Durante a regulamentação das fases L-4 e L-5, os motores passaram a ter o monitoramento eletrônico OBD II, regulamentado no Brasil como “OBDBr-1” (2007 a 2009) e “OBDBr-2” (2010 e 2011), que passou a equipar 100% dos veículos nacionais produzidos desde 2011 (CONAMA, 2004).

As figuras 1, 2 e 3, respectivamente, mostram os resultados da regulamentação até 2012, apresentando a redução das emissões de CO, NO_x e hidrocarbonetos não metano (NMHC) por automóveis e veículos comerciais leves relacionadas às cinco fases estabelecidas pelo PROCONVE.

A Figura 1 mostra a evolução da redução das emissões de CO por automóveis e veículos comerciais leves de IC, 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 significava a partir da Fase L-3 em 1997.

Figura 1

Emissões de CO por automóveis e veículos comerciais leves de IC, por fase do PROCONVE

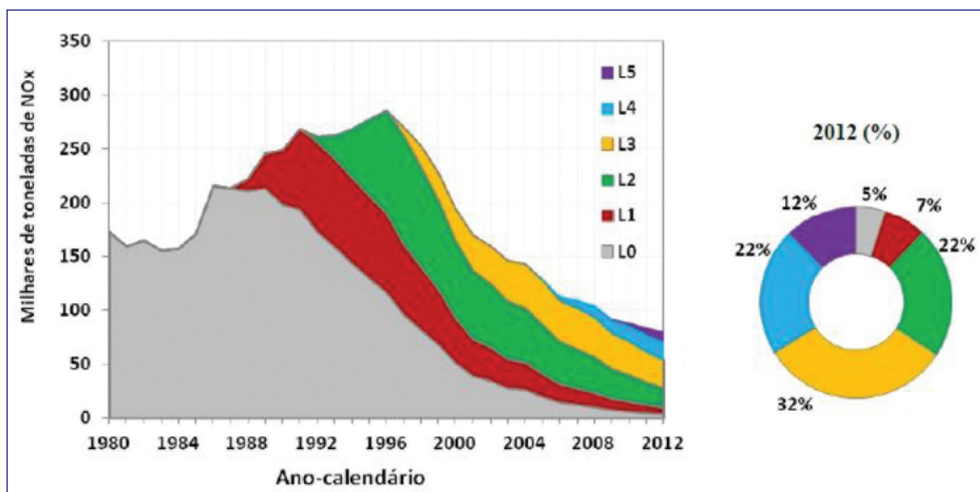


Fonte: MMA (2013).

A Figura 2 mostra a evolução das reduções das emissões de NO_x por automóveis e veículos comerciais leves de IC, da frota nacional, por fase do PROCONVE. Os valores são em milhares de toneladas de NO_x, 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 2

Emissões de NO_x por automóveis e veículos comerciais leves de IC por fase do PROCONVE

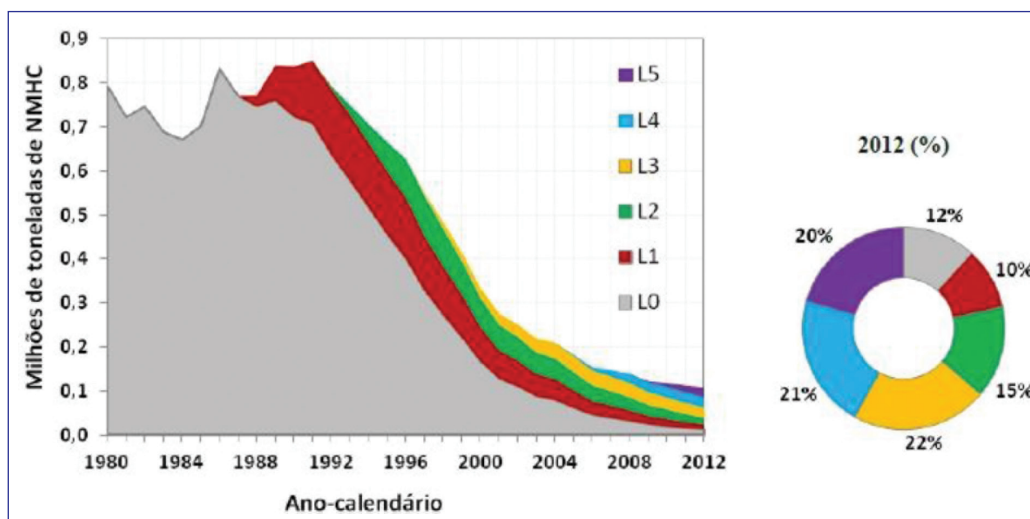


Fonte: MMA (2013).

