

**CENTRO UNIVERSITÁRIO CURITIBA  
ENGENHARIA MECÂNICA**

**FILIPPE LUIZ CAVALHEIRO CANOVA  
RICARDO LUÍS LARA**

**ANÁLISE SOBRE AS EMISSÕES DE POLUENTES EM VEÍCULOS COM  
INJEÇÃO DIRETA DE COMBUSTÍVEL E UM LEVANTAMENTO SOBRE A  
LEGISLAÇÃO DE EMISSÕES VEICULARES NO BRASIL**

**Orientador: Prof. Dr. Júlio César Ferreira**

**CURITIBA  
2021**

**FILIPPE LUIZ CAVALHEIRO CANOVA  
RICARDO LUÍS LARA**

**ANÁLISE SOBRE AS EMISSÕES DE POLUENTES EM VEÍCULOS COM  
INJEÇÃO DIRETA DE COMBUSTÍVEL E UM LEVANTAMENTO SOBRE A  
LEGISLAÇÃO DE EMISSÕES VEICULARES NO BRASIL**

**Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial para obtenção  
do Título de Bacharel em Engenharia Mecânica do  
Centro Universitário Curitiba.**

**Orientador: Prof. Dr. Júlio César Ferreira**

**CURITIBA  
2021**

**ANÁLISE SOBRE AS EMISSÕES DE POLUENTES EM VEÍCULOS COM  
INJEÇÃO DIRETA DE COMBUSTÍVEL E UM LEVANTAMENTO SOBRE A  
LEGISLAÇÃO DE EMISSÕES VEICULARES NO BRASIL**

**FILIPPE LUIZ CAVALHEIRO CANOVA  
RICARDO LUÍS LARA**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica pelo Centro Universitário Curitiba, e aprovado pela Banca Examinadora.

.....  
Coordenador (a) de Curso

Banca Examinadora integrada pelos Professores:

.....  
Prof. Orientador(a)

.....  
Prof. Banca Examinadora

.....  
Prof. Banca Examinadora

“A verdadeira motivação vem de realização, desenvolvimento pessoal, satisfação no trabalho e reconhecimento.”  
(Frederick Herzberg)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos aos familiares que sempre nos apoiaram e incentivaram nessa jornada, tendo compreensão nos momentos de ausência afim da dedicação.

Aos colegas de faculdade que contribuíram em vários momentos de dificuldade e apoiaram diante das dificuldades encontradas.

Aos professores que transmitiram muito conhecimento e experiência de diversas áreas de atuação, tornando o aprendizado uma experiência única.

Ao Professor Dr. Júlio César Ferreira, pela orientação neste trabalho de conclusão de curso e as matérias ministradas com excelência.

A coordenação do curso de Engenharia Mecânica, proporcionando todo o suporte e dedicação necessária para a resolução de todos os problemas encontrados.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram direta e indiretamente para a realização e desenvolvimento deste trabalho.

## RESUMO

Nos grandes centros urbanos, os veículos automotores são responsáveis por significativa parte da poluição atmosférica, dentre os poluentes podemos citar gases como, monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e hidrocarbonetos (HC). Com as revoluções industriais, o conceito de automóvel passou por diversas melhorias, e dentre estas melhorias temos a redução da emissão de gases poluentes no ar. Porém uma tecnologia antes utilizada em motores diesel agora está sendo aplicada em motores de ciclo Otto. Da sigla GDI, (termo do idioma da língua estrangeira, injeção direta de combustível) é uma alternativa eficiente na redução do consumo de combustível, entretanto tem uma maior geração de material particulado emitido na atmosfera, o que se agrava pois a legislação brasileira está atrasada em relação a outros países quanto ao controle e fiscalização. Este trabalho tem por finalidade realizar um levantamento sobre a legislação de emissões no Brasil através do PROCONVE (Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores), as novas fases de controle que serão aplicadas para este tipo de tecnologia nos próximos anos, assim como a metodologia aplicada nos testes baseada na NBR 6601. Como principais resultados, foi constatado a falta de material técnico sobre o assunto, poucos trabalhos publicados e a morosidade governamental na implantação do controle de determinados poluentes, como o material particulado para veículos com injeção direta de combustível.

**Palavras-chave:** Poluição. PROCONVE. Legislação de emissões. Material particulado. Injeção direta de combustível.

## ABSTRACT

In large urban centers, motor vehicles are responsible for a significant part of the atmospheric pollution, among the pollutants we can mention gases such as carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) and hydrocarbons (HC). With the industrial revolutions, the automobile concept underwent several improvements, and among these improvements we have the reduction of the emission of polluting gases in the air. However, a technology previously used in diesel engines is now being applied to Otto cycle engines. The acronym GDI, (Gasoline Direct Injection) is an efficient alternative in reducing fuel consumption, however it has a greater generation of particulate matter emitted into the atmosphere, which is aggravated by the fact that Brazilian legislation lags behind other countries in terms of control and inspection. This work aims to carry out a survey on the legislation of emissions in Brazil through PROCONVE (Program for the Control of Air Pollution by Motor Vehicles), the new control phases that will be applied for this type of technology in the coming years, as well as the methodology applied in the tests based on NBR 6601. The main results were the lack of technical material on the subject, very few published works and the government slowness in implementing the control of certain pollutants, such as particulate material for vehicles with direct injection of fuel.

**Keywords:** Pollution. PROCONVE. Emissions law. Particulate material. Direct fuel injection.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A22	Combustível (78% gasolina, 22% etanol anidro)
A85	Combustível (15% gasolina, 85% etanol anidro)
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANFAVEA	Agência Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DISI	<i>Direct Injection Spark Ignition</i> (injeção direta de ignição por faísca)
E100 / EHR	Combustível (Etanol hidratado de referência)
EVAP	Emissões evaporativas
FTP-75	<i>Federal Test Procedure 75</i> (procedimento de teste federal 75)
GDI	<i>Gasoline Direct Injection</i> (injeção direta de gasolina)
HC	Hidrocarbonetos
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NBR	Norma Brasileira
NEDC	<i>New European Driving Cycle</i>
NMHC	<i>non-methane hydrocarbons</i> (hidrocarbonetos não-metano)
NMOG	<i>Non-Methane Organic Gases</i> (gases orgânicos não-metano)
MP	Material particulado
ORVR	<i>Onboard Refueling Vapor Recovery</i>
PFI	<i>Port Fuel Injection</i>
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
RCHO	Aldeídos totais
SHED	<i>Sealed Housing for Evaporative Determination</i>
THC	Hidrocarbonetos totais
VL	Veículos leves
WLTC	<i>Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycle</i> (procedimento de teste global harmonizado para veículos leves)

## LISTA DE SÍMBOLOS

C	carbono
CH <sub>4</sub>	metano
CO	monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	dióxido de carbono
g	grama
H	hidrogênio
kg	quilograma
km	quilômetro
L	litro
mg	miligrama
NO <sub>x</sub>	óxidos de nitrogênio
ppm	partes por milhão
µm	micrómetro
°C	grau Celsius

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1. PROBLEMA.....	12
1.2. JUSTIFICATIVA.....	12
1.3. OBJETIVO GERAL .....	13
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	14
2.1. MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA.....	14
2.1.1. <b>Motor de ciclo Otto</b> .....	14
2.1.2. <b>Funcionamento básico</b> .....	14
2.1.3. <b>Sistema de alimentação</b> .....	15
2.1.3.1. <i>Injeção eletrônica</i> .....	16
2.1.3.2. <i>Injeção direta de combustível em motores de ciclo Otto</i> .....	16
2.2. POLUENTES ATMOSFÉRICOS.....	20
2.2.1. <b>Hidrocarbonetos - HC</b> .....	21
2.2.2. <b>Monóxido de Carbono - CO</b> .....	21
2.2.3. <b>Óxidos de Nitrogênio - NO<sub>x</sub></b> .....	21
2.2.4. <b>Aldeídos Totais - RCHO</b> .....	22
2.2.5. <b>Dióxido de Carbono – CO<sub>2</sub></b> .....	22
2.2.6. <b>Poluentes em motores de ciclo Otto com injeção direta</b> .....	23
2.2.6.1. <i>Material particulado</i> .....	23
2.3. SISTEMA DE PÓS TRATAMENTO, CATALISADOR.....	27
2.4. HISTÓRICO DAS LEIS DE EMISSÕES PELO MUNDO .....	29
2.5. PROCONVE .....	30
2.5.1. <b>Fase L1</b> .....	32
2.5.2. <b>Fase L2</b> .....	32
2.5.3. <b>Fase L3</b> .....	32
2.5.4. <b>Fase L4</b> .....	33
2.5.5. <b>Fase L5</b> .....	33
2.5.6. <b>Fase L6</b> .....	33
2.5.7. <b>Fase L7</b> .....	34
2.6. MÉTODO PARA TESTE DE EMISSÕES VEICULARES.....	35
2.6.1. <b>Normas para ciclos de emissões veiculares</b> .....	36

2.7. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NOS TESTES .....	39
2.7.1. <b>Dinamômetro</b> .....	39
2.7.2. <b>Amostrador de volume constante</b> .....	41
2.7.3. <b>Analisador de gases</b> .....	43
3. <b>METODOLOGIA</b> .....	45
4. <b>ANÁLISE</b> .....	46
4.1. PONTOS POSITIVOS E NEGATIVOS DA FASE L7.....	46
4.2. O IMPACTO DA PANDEMIA.....	47
5. <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	48
6. <b>REFERÊNCIAS</b> .....	50

# 1. INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica atualmente deixou de ser um problema local, pois a preocupação deixou de ser apenas com as emissões das fábricas. Uma considerável parte dessa poluição é oriunda da utilização de veículos automotores, o que agrava ainda mais a qualidade do ar nos grandes centros urbanos, prejudicando o ecossistema e a saúde do ser humano (GUIMARÃES, 2016).

## 1.1. PROBLEMA

Emissão de material particulado por veículos com a tecnologia de injeção direta de combustível e, como a nova legislação de emissões para veículos leves prevista para 2022 mudará esse cenário.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

De âmbito acadêmico e profissional, para ampliar conhecimentos sobre o assunto, este que é pouco abordado durante o curso de engenharia mecânica. Porém tem grande papel na área de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, visto que novas tecnologias precisam ser desenvolvidas na parte mecânica do automóvel, quanto ao aproveitamento energético das fontes de combustível.

De âmbito social, este trabalho tem como princípio alguns dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela Organização das Nações Unidas no ano de 2015. De forma a substituir os objetivos de desenvolvimento do Milênio (ODM), 193 países assinaram a Agenda 2030, um plano global com 17 objetivos, que impactam distintas áreas, mas que se conectam pelo fato de serem essenciais para a viabilidade de uma sociedade sustentável. Os ODS relevantes para esta obra são os objetivos 9, 11, 12 e 13, respectivamente são: Indústria, Inovação e Infraestrutura; Cidades e Comunidades Sustentáveis, Consumo e Produção Responsáveis e Ação Contra a Mudança Global do Clima (PNUD, 2017).

## 1.3. OBJETIVO GERAL

Analisar o cenário atual e futuro, quanto às legislações das emissões de gases poluentes emitidos pelo tubo de escapamento dos automóveis no Brasil e, o impacto

ambiental das novas tecnologias implantadas nos veículos de ciclo Otto com injeção direta de combustível.