A Figura 3 mostra a evolução das reduções das emissões de NMHC por automóveis e veículos comerciais leves de IC, da frota nacional, por fase do PROCONVE. Os valores são em milhares de toneladas de NMHC, com destaque para a distribuição porcentual em 2012 das emissões de cada fase do PROCONVE, e na figura pode ser observada a redução dessas emissões a partir de 1992, após a introdução da Fase L-2.

Figura 3

Emissões de NMHC por automóveis e veículos comerciais leves de IC por fase do PROCONVE



Fonte: MMA (2013).

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 a atingir o volume de produção para as tecnologias de injeção eletrônica de combustível, 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

de IC (ciclo Otto) passaram a sair de fábrica com injeção eletrônica de combustível 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.

O Brasil inaugurou 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 EUA, o controle de emissões de gases tóxicos teve início na década de 1960, culminando na U.S. CAAA, que resultou na efetivação da redução de gases tóxicos, CO, HC e NO_x, em 1975 (BERGEK e BERGGREN, 2014). Nesse período foram patenteadas diversas tecnologias para a redução desses gases tóxicos, o que levou à difusão de tecnologias para reduzir emissões automotivas, por meio da legislação, para outros países como o Brasil.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA PESQUISA

A legislação automotiva para a redução das emissões de gases tóxicos vem construindo sua fundamentação e regulamentação desde a década de 1960, em mercados como os EUA (BERGEK e 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 e BERGGREN, 2014); Euro 1, 2 e 3 na Europa (BERGEK e BERGGREN, 2014; KOUSOULIDOU, NTZIACHRISTOS, MELLIOS 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, NTZIACHRISTOS, MELLIOS et al., 2008; IBAMA, 2009). No Brasil, os automóveis foram beneficiados com sistema de injeção eletrônica de combustível, sensor de oxigênio, antes do catalisador, e catalisador (IBAMA, 2009), tecnologias perceptíveis aos usuários por eliminar o carburador e, conseqüentemente, a alavanca do afogador, possibilitando dirigir o veículo com o motor frio.

Na década de 2000, a legislação continuou reduzindo os limites de emissões nos diversos países (BERGEK e BERGGREN, 2014; KOUSOULIDOU, NTZIACHRISTOS, MELLIOS 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 de combustível, injetores e na câmara de combustão dos motores, de modo a reduzir as emissões de NO_x 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 desses componentes durante o uso, ao longo da vida dos veículos, que foi o sistema "OBDBr-2" (CONAMA, 2004). Com esse sistema, o conjunto de propulsão passa a ser monitorado continuamente para identificar alguma falha que comprometa as emissões (CONAMA, 2004). Mesmo contando 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 nessas tecnologias e sistemas, visando a assegurar que as emissões dos veículos se mantenham dentro dos padrões de fábrica.

Para a melhoria do desempenho ambiental de veículos leves no Brasil, os principais instrumentos utilizados ainda têm sido o regulatório, como o PROCONVE (IBAMA, 2011), também conhecido como comando e controle. Esse instrumento tem se efetivado com a regulamentação, impondo metas para cada fabricante, o que favorece a difusão de inovação incremental (BERGEK e BERGGREN, 2014) na indústria automotiva.