#### 1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Descrever o atual cenário quanto às legislações de emissão de gases poluentes para veículos leves, fase L6 do PROCONVE;
- b) Descrever a proposta 2022 nas mudanças da legislação de emissões de poluentes veiculares fase L7 do PROCONVE;
- c) Explicitar a exigência do controle de material particulado emitido por veículos novos de ciclo Otto, para a nova legislação de emissões de gases poluentes com previsão para entrada em vigor no ano de 2022 (Fase L7 do PROCONVE).
- d) Analisar comparativamente a mudança de legislação para o setor automobilístico, quanto ao desenvolvimento tecnológico e desafios;
- e) Avaliar o impacto das novas tecnologias implantadas nos veículos de ciclo Otto, alimentados com injeção direta de combustível, quanto às emissões de poluentes e impacto na saúde humana;
- f) Apresentar como são realizados os testes de emissão de poluentes no Brasil seguindo as orientações da legislação vigente.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

De acordo com Brunetti (2018), um motor de combustão interna é aquele em que o fluido ativo (ar-combustível) participa diretamente da combustão. O tipo de motor mais convencional é o alternativo, onde o trabalho é obtido através do movimento de vaivém dos pistões, transformando em uma rotação contínua num sistema biela-manivela (BRUNETTI, 2018).

#### 2.1.1. Motor de ciclo Otto

Nikolaus August Otto foi um engenheiro alemão que construiu o primeiro motor de combustão interna de quatro tempos e determinou o ciclo teórico sob o qual trabalha o motor de explosão, o chamado ciclo Otto. Apesar da ideia original ser do engenheiro francês Beau de Rochas, foi Otto o responsável pela primeira realização prática deste motor (SILVA et al., 2014).

Na época da criação do primeiro motor a combustão interna, o motor a vapor do inglês T. Newcome, já era bastante utilizado. As principais vantagens que Otto trazia eram o baixo consumo de combustível e uma potência superior deste motor comparado a outros da época, o que o tornou rapidamente muito popular (SILVA et al., 2014).

#### 2.1.2. Funcionamento básico

Este motor de combustão interna também é chamado de motor de quatro tempos, porque seu funcionamento ocorre em quatro estágios diferentes conforme Figura 1 e tópicos seguintes (BOSCH, 2005).

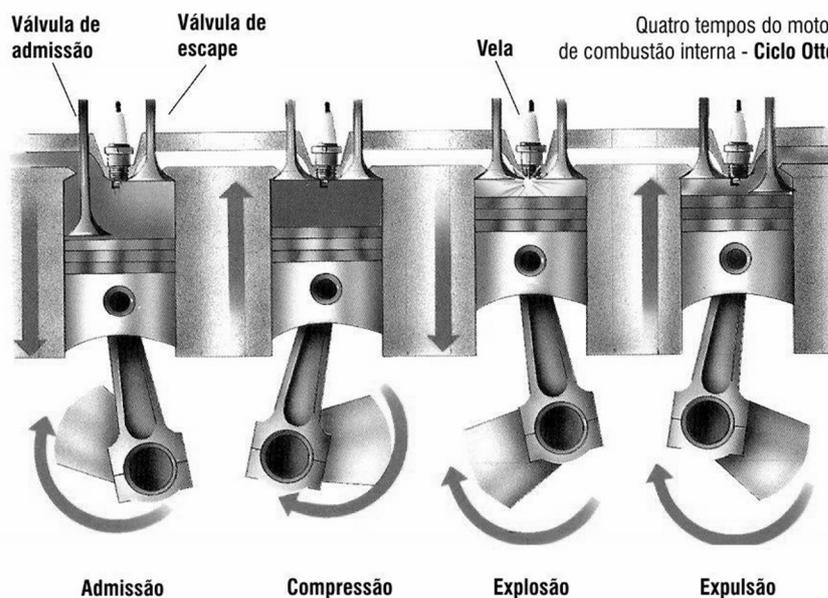
1º tempo: Admissão — No início, o pistão está em cima, no chamado ponto morto superior. Nesse primeiro estágio, a válvula de admissão abre e o pistão desce, sendo puxado pelo eixo virabrequim. Uma mistura de ar e vapor de gasolina entra pela válvula para ser aspirada para dentro da câmara de combustão, que está a baixa pressão. O pistão chega ao ponto morto inferior, e a válvula de admissão fecha, completando o primeiro tempo do motor.

2º tempo: Compressão — O pistão sobe e comprime a mistura de ar e vapor de gasolina. O tempo de compressão fecha quando o pistão sobe totalmente.

3º tempo: Explosão — Para dar início à combustão da mistura combustível que está comprimida, solta-se uma descarga elétrica entre dois pontos da vela de ignição. Essa faísca da vela detona a mistura e empurra o pistão para baixo, fazendo com que ele atinja o ponto morto inferior. É nesse tempo que é gerada toda a força motriz possível do conjunto e quando se tem por completo um ciclo de 4 tempos em cada cilindro, tem-se toda a potência do motor entregue ao conjunto de transmissão.

4º tempo: Escape — A mistura de ar e combustível foi queimada, mas ficaram alguns resíduos desta combustão que precisam ser retirados de dentro do motor. Isso é feito quando o pistão sobe, a válvula de escape abre, e os gases residuais são expulsos.

Figura 1 – Esquemático dos quatro tempos do motor de combustão interna



Fonte: Adaptado de Brunetti (2018).

### 2.1.3. Sistema de alimentação

Estes motores são alimentados por combustível através de um carburador ou por um sistema de injeção eletrônica. Estes sistemas fazem a mistura do combustível com o ar, sendo que a mistura ideal para uma queima completa, utilizando gasolina, é composta por 14,7 partes de ar para 1 parte de combustível. Esta relação é conhecida como medida estequiométrica onde temos uma combustão completa e ideal, por isso nos motores com ciclo Otto é importante a relação ar-combustível estar próxima deste parâmetro (BRUNETTI, 2018).

A mistura ar-combustível é queimada liberando energia e gerando trabalho através da expansão volumétrica dos gases e conseqüentemente gerando emissões de gases na atmosfera. A medida da mistura é importante tanto para a geração de trabalho quanto para o controle dos níveis de emissões (BRUNETTI, 2018).

O primeiro sistema para estabelecer a relação ar-combustível para o motor foi o carburador. Seu funcionamento consiste em dosar uma quantidade desejada de combustível para uma certa vazão de ar admitida no motor, no entanto, atualmente sistemas carburados encontram-se em desuso devido aos sistemas de alimentação mais modernos, que serão explanados em tópicos adiante.

#### 2.1.3.1. *Injeção eletrônica*

A injeção eletrônica é um desenvolvimento antigo que saiu de modelos mecânicos, seu funcionamento consiste em equilibrar e controlar a mistura ar-combustível no motor nas diversas condições de uso, este equilíbrio é garantido por meio de sensores que analisam o funcionamento do motor e com isso é possível controlar a alimentação do mesmo, com o objetivo de obter um melhor desempenho e eficiência. Segundo Brunetti (2018), as vantagens deste sistema injetor em relação aos com carburador são as seguintes:

- a) Maior controle da mistura ar-combustível;
- b) Maior economia de combustível;
- c) Melhor dirigibilidade (principalmente a frio);
- d) Controle automático das rotações (máxima e mínima);
- e) Melhor controle do nível de emissões.

Ou seja, quanto mais adequada a dosagem da mistura ar/combustível durante o funcionamento do veículo, melhor será o aproveitamento da queima e menor o nível de emissão dos gases poluentes expelidos.

#### 2.1.3.2. *Injeção direta de combustível em motores de ciclo Otto*

A principal diferença desta tecnologia é como e onde o combustível é injetado. No sistema indireto (PFI), o combustível é injetado no coletor de admissão, a uma pressão de aproximadamente 4 bar. O ar e o combustível são misturados antes da entrada na câmara de combustão, enquanto na injeção direta (GDI), o combustível é injetado dentro dos cilindros de forma que a mistura aconteça dentro da câmara de

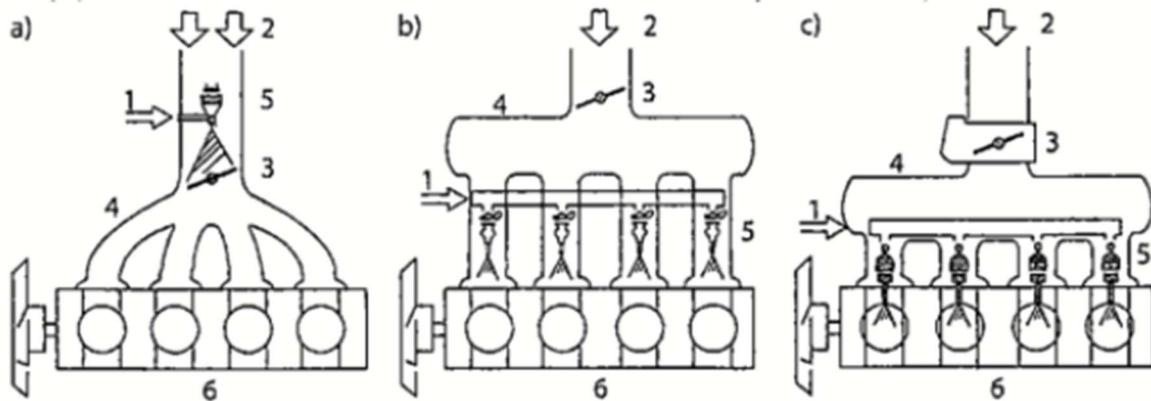
combustão. A pressão de trabalho é mais elevada, variando de 40 a 200 bar. Dentre as principais vantagens do GDI temos a combustão mais completa, redução de perdas e melhor aproveitamento de energia devido ao menor consumo de combustível (BOSCH, 2005).

Os sistemas de injeção direta de combustível estavam disponíveis somente em motores de ciclo Diesel, devido às particularidades construtivas e características de flamabilidade do combustível, em motores Diesel temos um rendimento maior do que em motores de ciclo Otto devido a menores perdas térmicas, de bombeamento e maiores taxas de compressão. Por isso, para veículos de ciclo Otto, uma alternativa de melhora é a adoção do sistema GDI, pois mesmo com as limitações químicas do combustível, é possível operar com taxas de compressão maiores e por consequência melhorar o rendimento térmico. Os sistemas de injeção direta se diferem principalmente por permitir injeções de combustível em várias etapas durante o funcionamento, visto que não depende da abertura da válvula de admissão para a entrada de combustível, assim equilibrando as temperaturas de queima (BRUNETTI, 2018).

A qualidade da formação de uma mistura ar-combustível impacta diretamente na eficiência e melhor aproveitamento da energia do combustível. Quando o bico injetor libera o combustível sob pressão ocorre a atomização do spray liberado, seja no sistema direto ou indireto, como o sistema GDI tem injetores mais sofisticados e que trabalham com maior pressão de operação, essa atomização consegue reduzir o tamanho médio das gotas de combustível pulverizados. Devido a um menor tamanho da gotícula e uma área de contato maior do spray com o ar, a mistura torna-se muito mais homogênea e eficiente, proporcionando uma melhora significativa no aproveitamento da energia do combustível. A redução do tamanho da gota é de 83% ou mais, devido ao aumento de pressão e sofisticação do sistema (BRUNETTI, 2018).

Na Figura 2, podemos observar a mudança de posicionamento dos bicos injetores com a evolução e estudo dos sistemas. Segundo Brunetti (2018), a grande perda de posicionar os bicos injetores muito próximos do cilindro é a maior dificuldade de homogeneização da mistura, pois o caminho é muito curto. Este fato justifica a tecnologia construtiva dos bicos e aumento de pressão, a fim de favorecer a atomização do combustível (BOSCH, 2005).

Figura 2 - Representação esquemática dos sistemas de injeção de combustível



- a) - Sistema de injeção indireto central, um bico injetor para os quatro cilindros;
- b) - Sistema de injeção indireto individual; um bico injetor para cada cilindro;
- c) - Sistema de injeção direta de combustível, um bico para cada cilindro.

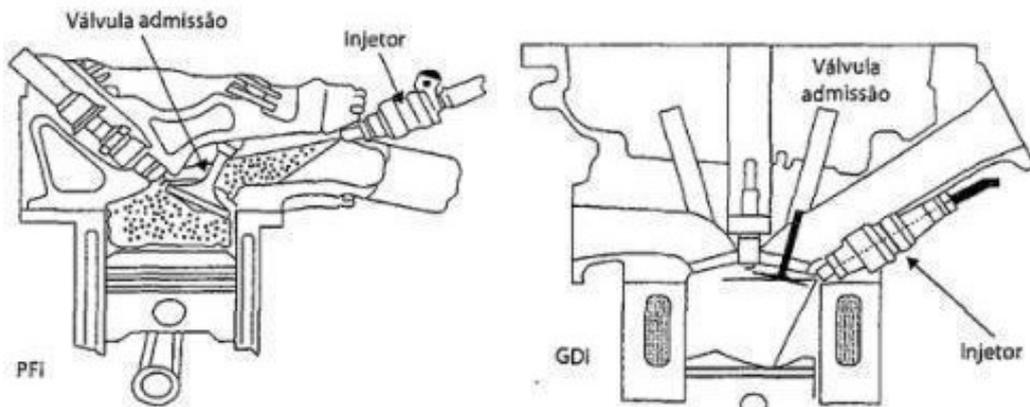
- 1 - Alimentação de combustível do tanque;
- 2 - Entrada do ar de admissão;
- 3 - Borboleta de admissão;
- 4 - Coletor de admissão;
- 5 - Bicos injetores;
- 6 - Motor de ciclo Otto;

Fonte: Brunetti (2018).

Para compararmos construtivamente ambos os sistemas, na Figura 3 temos à esquerda um sistema de injeção indireta de combustível e à direita temos um sistema de injeção direta em motores de ciclo Otto, demonstrando a aproximação do bico injetor da câmara de combustão e como o sistema de injeção direta de combustível não depende de abertura das válvulas de admissão para o combustível adentrar o recinto, isso justifica o melhor controle de injeção, pois é possível mapear estratégias eletrônicas que façam injeções estratificadas e favoreçam o funcionamento do motor em qualquer circunstância, tais injeções estratificadas só são possíveis nos motores GDI (BOSCH, 2005).

Segundo Brunetti (2018), mistura estratificada é a possibilidade da mistura ar/combustível ser flexível, operando em condições ricas, pobres e estequiométricas, somente o sistema de injeção direta permite essa configuração de operação, a diferença é que o combustível é injetado na fase de compressão e não na de admissão, permitindo uma quantidade de combustível menor a ser injetada.

Figura 3 - Posicionamento dos injetores de combustível sistema PFI (esquerda) e GDI (direita)

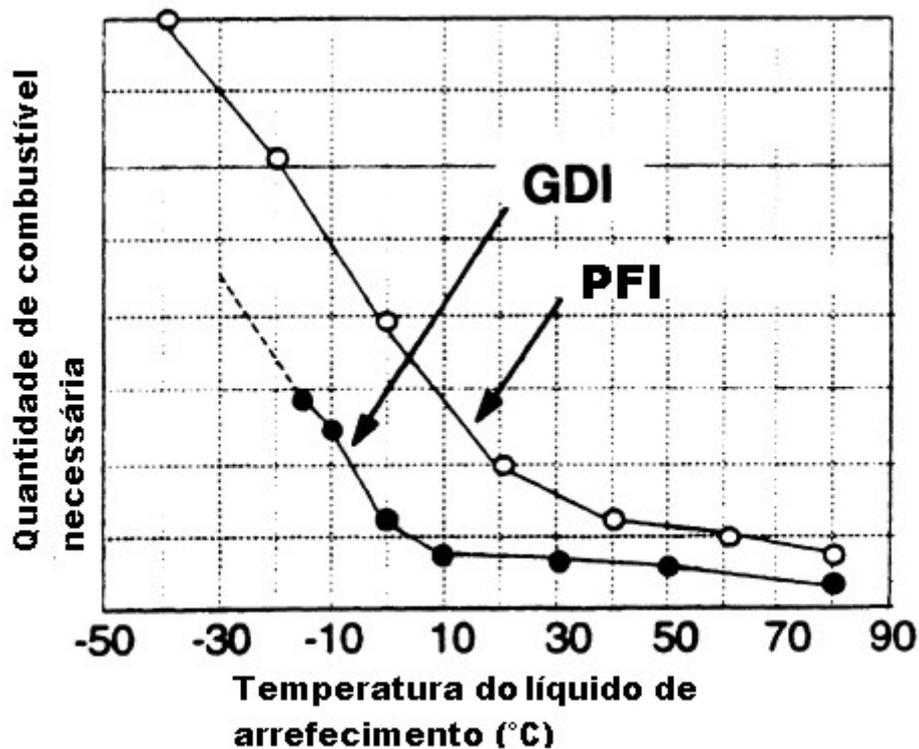


Fonte: Brunetti (2018).

Em testes realizados em laboratório, seguindo a norma NBR 7024, a eficiência energética de sistemas com injeção direta foi em média 10% superior se comparada a sistemas com injeção indireta de combustível (NUNES et al., 2017). A economia de combustível pode atingir até 25%, dependendo do ciclo de emissão utilizado, e consequentemente, as reduções de CO<sub>2</sub> são inferiores também (ZHAO et al., 2000)

Segundo Zhao et al., (2000), devido às condições da mistura na região próxima a vela de ignição, os motores com injeção direta não precisam de grandes quantidades de combustível e ciclos para atingir uma condição estável de combustão. É possível observar esta vantagem dos motores com injeção direta, principalmente nas partidas a frio, após os ensaios realizados pelo autor, na Figura 4.

Figura 4 - Comparação da quantidade de combustível necessária para partida em motores GDI e PFI, em diferentes temperaturas



Fonte: adaptado de Zhao et al. (2000)

## 2.2. POLUENTES ATMOSFÉRICOS

De acordo com o artigo 3º da política nacional do Meio Ambiente, poluição tem como definição a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; afetem desfavoravelmente a biota; afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 1981).

Poluentes atmosféricos podem ser definidos como qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem-estar público; danoso aos materiais, à fauna e flora, prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (CONAMA, 1989).

### **2.2.1. Hidrocarbonetos - HC**

Segundo Brunetti (2012), são compostos que deixam a câmara de combustão sem serem oxidados durante o processo de combustão, são formados principalmente por aldeídos, tolueno, propileno, metano, etano, acetileno e outros menos relevantes. Tem a formação normalmente em regiões da câmara onde as temperaturas não são suficientes para completar a reação ou em momentos em que a mistura ar/combustível se encontra muito fora da estequiométrica.

Segundo Bosch (2005), temos como produto da combustão dois tipos de hidrocarbonetos, os alifáticos que possuem característica inodora e os aromáticos que possuem odor, alguns são considerados cancerígenos sob exposição prolongada.

### **2.2.2. Monóxido de carbono - CO**

A formação de monóxido de carbono é resultado da queima incompleta dos hidrocarbonetos, se tratando de um produto da combustão incompleta está diretamente relacionado com a estequiométrica da mistura e processos de má formação da mesma, grande parcela do CO se oxida no sistema de pós-tratamento formando CO<sub>2</sub> (BRUNETTI, 2012).

Segundo Bosch (2005), é um gás incolor e inodoro, provoca a redução da capacidade do ser humano absorver oxigênio no sangue, provoca envenenamento quando se é exposto por períodos com alta concentração.

### **2.2.3. Óxidos de Nitrogênio - NO<sub>x</sub>**

De acordo com Brunetti (2012), os óxidos de nitrogênio são formados por monóxido de nitrogênio (NO) e dióxidos de nitrogênio (NO<sub>2</sub>). São formados principalmente pela reação do nitrogênio do combustível com o oxigênio do comburente e altas temperaturas favorecem sua formação, ou seja, o controle das temperaturas de combustão tem grande impacto na quantidade deste poluente gerado.

Segundo Bosch (2005), os óxidos de nitrogênio são responsáveis pela formação de chuva ácida, sua composição é formada por um gás incolor e inodoro e outro que se forma após sua exposição a atmosfera para um gás com odor irritante e coloração avermelhada.

#### 2.2.4. Aldeídos Totais - RCHO

Segundo Silva et al., (2014), a emissão de aldeídos é o resultado da oxidação de álcoois primários presentes nos principais combustíveis veiculares, gasolina, etanol e Diesel. Através de testes realizados em laboratório de um veículo, com motor 1.6 *flex-fuel* 2009, foi concluído que a formação de RCHO aumenta com o teor de etanol na mistura do combustível, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Emissão de aldeídos por combustível

Combustível	RCHO (mg/km)
EHR	10,245
A85	7,130
A22	1,010

Fonte: SILVA et al., (2014).

#### 2.2.5. Dióxido de Carbono - CO<sub>2</sub>

De acordo com Brunetti (2012), não é considerado um gás nocivo à saúde humana, tem sua origem em qualquer processo de combustão, tendo como características ser incolor e inodoro. Entretanto o acúmulo na atmosfera tem ligação direta com o efeito estufa, uma forma de reduzir a emissão de CO<sub>2</sub> por motores de combustão interna é otimizar o consumo de combustível, reduzindo a quantidade de combustível necessário para realização de trabalho, temos como resultado a menor geração de dióxido de carbono. Como abordado nos tópicos acerca de injeção direta de combustível, recursos para melhoria da eficiência energética dos motores sempre estão em desenvolvimento com objetivo de reduzir o consumo e otimizar o funcionamento.

Segundo Bosch (2005), um processo de combustão ideal, teria a formação somente dos seguintes compostos, água (H<sub>2</sub>O) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), desconsiderando os processos de formação secundária, assim é possível observar que o CO<sub>2</sub> sempre estará em formação.

### **2.2.6. Poluentes em motores de ciclo Otto com injeção direta**

Os motores equipados com sistema de injeção de combustível direta têm a formação de poluentes diferente dos motores de injeção indireta, fato determinado por trabalhar com misturas estratificadas no processo de combustão. É preciso um controle minucioso dos ângulos de trabalho, entre a injeção de combustível e centelha de ignição, além do controle de mistura ar/combustível, que é o principal requerido nas injeções indiretas (BRUNETTI, 2018).

Além dos principais elementos já controlados no sistema indireto como HC, CO e NO<sub>x</sub>, na injeção direta de combustível tem-se uma preocupação adicional com a formação de material particulado, visto que sua formação é mais notável neste sistema. Este material particulado é gerado por uma má formação de mistura em determinados momentos, onde a combustão é iniciada em mistura extremamente rica (BRUNETTI, 2018).