Essas tecnologias para melhorar o desempenho ambiental são denominadas ecoinovação (IVM, 2006; CARRILLO-HERMOSILLA, DEL RÍO e KÖNNÖLÄ, 2010; BOCKEN, FARRACHO, BOSWORTH et al., 2014), introduzida nos veículos brasileiros que proporcionam a redução das emissões de poluentes com otimização do consumo de combustível. O desenvolvimento de tecnologias para o cumprimento da regulamentação (KNELLER e MANDERSON, 2012) seguiu alguns caminhos em função da aplicação de cada elemento envolvido no processo. Para atender à legislação de emissões de poluentes (BERGEK e BERGGREN, 2014; KOUSOULIDOU, NTZIACHRISTOS, MELLIOS et al., 2008), estabelecida pelo PROCONVE, foram necessárias a introdução de novos componentes no sistema de propulsão e as modificações tecnológicas nos motores. Os métodos de desenvolvimento tecnológico podem ser cumpridos por meio da inovação fechada, internamente, ou por meio de colaboração entre empresas, a inovação aberta. O processo de inovação para as fases L-2 e L-3, que receberam as mudanças mais significativas, ocorreu internamente nas montadoras durante a década de 1990. As montadoras adquiriram sistemas de fornecedores, como o sistema

de injeção eletrônica de combustível e catalisador (MMA, 2013), trabalhando em conjunto para ajustar essas tecnologias aos seus motores. O desenvolvimento da tecnologia flex fuel (veículos que funcionam com gasolina e/ou etanol) teve o primeiro consórcio entre montadoras por meio de inovação aberta que ocorreu no setor automotivo nacional (LOPES, FERRARESE e CARVALHO, 2017).

CONCLUSÃO

O objetivo dessa pesquisa foi analisar o papel da legislação como indutora de tecnologias ambientais automotivas na redução de emissões tóxicas de veículos leves fabricados no Brasil. Constatou-se que as tecnologias para o controle de emissões de poluentes começaram a equipar os veículos nacionais na década de 1990 e, desde então, vêm reduzindo continuamente os gases tóxicos de escapamento e evaporativos. As tecnologias implementadas para atender à legislação para redução de poluentes dos automóveis foram difundidas na frota em cumprimento dos limites estabelecidos. As mudanças tecnológicas continuam em curso visando à melhoria da qualidade do ar, com redução das emissões de poluentes dos automóveis. Essas ações são necessárias para assegurar a saúde pública e são monitoradas continuamente, de modo a fazer os ajustes necessários caso haja alguma tendência de aumento dos poluentes no ar.

Os resultados desta pesquisa mostram que a regulamentação fomentou a inovação tecnológica ambiental, com a introdução de injeção eletrônica de combustível e catalisador e a melhoria da motorização. Todas as inovações tecnológicas ambientais introduzidas nos veículos do ciclo de Otto estão relacionadas diretamente ao cumprimento de uma fase do programa para controle de emissão veicular, como o PROCONVE. Essas tecnologias ambientais são difundidas no Brasil pelas matrizes europeias, americanas e asiáticas na medida em que a imposição da legislação torna obrigatória a mitigação das emissões tóxicas. Algumas tecnologias reduzem vários gases tóxicos, como o catalisador, enquanto outras diminuem as emissões de apenas um deles, como a recirculação de gases de escapamento, que reduz apenas o NO_x .

A regulamentação de emissões de gases tóxicos no Brasil acompanha as mudanças ocorridas em outros países e regiões, adaptando a experiência ao cenário brasileiro. Comparando as etapas do PROCONVE à regulamentação da Europa, constata-se que a tecnologia introduzida nos veículos europeus em 1992 (Euro 1) equivale ao padrão tecnológico aplicado aos veículos Brasileiros em 1997, terceira fase para veículos leves (L-3), com a introdução do sistema MPFI e catalisador de três vias. Esta defasagem também pode ser identificada na introdução do OBD II, introduzido nos EUA em 1994, na Europa em 2000 e que chegou ao Brasil somente em 2010. O processo de introdução das tecnologias nas filiais no Brasil ocorreu de diferentes maneiras, conforme o perfil de cada montadora. A tecnologia, na maioria das vezes, foi desenvolvida em parceria com fornecedores ou pela própria montadora na matriz.

Para futuros estudos, para investigar como ocorreu o processo nas diversas empresas, *drivers* e barreiras à inovação, recomenda-se uma pesquisa de campo com base em entrevistas com: responsáveis pelas áreas de inovação das empresas; especialistas do setor; representantes do governo; e representantes dos programas implementados. Recomenda-se, ainda, uma pesquisa sobre a regulamentação como fator também determinante da inovação tecnológica ambiental para a mitigação das emissões de GEE dos automóveis, tanto no Brasil como em outros países, assim como uma pesquisa sobre carros elétricos e células de combustível. Essas tecnologias, já consolidadas em outros mercados, chegam no Brasil em carros elétricos importados e criam novos modelos de negócio, como os carros compartilhados. Nesse contexto surge a oportunidade de uma nova agenda de pesquisa sobre tecnologias automotivas disruptivas que interrompam as inovações tecnológicas incrementais do ciclo de Otto.