Como será abordado posteriormente, com a implantação desta tecnologia nos veículos, buscando melhores eficiências, a legislação de emissões de poluentes evoluem juntamente, a previsão da nova exigência brasileira fase L7 para início em 2022 que é baseada nas diretivas europeias, já prevê o controle de material particulado para veículos equipados com motores de ciclo Otto, tal controle só existia para veículos de ciclo diesel no Brasil (CETESB, 2018).

#### **2.2.6.1 Material particulado**

Material particulado (MP) é a denominação dada ao conjunto de partículas totais em suspensão, partículas inaláveis e partículas inaláveis finas. Em razão de suas dimensões extremamente pequenas, as partículas permanecem em suspensão no ar, invisíveis, porém causam efeitos à saúde. O tamanho das partículas é inversamente proporcional aos efeitos que causam, a seguir temos as definições dos tipos de partículas (CETESB, 2018).

- a) **Partículas totais em suspensão:** Tamanho de partícula com diâmetro inferior a 50 µm, uma parte tem poder de ser inalado e outra fica em suspensão afetando o meio como um todo.

- b) **Partículas inaláveis:** Tamanho de partícula com diâmetro inferior a  $10\mu\text{m}$ , dependendo da dimensão podem ser retidas na parte superior do sistema respiratório ou penetrar atingindo os alvéolos pulmonares.
- c) **Partículas inaláveis finas:** Tamanho de partículas com diâmetro inferior a  $2,5\mu\text{m}$ , definem a fração mais importante para a saúde pública, devido ao tamanho extremamente reduzido penetram profundamente no sistema respiratório.

São produzidos principalmente por motores de ciclo Diesel durante o processo de combustão, levando em consideração somente a emissão por veículos automotores, segundo Bosch (2005), veículos com injeção de combustível indireta, ou seja, formação de mistura no coletor de admissão produzem material particulado em quantidades muito pequenas, por trabalharem normalmente com mistura de combustível homogênea.

Material particulado difere de fumaça, segundo Brunetti (2018), a fumaça é formada por partículas sólidas visíveis, o material particulado é composto por combustível não queimado (hidrocarbonetos) e compostos inorgânicos, não necessariamente visíveis a olho nu. A grosso modo, a fumaça é qualquer composição que pode abrandar um fecho de luz e o material particulado pode ser determinado por partículas ultrafinas que, segundo Bosch (2005), podem ter características cancerígenas para o ser humano.

Os motores de ciclo Otto com sistema GDI proporcionam a maior formação de partículas ultrafinas em comparação com o mesmo motor utilizando um sistema de injeção indireto (BRUNETTI, 2018). Para determinar a quantidade de material particulado emitido, o veículo é submetido a testes em laboratório e através do método adequado que consiste em reter as partículas em filtros apropriados, enquanto o veículo percorre um ciclo pré-definido em norma. A determinação conforme os limites, é feita com a pesagem do filtro antes e depois do teste, assim é calculada a emissão em gramas por quilômetro rodado, método aplicado para veículos novos, estes precisam atender os limites do PROCONVE para poder ser homologado e comercializados em território nacional (ABNT NBR 6601, 2012).

Em trabalho apresentado no Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva (SIMEA) por Vilar et al., (2015), os motores com injeção direta de combustível vem ganhando maior destaque em desenvolvimento devido ao grande interesse e

compromisso com o meio ambiente, na redução do consumo de combustível e consequentemente a menor geração de CO<sub>2</sub>, segundo o trabalho apresentado o mesmo motor montado com um sistema de injeção direta tem uma redução no consumo de combustível variando entre 15% e 25%, quando comparado ao sistema de injeção convencional, infelizmente tem-se o bônus e ônus, pois este sistema tem maior geração de material particulado que é tão danosa quanto o CO<sub>2</sub> para a saúde humana. Na Europa o controle de MP com esta tecnologia é controlado desde 2009 e nos EUA desde 2017, o Brasil estabelece limites somente à partir do ano de 2022 (VILAR et al., 2015).

Pereira et al., (2019) apresentam no quinto simpósio internacional de tecnologia e inovação um estudo do impacto do MP a saúde humana, no artigo foi apresentado dados da *World Health Globalization*, que no ano de 2016 mais de 4 milhões de mortes prematuras tem causas oriundas da poluição atmosférica e principalmente a exposição ao material particulado, originados da emissão de indústria e escapamentos de automóveis. Sérias doenças têm comprovação direta com a inalação do MP, doenças cardiovasculares, doenças respiratórias e doenças do sistema nervoso, o trabalho enfatiza o estudo sobre os níveis aceitáveis de emissão para o corpo humano e afirma que deve existir um controle desta emissão. Partículas mais grossas (MP 10 µm) quando inaladas conseguem ficar retidas nas entradas respiratórias e não se alojando em partes mais sensíveis do sistema respiratório, entretanto a maior preocupação são as partículas finas (MP 2,5 µm), estas provocam as doenças de maior risco (esse tipo de partícula tem maior emissão proveniente da combustão dos automóveis), este tipo de partícula percorre os brônquios e alvéolos podendo penetrar na corrente sanguínea ocasionando problemas maiores, partículas ainda menores (MP 1,0 µm) podem agravar as doenças como asma e bronquite. As principais composições desse material emitido pelo escapamento de automóveis são, dióxido de carbono, hidrocarbonetos não queimados e alguns metais, estes que tem forte relação com o câncer de pulmão (PEREIRA et al., 2019).

Como em análise anterior, Vilar et al., (2015) apresenta a justificativa quanto a maior geração de material particulado em motores com esta tecnologia, estão relacionadas com o momento de ignição da mistura e seu processo de formação principalmente, que ocorrem com estratégias particulares para otimizar o funcionamento do motor, sendo a principal causa. O MP inalável é apresentado como um dos principais poluentes causadores de danos à saúde. Um ponto interessante

levantado no artigo é que no ano de 2013 foi lançado no Brasil um dos primeiros veículo de ciclo Otto com injeção direta de combustível e *flex-fuel* do mundo, partindo desta introdução no mercado nacional e ficando cada vez mais popular por aqui, torna-se necessário o desenvolvimento de estudos quanto à formação de poluentes (VILAR et al., 2015).

Os integrantes do estudo, realizaram ensaios de emissão de poluentes em laboratório acreditado para o tal e apresentaram os resultados. O veículo em estudo é equipado com um sistema de injeção direta de combustível *flex-fuel* e se enquadra na fase L-5 do PROCONVE devido ao ano de produção, 2013. Neste artigo, a sigla para representar a tecnologia de injeção direta é DISI (*direct injection spark ignition*), pois agora com um motor *flex-fuel*, é possível utilizar tanto gasolina quanto etanol, justificando assim a nomenclatura alternativa. Foram realizados diversos ensaios, tanto com gasolina quanto com etanol, ambos combustíveis de referência para teste, conforme norma NBR-6601, os valores em gramas por quilômetro foram tratados estatisticamente e apresentados no trabalho, a seguir será apresentado um comparativo de emissões deste veículo L5 de alta tecnologia com os futuros limites da L7 (VILAR et al., 2015).

Na Tabela 2, são apresentados resultados dos ensaios de emissão de Vilar et al., (2015). No artigo de estudo, foram realizados ensaios com A22 (gasolina padrão de referência, contendo 22 por cento de etanol anidro) e com EHR (etanol hidratado de referência), podemos observar que a emissão de material particulado foi 25 por cento maior quando realizado os testes abastecido com gasolina A22, mesmo assim o veículo ainda enquadrado na fase L5 poderia atender limites da fase L7, vale ressaltar que o veículo de teste possuía sistema de injeção direta de combustível *flex-fuel* (VILAR et al., 2015).

Tabela 2– Limites de emissão e resultados de testes de um veículo com DISI

	Limite L5	Limite L6	Limite L7	Emissão L5 (A22)	Emissão L5 (EHR)	Unidade
CO	2,000	1,300	1,000	0,244	0,394	g/Km
THC	0,300	0,300	-	0,010	0,020	
NO <sub>x</sub>	0,120	0,080	0,080 <sup>(1)</sup>	0,015	0,009	
NMHC	0,050	0,050		0,008	0,010	
CHO	0,020	0,020	0,015	-	-	
MP (GDI)	-	-	6,000	0,650	0,520	mg/Km

**Nota:** (1) foi apresentado uma estimativa de limite, pois na fase L7 estes gases são contabilizados de forma diferente, similar a uma somatória, mas contém mais alguns elementos não apresentados no trabalho. Emissão L5 (A22) e emissão L5 (EHR), são resultados médios obtidos nos ensaios FTP-75 apresentados por Vilar et al., (2015) no artigo de estudo, veículo com injeção direta *flex-fuel* 2013.

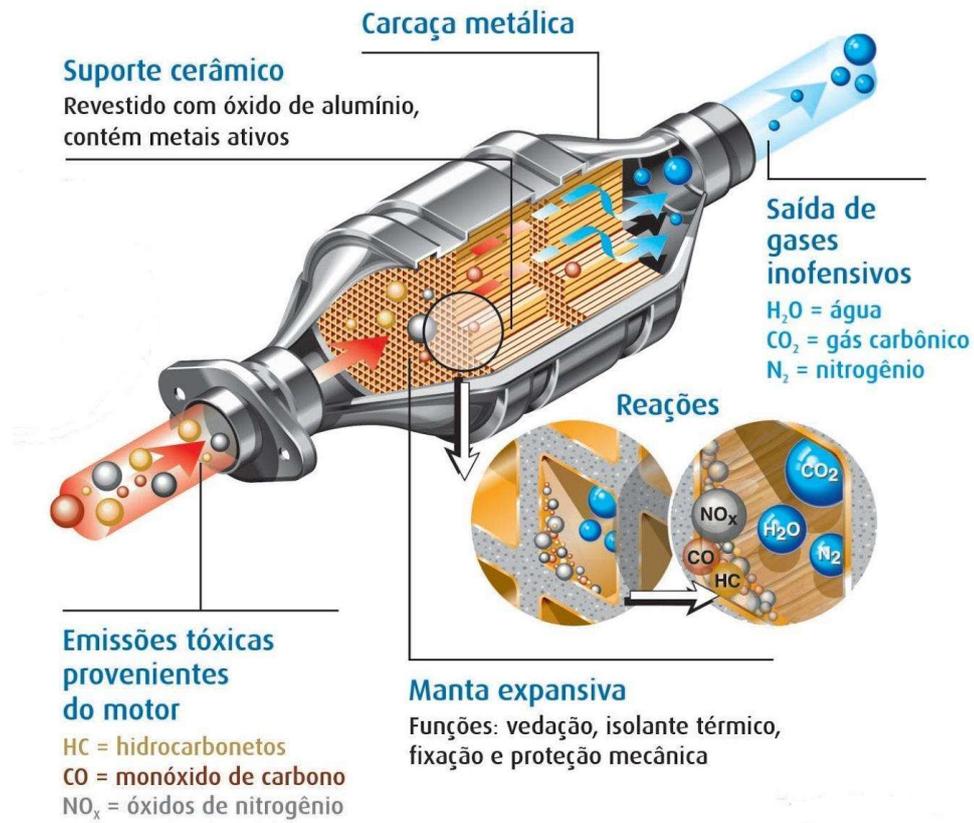
Fonte – Adaptado de VILAR et al., (2015) e CONAMA (2018).

### 2.3. SISTEMA DE PÓS TRATAMENTO, CATALISADOR

O catalisador é um dispositivo que tem a finalidade de converter substâncias poluentes para o meio ambiente em substâncias inofensivas, antes de serem liberadas pelo escapamento do veículo. A combustão incompleta e as impurezas presentes na gasolina e no álcool, podem gerar substâncias muito poluentes para o meio ambiente. No processo de combustão em motores, são gerados principalmente o monóxido de carbono (CO); hidrocarbonetos (HC) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) (dióxido e monóxido de nitrogênio). (RANGEL et al., 2003).

Construtivamente, o catalisador apresenta um formato de colmeia, justamente para aumentar a superfície de contato com os gases. Esta colmeia apresenta canais revestidos por metais nobres que são responsáveis pelas reações químicas que transformam os gases nocivos em gases não poluentes, como o gás nitrogênio (N<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), gás oxigênio (O<sub>2</sub>), vapor de água (H<sub>2</sub>O) e gás hidrogênio (H<sub>2</sub>) (RANGEL et al., 2003). A Figura 5 apresenta a construção e funcionamento básico do equipamento.

Figura 5 - Catalisador automotivo



Fonte: Nunes et al., (2017).

De acordo com Nunes et al., (2017), devido aos motores com injeção direta de combustível apresentarem um ganho em eficiência energética comparado aos com PFI, ocorre a redução da temperatura do gás do escapamento, um melhor controle na mistura ar-combustível e um perfil de temperatura mais estável, aumentando a vida útil e a eficiência do catalisador.

Em testes realizados com motores *flex-fuel*, o sistema com injeção direta obteve uma eficiência catalítica para HC e CO superior comparado ao sistema com injeção indireta, como é possível observar na Figura 6. Isso ocorreu devido à temperatura mais alta no gás de escapamento na entrada do catalisador. Os valores de NO<sub>x</sub> foram equivalentes nos dois motores (NUNES et al., 2017).

Figura 6 - Influência do sistema de injeção do motor e do combustível na eficiência do catalisador

Combustível	Sistema de Injeção	Eficiência catalítica (%)		
		THC	CO	Nox
A22	Direta	↑ 96	↑ 96	↓ 97
	Indireta	↓ 94	↓ 92	↑ 98
E100	Direta	↑ 87	↑ 92	↓ 96
	Indireta	↓ 80	↓ 84	↑ 97

Fonte: Adaptado de Nunes (2017).

Também foi concluído que o combustível influenciou na eficiência do catalisador. Nos motores a gasolina A22, a eficiência na conversão de HC e CO, respectivamente, foram em média 11,5% e 6% melhores em comparação a eficiência dos mesmos motores com E100 (NUNES et al., 2017).

#### 2.4. HISTÓRICO DAS LEIS DE EMISSÕES PELO MUNDO

As primeiras tecnologias de conversores catalíticos datam da década de 50 no estado da Califórnia nos Estados Unidos. Na década seguinte, foram criados os primeiros padrões de emissões para automóveis, em resposta aos problemas de poluição atmosférica na cidade de Los Angeles (RANGEL et al., 2003). Foi então que no ano de 1963, tornou-se obrigatória a instalação de sistemas de controle de hidrocarbonetos gerados no cárter do motor, e três anos depois o estado da Califórnia definiu o primeiro regulamento sobre as emissões de escape (POZZAGNOLO, 2013).

Após os primeiros passos na evolução da legislação, países como o Japão, Canadá, Austrália, Reino Unido, Suécia e Finlândia passaram a adotar medidas de controle de emissões veiculares, motivando as montadoras a produzir veículos cada vez menos poluentes (POZZAGNOLO, 2013).

No México, em 1991, começou a se utilizar catalisadores junto com a implantação de programas de inspeção e manutenção. Em 1998 já era medido CO, HC e NO<sub>x</sub> com a utilização de um dinamômetro. Após todas as regulamentações e com a implantação de catalisadores eficientes, os veículos testados na cidade de Monterrey emitiram 75% menos CO, 70% menos HC e 65% menos NO<sub>x</sub> comparados a veículos sem catalisadores. Isso são resultados do ano de 1995, hoje em dia os equipamentos de pós tratamento estão ainda mais eficientes (RIVEROS et al., 2002).

A evolução da legislação acarreta na oferta de veículos e combustíveis menos poluentes para o consumidor, possibilitando a redução dos níveis de emissão de poluentes atmosféricos. Em vários países pelo mundo, a poluição do ar é associada frequentemente ao crescimento contínuo da frota de veículos automotores em circulação (RIVEROS et al., 2002).

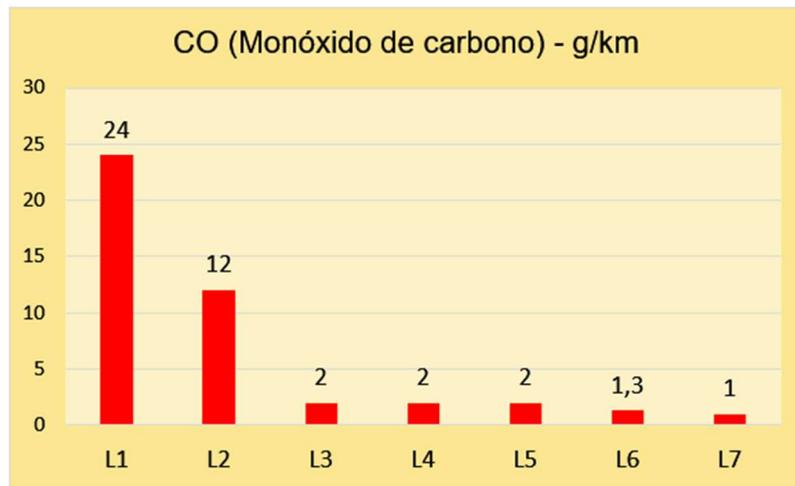
## 2.5. PROCONVE

A criação do Programa de controle de Poluição do Ar por veículos Automotores (PROCONVE) em 1986, coordenado pelo IBAMA, veio para definir limites de emissões de poluentes para veículos automotores e no ano de 1993 entrou em vigor uma lei que tornou obrigatório a redução dos níveis de emissões, fazendo assim com que as indústrias automobilísticas e setores de combustíveis melhorassem suas tecnologias. O cumprimento das exigências é monitorado através de ensaios laboratoriais em dinamômetro seguindo normas e procedimentos. Para veículos automotores o PROCONVE exige a certificação de protótipos e o acompanhamento estatístico de teste em veículos de produção, todos estes ensaios necessitam utilizar um combustível especialmente certificado definido também por uma norma brasileira. (IBAMA, 2011).

O estabelecimento das fases de emissão obriga os automóveis novos, nacionais e importados à cumprirem as exigências quanto a redução de emissão de gases poluentes na atmosfera, as montadoras e/ou importadoras obrigatoriamente precisam testar uma parcela estatística do volume de veículos vendidos em território nacional e o IBAMA é quem autoriza a comercialização dos veículos homologados (CONAMA, 2009).

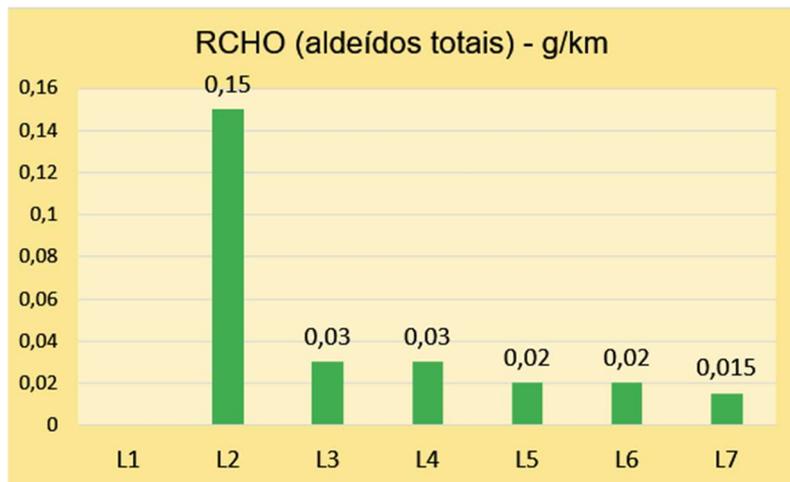
No programa de controle PROCONVE, os veículos seguem classificações quanto ao seu peso bruto total, que para leves carrega a letra "L" e para pesados "P", a homologação de veículos novos é quem força as indústrias ao desenvolvimento de novas tecnologias quanto ao melhor aproveitamento dos combustíveis e cada vez menor as emissões de poluentes, nos Gráficos 1, 2, 3 e 4 podemos observar a redução dos gases nocivos ao longo dos anos (CONAMA, 2009). O programa é dividido em fases de acordo com os anos de produção dos veículos, sendo a fase vigente no primeiro semestre de 2021 para veículos leves, a fase L6.

Gráfico 1 - Comparação dos limites de CO entre as fases do PROCONVE



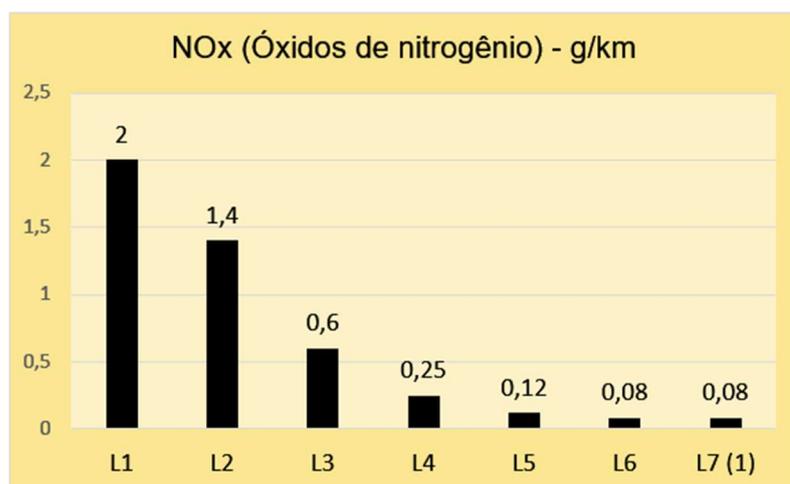
Fonte: Adaptado de CETESB (2018).

Gráfico 2 - Comparação dos limites de RCHO entre as fases do PROCONVE



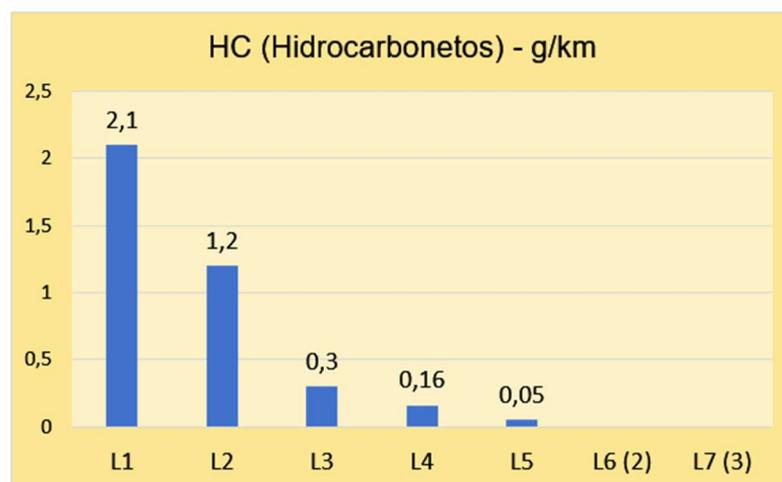
Fonte: Adaptado de CETESB (2018).