REFERÊNCIAS

- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.
- 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, 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**, v. 31, n. 1, p. 43-57, 2014.
- CANÇADO, J. E. D. et al. Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 32, supl. 1, p. S5-S11, 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, 2010.
- 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, 2015.
- CONSELHO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE – CONEMA. **Resolução Conema n. 70, de 19 de janeiro de 2016**. 2016. Disponível em: <http://www.mprj.mp.br/documents/112957/12456427/RESOLUO_CONEMA_N_70_DE_19_DE_JANEIRO_DE_2016.pdf>. Acesso em: 15 maio 2016.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONEMA. **Resolução n. 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>. Acesso em: 04 ago. 2009.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONEMA. **Resolução n. 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.
- DECHEZLEPRÊTRE, A.; NEUMAYER, E.; PERKINS, R. Environmental regulation and the cross-border diffusion of new technology: evidence from automobile patents. **Research Policy**, v. 44, n. 85, p. 244-257, 2015.
- DIJK, M.; YARIME, M. The emergence of hybrid-electric cars: innovation path creation through co-evolution of supply and demand. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 77, n. 8, p. 1371-1390, 2010.
- FREITAS, C. et al. Internações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997. **Revista de Saúde Pública**, v. 38, n. 6, p. 751-757, 2004.
- GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de Administração de Empresas**, v. 35, n. 2, p. 57-63, 1995.
- HEMMELSKAMP, J. Environmental policy instruments and their effects on innovation. **European Planning Studies**, v. 5, n. 2, p. 177-194, 1997.
- HORBACH, J. Determinants of environmental innovation: new evidence from German panel data sources. **Research Policy**, v. 37, n. 1, p. 163-173, 2008.
- INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES – IVM. **Innovation dynamics induced by environmental policy**: final report. 2006. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/enveco/policy/pdf/2007_final_report_conclusions.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2015.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Instrução Normativa n. 24, de 28 de agosto de 2009**. 2009. Disponível em: <www.ibama.gov.br/phocadownload/category/4?download=184%3A24-28-2009>. Acesso em: 11 mar. 2016.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores**: Proconve/Promot/Ibama. 3. ed. Brasília, DF: IBAMA/DIQUA, 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, 2012.
- KOUSOULIDOU, M. et al. Road-transport emission projections to 2020 in European urban environments. **Atmospheric Environment**, v. 42, n. 32, p. 7465-7475, 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, 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, 2010.
- LIPSCY, P. Y.; SCHIPPER, L. Energy efficiency in the Japanese transport sector. **Energy Policy**, v. 56, p. 248-258, 2013.
- LOPES, A. P. V. B. V.; FERRARESE, A.; CARVALHO, M. M. Inovação aberta no processo de pesquisa e desenvolvimento: uma análise da cooperação entre empresas automotivas e universidades. **Gestão & Produção**, v. 24, n. 4, p. 653-666, 2017.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **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%20inventario%202013.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2016.
- 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, 2009.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT – OECD. **Sustainable manufacturing and eco-innovation**: framework, practices and measurement. 2009. Disponível em: <<http://www.oecd.org/innovation/inno/43423689.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2015.

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

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, 2010.

Orlando de Salvo Junior

Mestre em Administração pelo Centro Universitário da FEI, São Paulo; Professor da FATEC; Doutorando da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli/USP) no Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo – SP, Brasil. E-mail: orlando.salvo@terra.com.br

Maria Tereza Saraiva de Souza

Doutora em Administração pela Escola de Administração de Empresas da Fundação Getúlio Vargas (FGV EAESP); Professora adjunta pelo Centro Universitário FEI no Programa de Pós-Graduação em Administração (PPGA), São Paulo – SP, Brasil. E-mail: mtereza@fei.edu.br