Gráfico 3 - Comparação dos limites de NO<sub>x</sub> entre as fases do PROCONVE



Fonte: Adaptado de CETESB (2018).

Gráfico 4 - Comparação dos limites de HC entre as fases do PROCONVE



Fonte: Adaptado de CETESB (2018).

**Nota:** (1) Na fase L7 o nível de NO<sub>x</sub> é medido juntamente com o NMOG;  
(2) e (3) Os hidrocarbonetos totais não mais exigidos sozinhos.

### 2.5.1. Fase L1

Implantada em 1988, esta fase teve como foco eliminar modelos de automóveis muito poluentes e aprimorar os que estavam em produção. As inovações tecnológicas mais importantes foram a reciclagem de gases de escape para controle de emissão de NO<sub>x</sub>; Injeção secundária do ar no coletor de exaustão para controle de monóxido de carbono e HC; Implantação de um amortecedor na borboleta do carburador para controle de HC e a melhora do avanço da ignição (CONAMA, 2009).

### 2.5.2. Fase L2

Nesta fase, que teve início em 1992, ocorreram muitos investimentos para a adequação de sistemas de injeção eletrônica e de conversores catalíticos. Dentre as principais mudanças temos a adequação de sistemas de injeção eletrônica, carburadores assistidos eletronicamente e conversores catalíticos. Estabelecidos limites quanto à emissão de ruídos pelo veículo em aceleração e enquanto parado (CONAMA, 2009).

### 2.5.3. Fase L3

Em 1997 os limites ficaram ainda mais baixos e os fabricantes começaram a implantar tecnologias para controlar eletronicamente o motor, mais precisamente a mistura de combustível, com os sensores de oxigênio (CONAMA, 2009).

#### 2.5.4. Fase L4

O foco desta fase, iniciada em 2005, foi o melhor controle de HC e NO<sub>x</sub> através de diversas adequações no motor, a qual consiste na otimização da câmara de combustão, melhora nos bicos de injeção ou aumento da pressão da bomba injetora e gerenciamento eletrônico mais eficiente (CONAMA, 2009).

#### 2.5.5. Fase L5

Em 2009 foi implantada a fase L5, que também contou com otimizações na câmara de combustão e bicos injetores, assim como o aumento da pressão da bomba injetora e injeção eletrônica. O objetivo era reduzir a emissão de HC, NO<sub>x</sub> e Aldeídos (CONAMA, 2009).

#### 2.5.6. Fase L6

No ano de 2013 entrou em vigor a última fase do PROCONVE até então, porém só em janeiro de 2014, passou a valer os limites para novos veículos leves de ciclo Otto. Vale ressaltar que estes ensaios e limites são aplicados para veículos novos e devem atender a exigências até os 80 mil quilômetros rodados, segundo legislação vigente (CONAMA, 2009).

A fase L6 estabelece reduções dos limites em relação à fase anterior, no monóxido de carbono (CO), de 2,0 g/km para 1,3 g/km, para NO<sub>x</sub>, de 0,12 g/km para 0,08 g/km, para emissões evaporativas – SHED, de 2,0 para 1,5 g/teste, para monóxido de carbono em marcha lenta, de 0,5% para 0,2%, para NMHC, mantido em 0,05 g/km e para aldeídos, mantido em 0,02 g/km (CARVALHO et al., 2014).

A Tabela 3 indica os limites de emissões da fase L6 para veículos de ciclo Otto. Nesta tabela temos os limites máximos de concentração dos gases que podem ser emitidos durante o teste em banco de provas seguindo a norma NBR 6601, além dos limites para emissões evaporativas, material particulado (para veículos diesel leves apenas) e emissões em marcha lenta (CONAMA, 2009).

Tabela 3 – Limites de emissões de poluentes veiculares da fase L6 para automóveis

Categoria	CO	NMHC	NO <sub>x</sub>	RCHO	MP (Diesel)	CO em Marcha lenta	Durabilidade emissões
LEVES	1,300	0,050	0,080	0,020	0,025	0,200	80.000
	g/ Km					%	Km

Fonte: Adaptado de CETESB, 2018.

### 2.5.7. Fase L7

A fase L7 exigirá o atendimento de novos limites em processo de homologação a partir de 2022 para todos os modelos de veículos a serem comercializados.

Nessa fase foram introduzidas modificações importantes. A emissão dos hidrocarbonetos passa a ser medida e reportada como NMOG, sigla em inglês para gases orgânicos não metano. Assim, só contabilizam de forma mais correta as emissões de hidrocarbonetos totais, aldeídos e etanol, coagidos pela sensibilidade do equipamento de medição para cada um desses compostos. Eliminou-se a permissão que havia de se descontar 100% da emissão de etanol não queimado no cálculo final do NMHC em veículos *flex-fuel* quando abastecidos com etanol. Isso possibilita a emissão demasiada desse composto. Na composição do valor de NMOG a emissão de etanol será considerada ponderada pelo seu potencial na formação de ozônio na atmosfera em relação ao que se verifica quando se utiliza a gasolina (CONAMA, 2018).

A grande e nova exigência de acordo com a tendência do mercado é o controle da emissão do material particulado em gramas por quilômetro, para veículos com motor de ignição por centelha e injeção direta de combustível, item que só era legislado para veículos de ciclo diesel nas fases anteriores, nesta nova fase o limite de emissão conforme ensaio baseado na NBR 6601 será o mesmo tanto para veículos leves movidos à gasolina, etanol ou diesel, conforme Tabela 4 (DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, 2018).

Outra modificação foi à adição de limite de emissão que considera a soma dos poluentes gases orgânicos e óxidos de nitrogênio (NMOG + NO<sub>x</sub>). Essa também é a maneira adotada na legislação dos EUA. Dessa forma, sem prejuízo do controle ambiental, permite-se uma maior flexibilidade ao fabricante no desenvolvimento e implantação dos sistemas de controle das emissões. Nesta fase não é esperada uma redução considerável na emissão de poluentes pelo escapamento, entretanto teremos

significativos avanços no controle das emissões evaporativas conforme descrito adiante (CONAMA, 2018).

Tabela 4 - Limites máximos de emissão de poluentes para veículos leves da fase L-7

Categoria	CO	NMOG + NO <sub>x</sub>	RCHO	MP (GDI e Diesel)	Durabilidade emissões
LEVES	1,000	0,080	0,015	0,006	160.000
	g/ Km				Km

Fonte: adaptado de CETESB, 2018.

A fase L7 estabelece novo procedimento e limite para a emissão por evaporação do combustível pelos veículos. O procedimento de ensaio é o mesmo utilizado nos EUA e prevê um ensaio com duração de 48 horas. Durante esse período o veículo permanece em uma câmara hermética que varia de pressão e temperatura interna e durante esse período a emissão evaporativa é monitorada não podendo ultrapassar o valor de 0,5 g (CONAMA, 2018).

Esse ensaio é mais severo no controle desta emissão em comparação com o ensaio utilizado até a fase L6, que considera um período de duas horas para a medição e um limite de 1,3 g. A resolução introduz também o requisito de atendimento a um limite de emissão de vapores de combustível quando do reabastecimento do tanque do veículo para atender a esse limite, os fabricantes deverão equipar os veículos com um dispositivo conhecido pela sigla ORVR, no momento do abastecimento o vapor de combustível presente no tanque e que é deslocado pelo combustível líquido que entra, é absorvido por um reservatório de carvão ativado. Esse vapor armazenado é então utilizado como combustível útil no funcionamento do veículo e deixa de ser lançado na atmosfera (CONAMA, 2018).

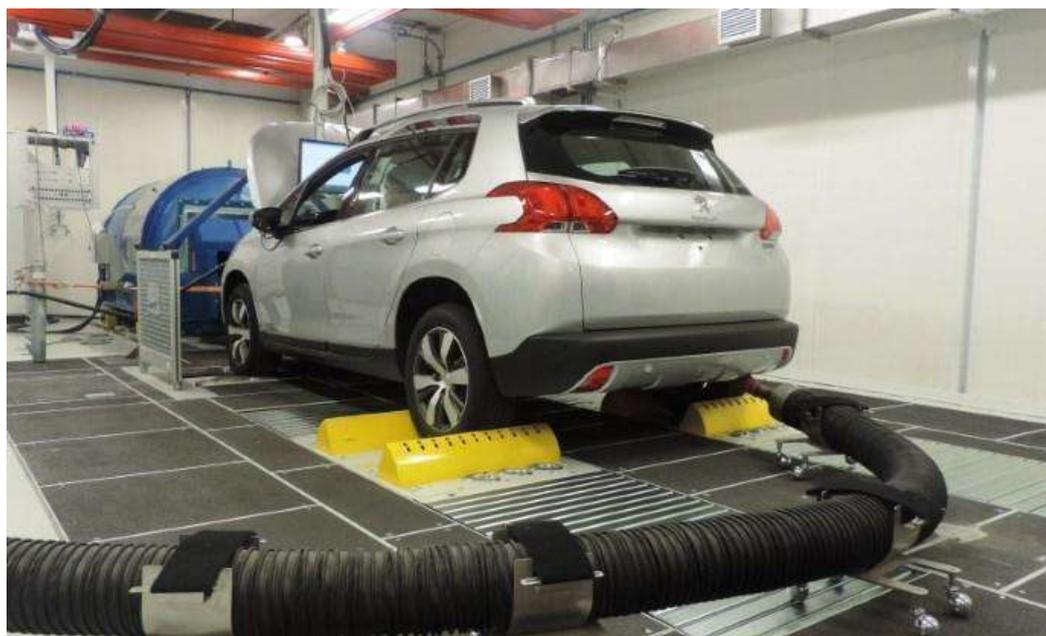
O atendimento ao limite de emissão de abastecimento de 50 mg/L se dará a partir de 2023 para 20% dos modelos vendidos por empresa, aumentando para 60% a partir de 2024. Em 2025 todos os modelos deverão atender a esse limite (CONAMA, 2018).

## 2.6 MÉTODO PARA TESTE DE EMISSÕES VEICULARES

Para a realização de testes padronizados e com determinada repetibilidade, no Brasil para o ensaio de emissão de poluentes o PROCONVE determina a utilização da norma regulamentadora NBR-6601 (última versão), ou seja os testes precisam seguir os métodos descritos para a determinação dos hidrocarbonetos totais (THC),

não metano (NMHC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e material particulado, emitidos pelo tubo de escapamento dos veículos rodoviários automotores leves, ensaiados sobre dinamômetro de chassis simulando uma condição de uso urbano, na Figura 7 temos um veículo montado em um banco de testes adequado (CONAMA, 2018).

Figura 7 - Veículo em teste de emissões de poluentes



Fonte: Jornal foco regional (2021)

### 2.6.1. Normas para ciclos de emissões veiculares

O ciclo de emissão é um procedimento para determinação de emissões veiculares sendo composto de um conjunto de diferentes parâmetros como velocidade, distância, aceleração, tempo de condução, duração e frequência de partidas e paradas. Seu objetivo é simular um padrão de condução próximo da realidade (ABNT, 2012).

No Brasil o ciclo de emissão adotado para determinação de emissões em veículos leves, é o ciclo americano FTP-75 (*Federal Test Procedure 75*) que é realizado em laboratórios com alto controle da metodologia, este teste consiste em o veículo percorrer um ciclo determinado sobre um dinamômetro de chassis simulando condições de condução urbana, nas Figuras 8 e 9 podemos observar um veículo montado em um banco de testes (ABNT, 2012).

Figura 8 – Laboratório de emissões veiculares Gandini



Fonte: Gandini (2021)

Os procedimentos relativos a este ensaio são descritos na Norma Brasileira (NBR 6601), que especifica um método para a determinação de hidrocarbonetos totais (THC) e não-metano (NMHC), monóxido de carbono (CO), óxido de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e material particulado, emitidos pelo motor através do tubo de descarga de veículos rodoviários automotores leves, funcionando sobre um dinamômetro de chassi simulando uma condição de uso normal médio em vias urbanas (ABNT, 2012).

Figura 9 – Laboratório de emissões veiculares Gandini



Fonte: Gandini (2021)

Outras normas brasileiras são citadas na ABNT NBR 6601 e complementam na determinação de emissão de poluentes, são a NBR 12026, que determina a emissão de aldeídos e cetonas contidos no gás de escapamento, pelo método de cromatografia líquida e a NBR 15598 que determina a quantidade de etanol não queimado contido no gás de escapamento, através do método de ensaio por cromatografia gasosa. A NBR 11481, por sua vez, regulamenta o método para a medição de emissão evaporativa de veículos automotores leves, equipados com motores de ciclo Otto (Figura 10), movidos a gasolina, álcool etílico hidratado e misturas de gasolina e álcool etílico. Existe também a norma que prescreve o método de ensaio para a medição da concentração de CO no gás de escapamento de veículos rodoviários automotores leves, equipados com motores Otto, em regime de marcha lenta, que é a NBR 10972. Por fim temos a NBR 7024, que estabelece o método para a medição do consumo de combustível de veículos rodoviários automotores leves com motores de combustão interna, através de ciclos de condução desenvolvidos em dinamômetro que simulam o uso do veículo no trânsito urbano e em estrada (ABNT, 2012).

Figura 10 – Ciclo de condução urbana em dinamômetro de chassis



Fonte: NBR 6601 (2012).

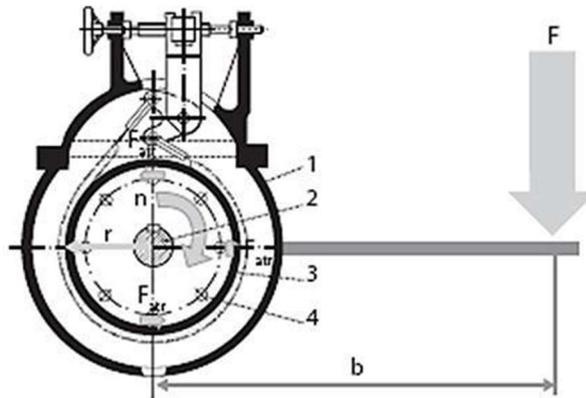
A Figura 10 representa o ciclo de condução urbano FTP-75 realizado sobre o dinamômetro, para avaliar a quantidade da emissão de poluentes legislados, seja para desenvolvimento de novos projetos, pesquisa ou conformidade de produção. Este gráfico plotado representa, tempo versus velocidade e é conduzido sobre um dinamômetro de chassis, onde um operador conduz o veículo obedecendo às acelerações e desacelerações necessárias procedendo as trocas de marcha seguindo padrões da norma, a função do dinamômetro é gerar uma resistência a rolagem tornando o teste mais próximo do real, como se o veículo fosse conduzido em perímetro urbano, dentre os detalhes técnicos do teste temos ainda as condições ambientais válidas e outros requisitos (ABNT, 2012).

## 2.7. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NOS TESTES

### 2.7.1. Dinamômetro

O engenheiro francês Gaspard Prony desenvolveu em 1821 um elemento didático para que fosse possível entender o princípio de funcionamento de dinamômetros (BRUNETTI, 2018). O freio de Prony, conforme Figura 11, ilustra claramente o funcionamento de praticamente todos os tipos de dinamômetros, apesar de que o elemento citado só pode ser utilizado com baixas potências, atualmente com o avanço tecnológico temos dinamômetros para testes de diversas potências.

Figura 11 – Exemplo do freio de Prony.



Fonte: Brunetti (2018).

Onde 1 é a carcaça pendular, 2 é o eixo motor/dinamômetro, 3 é a cinta de frenagem e 4 o volante. Seu funcionamento se dá por apertar uma cinta de freio sobre o rotor, aplicando assim uma força de atrito de forma a obter um equilíbrio dinâmico, com velocidade angular constante (BRUNETTI, 2018). A potência do eixo do motor, que é absorvida pelo freio, é transformada em outra forma de energia, no caso do freio de Prony e de outros dinamômetros é dissipada em forma de calor.

Existem dois tipos de dinamômetros mais usados e conhecidos, que são os hidráulicos e os elétricos. O princípio de funcionamento segue o mesmo do freio de Prony, apenas a frenagem que se diferencia. Enquanto nos hidráulicos a frenagem se dá pelo atrito com a água, nos elétricos utiliza-se campos elétricos e/ou magnéticos (BRUNETTI, 2018).

Dentre os dinamômetros elétricos, exemplo na Figura 12, um dos mais comuns é o dinamômetro de *Foucault*, possui um rotor em forma de uma grande engrenagem, feita de um material de alta permeabilidade magnética, no centro do estator existe uma bobina que recebe corrente contínua, quando essa bobina é energizada, gera um campo magnético que é concentrado nos dentes do rotor, e quando o rotor se move gera correntes nos anéis, aquecendo-os, então o calor gerado é absorvido pelo estator e pelo fluido de resfriamento, este tipo de dinamômetro pode ser regulado pela intensidade de corrente que passa pela bobina e isso permite que sejam construídos dinamômetros de grande porte (BRUNETTI, 2018).

Já o dinamômetro hidráulico é constituído por uma carcaça metálica apoiada em dois mancais, de um modo que permite que a carcaça fique livre para oscilar em

torno de seu eixo, sendo equilibrada pelo braço apoiado na balança ou célula de carga. O espaço interno deste freio é preenchido por água, que é empurrada quando o dinamômetro está em funcionamento. A água entra na concha da carcaça no sentido da rotação, porém como a carcaça está presa, a água entra em um grande movimento de turbulência, e assim transformando essa energia hidráulica em calor e esforço de torção, água então volta para o rotor, sendo drenada a alta temperatura e substituída por água fria através de orifícios nas conchas do estator, reiniciando o ciclo, os fabricantes destes dinamômetros recomendam uma temperatura de trabalho de no máximo 60°C (BRUNETTI, 2018).

Figura 12 – Dinamômetro de chassis elétrico (monorolo - AVL)



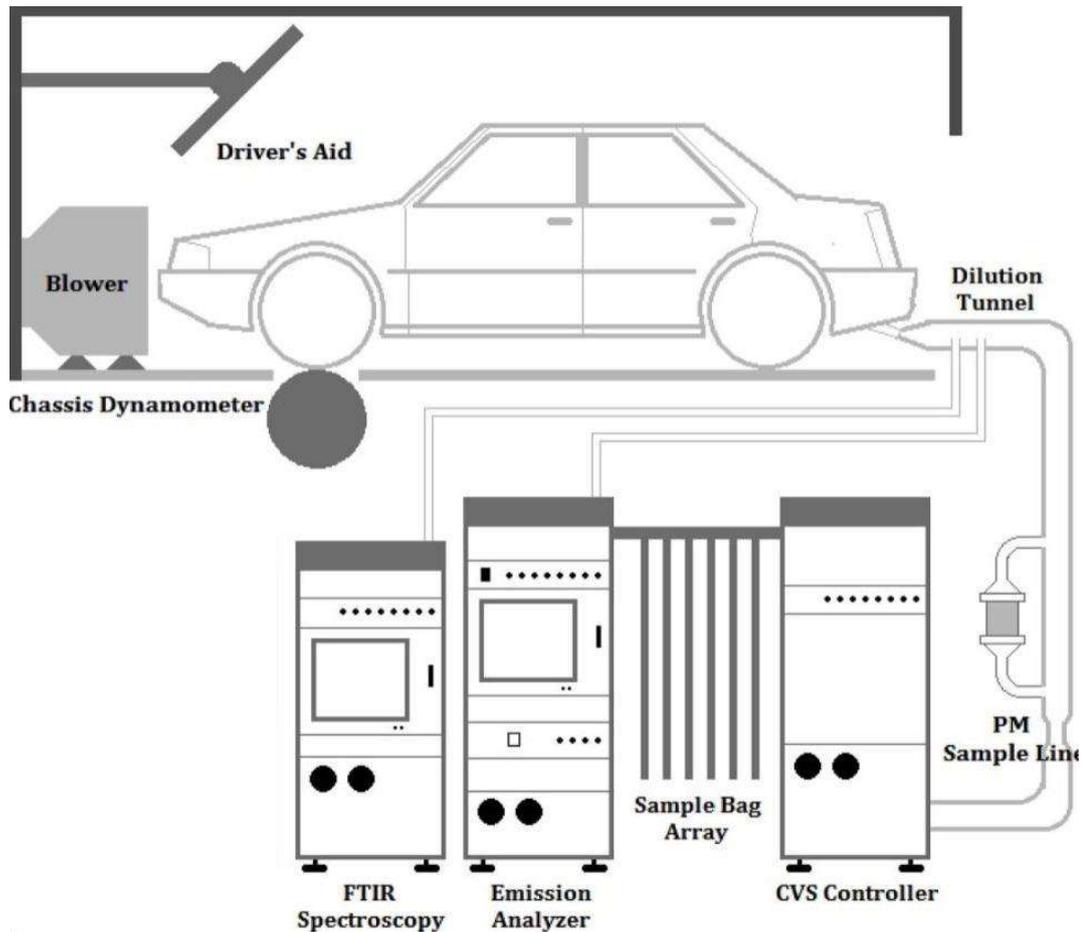
Fonte: Carvalho et al., (2014).

### 2.7.2. Amostrador de volume constante

Para coleta dos gases emitidos no tubo de escapamento durante o teste, é utilizado um sistema do tipo amostrador de volume constante (CVS) conforme ilustração na Figura 13, sua funcionalidade deve permitir uma diluição constante dos gases de escapamento com o ar ambiente da sala de testes, permitindo a amostragem esperada. O equipamento é conectado diretamente no tubo de exaustão do veículo.

Os gases diluídos são direcionados para balões de coleta da amostra durante as fases do ensaio, vale ressaltar que os gases do veículo são separados por fases (1,2 e 3) nos balões e também é realizado a coleta do ar ambiente da sala de testes, pois ao término do ensaio, as massas emitidas pelo veículo terão desconto das contaminações que poderão existir no ar de diluição (ABNT, 2012).

Figura 13 – Equipamentos para ensaios de emissão, ênfase no sistema CVS



Fonte: Wang et al., (2018).

Na Figura 13 temos os seguintes equipamentos:

- a) *Blower* - Ventilador para resfriamento do motor;
- b) *Chassis dynamometer* - Dinamômetro de chassis;
- c) *Driver's Aid* - Monitor de informações ao motorista durante teste;
- d) *Dilution Tunnel* - Túnel de diluição do gás de escapamento;
- e) PM - Ponto de coleta do material particulado;
- f) *CVS Controller* - Sistema de controle do amostrador;
- g) *Sample bag array* - Balões para armazenagem da coleta;
- h) *Emission Analyzer* - Analisador de gases;
- i) FTIR - Analisador de gases por espectrometria (não exigido na NBR 6601).

### 2.7.3. Analisadores de gases

A norma NBR 6601 especifica o tipo de equipamento que precisa ser utilizado para a análise de cada gás emitido pelo tubo de escapamento do veículo, após o gás ser diluído e armazenado ele será analisado, a seguir os compostos e seus respectivos equipamentos necessários, na figura 13 podemos observar o *emission analyzer* que é um módulo composto por analisadores internos, onde a coleta total entra e circula por todos, porém cada módulo individual realiza sua respectiva medição e informa ao software a concentração em ppm (ABNT, 2012).

- a) **CH<sub>4</sub>** - Metano, utiliza um analisador detector de ionização por chama equipado com um conversor catalítico ou por uma coluna cromatográfica em fase gasosa.
- b) **CO** - Monóxido de carbono e dióxido de carbono, analisador por absorção de raios infravermelhos não dispersivos (NDIR).
- c) **NO<sub>x</sub>** - Óxidos de nitrogênio, analisador de luminescência química (CLD).
- d) **HC** - Hidrocarbonetos totais, para motores de ciclo Otto é definido a utilização de um detector de ionização por chama (FID) e para motores de ciclo diesel a amostragem e medição é realizada de forma diferente, sendo necessária uma medição contínua ao longo do teste por um detector de ionização por chama aquecido (HFID), que basicamente difere por ter todo o sistema de coleta como linha, filtros e bomba aquecidos.
- e) **MP** - Material particulado, composto por uma sonda dentro do túnel de diluição, frontalmente instalada ao fluxo de amostragem, o material particulado é depositado em filtros de fibra de vidro recobertos com fluorcarbono ou membrana de fluorcarbono.

Vale ressaltar que os hidrocarbonetos totais para motor de ignição por compressão e o material particulado não são armazenados antes da análise, estes têm medição contínua durante as três fases do ensaio de emissão FTP-75, para a determinação do aldeído e álcool não queimado existem normas específicas quanto aos equipamentos e métodos, a NBR 6601 ainda apresenta todo o roteiro de cálculo necessário para a emissão de um relatório final do teste, onde os valores são apresentados em grama por quilômetro rodado, facilitando a análise em comparativo com o limite estabelecido em que a fase do PROCONVE o veículo se enquadra (ABNT, 2012).

### **3. METODOLOGIA**

A metodologia escolhida é a pesquisa exploratória, a qual consiste em levantamento de dados, estudo e revisão bibliográfica, exemplos e testes em laboratório. Para isso, a pesquisa utiliza-se de fontes primárias, artigos, dissertações e relatórios técnicos, bem como fontes secundárias como livros, manuais, além de normas técnicas brasileiras. O estudo terá caráter misto (qualitativo e quantitativo), com ênfase na observação e estudo documental, ao mesmo tempo que será necessário o alinhamento dos levantamentos com a pesquisa bibliográfica feita (GIL, 2002).

## 4. ANÁLISE

### 4.1. PONTOS POSITIVOS E NEGATIVOS DA FASE L7

O desenvolvimento e entrada em vigor de novas fases de emissão de poluentes para veículo automotores tem com benefício para a sociedade a melhora da qualidade de vida como um todo, visto que os fabricantes necessitam atender os limites de emissão estabelecido por fase vigente, as novas fases sempre buscam reduções significativas em determinados poluentes, avaliados como mais nocivos ao meio ambiente. No ano de 2022 entrará em vigor no Brasil a fase L7 do PROCONVE, tal fase estabelece redução dos limites de poluentes atuais e a exigência de se controlar a emissão de material particulado emitido por veículos de ciclo Otto com injeção direta de combustível, visto que a injeção direta é uma tecnologia que vem sendo aplicada nos motores para otimizar o consumo de combustível e performance, por meio de um melhor gerenciamento eletrônico e liberdade de trabalho do sistema.

A partir de 2022 os fabricantes terão que atender os limites de emissão para os veículos que serão comercializados em território nacional, através da fiscalização realizada por órgãos competentes todos os veículos novos precisam ser certificados. Em primeiro momento no período de homologação e posteriormente por amostragem uma determinada parcela de veículos novos, vale ressaltar que os limites são aplicados somente para veículos novos, cabendo a inspeção somente antes de serem vendidos ao mercado. No Brasil não existe um controle da frota circulante, ou seja, o veículo atende os requisitos quando novo, porém não existe um controle se irá continuar com uma baixa emissão ao passar dos anos. O fabricante atualmente precisa garantir a emissão por oitenta mil quilômetros rodados e na nova fase por cento e sessenta mil quilômetros, mas como citado anteriormente, não existe uma política vigente de fiscalização da frota circulante.

A grande vantagem dessa preocupação por parte dos órgãos competentes em desenvolver limites de emissão de poluentes, implantar e fiscalizar traz um grande benefício para todos no quesito do desenvolvimento tecnológico. Os fabricantes de automóveis precisam estar sempre melhorando seus produtos, testando e tornando eles mais eficientes, diante disto, temos carros com baixa emissão, alta tecnologia, grande rendimento e alta geração de empregos no setor de pesquisa e desenvolvimento.

## 4.2. O IMPACTO DA PANDEMIA

Devido à pandemia da Covid-19, os trabalhos das áreas de engenharia dos fabricantes de veículos e de seus fornecedores, no Brasil e no exterior, responsáveis pelos desenvolvimentos dos produtos para o atendimento das novas fases do PROCONVE, estão sendo duramente atingidos, levando a um inexorável atraso na conclusão dos mesmos, a agência nacional dos fabricantes de veículos automotores enumerou alguns pontos importantes, apresentados a seguir:

- a) Mudanças e até paralisações nas jornadas de trabalho para o atendimento de novos protocolos sanitários;
- b) Maior dificuldade para realização de testes em laboratório;
- c) Paralisação dos processos de pesquisa e desenvolvimento junto aos fornecedores;
- d) Falta de insumos para produção e desenvolvimento de protótipos e com a produção de componentes diversos;
- e) Dificuldade das viagens e acompanhamento de processos, visto que o desenvolvimento ocorre em diversos lugares ao mesmo tempo;
- f) Atraso na entrega de equipamentos para testes diversos;
- g) Interrupção do investimento de terceiros para criação de novas tecnologias e pesquisa de desenvolvimento;
- h) Atraso na realização dos ensaios de durabilidade dos componentes.

A agência nacional dos fabricantes de veículos automotores ANFAVEA, realizou a tentativa de adiar a entrada da nova fase L7, justificando os impactos mencionados acima, porém os órgãos responsáveis, até junho de 2021, não se manifestaram sobre o assunto, ficando até então estabelecido que no dia 1º de Janeiro de 2022, os novos limites de emissão por veículos automotores estarão em vigor, para todo o território nacional (ANFAVEA, 2020).

Esse período de pandemia afetou negativamente diversos setores, bem dizer todos, os fabricantes de veículos tiveram que lidar com as dificuldades no desenvolvimento e testes de seus produtos, pois para toda a comercialização a partir do começo do ano, os veículos precisam estar homologados junto aos órgãos responsáveis.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As emissões de poluentes veiculares são problemas globais, tendo em vista o crescimento exponencial da frota de veículos, a indústria automobilística precisa atender às leis de emissões para manter suas produções e vendas, levando em conta as homologações de novos veículos, tecnologias e conformidade de produção por amostragem. Todas estas exigências implicam em reduções significativas quanto a emissões de gases nocivos na atmosfera, trazendo mais qualidade de vida para a população em geral, preservando o meio ambiente, além de contribuir com o desenvolvimento e implantação de tecnologias ainda mais avançadas.

As exigências e diretrizes para a fase L7 estão publicadas oficialmente. Grande parte das informações são de fontes confiáveis e algumas publicações parciais disponíveis, visto que o desenvolvimento das exigências é contemplado por comissões compostas por especialistas das áreas de meio ambiente, indústria automobilística e diversos outros envolvidos. A determinação oficial publicada estabelece as novas exigências, a indústria e os institutos de pesquisa, bem como seus laboratórios precisam se adequar às novas realidades.

Nas últimas décadas a eficiência energética tem sido um dos principais temas de pesquisa e desenvolvimento pela comunidade científica em relação a veículos automotores, com objetivo da otimização do consumo do combustível, redução de perdas energéticas e de poluentes. Dentro deste cenário, o sistema de alimentação por injeção direta para motores de ciclo Otto tem sido uma tecnologia bastante estudada e suas aplicações tem se tornado cada vez mais constantes. Da mesma forma que a injeção eletrônica substituiu o carburador com o passar do tempo, a injeção direta ganhará o espaço dos sistemas com PFI, devido a todo seu potencial de performance e eficiência.

As limitações para o desenvolvimento deste trabalho devem-se à falta de materiais, artigos e pesquisas relacionadas aos temas abordados, são eles o impacto do material particulado na saúde humana, dados de testes de emissão dos veículos com a tecnologia de injeção direta e algumas normas regulamentadoras. Outra limitação encontrada foi quanto a proposta inicial de se realizar um teste dinamométrico a fim de analisar os níveis de emissão de um determinado veículo, porém devido a pandemia do novo coronavírus, desde o ano de 2020, o acesso aos laboratórios tem sido limitados a apenas para uso de profissionais do local.

Como proposta de trabalhos futuros, seria interessante realizar uma pesquisa comparativa das exigências do território nacional com locais que possuem controles de emissão mais sofisticados, como por exemplo, o continente europeu e o norte-americano, apresentando as diferenças de exigência da legislação, bem como se há a existência de controle de frota circulante.

O tipo de combustível é um importante fator para o estudo de emissões de poluentes veiculares. Com a pesquisa realizada é possível entender algumas particularidades de certos combustíveis, que são todos normatizados para a realização dos testes dinamométricos, porém estes combustíveis não estão disponíveis nas bombas de combustível dos municípios brasileiros, visto que são combustíveis com pureza e custo elevados. Este fator é relevante, pois os níveis de emissões de poluentes serão diferentes entre um veículo testado em laboratório e com o mesmo após ser emplacado, circulando normalmente pelas ruas.

Outro ponto importante da proposta, é quanto aos sistemas de pós tratamento de gases para a redução do material particulado, se existem, como funcionam e sua viabilidade de controle.

## 6. REFERÊNCIAS

ABNT, **NBR 6601**, Veículos rodoviários automotores leves — Determinação de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, dióxido de carbono e material particulado no gás de escapamento, 2012.

ANFAVEA. **Coletiva de Imprensa: A ANFAVEA defende o PROCONVE**. 15 de dezembro de 2020. Disponível em: [https://anfavea.com.br/docs/apresentacoes/apresentacao\\_dezembro\\_2020\\_PROCONVE.pdf](https://anfavea.com.br/docs/apresentacoes/apresentacao_dezembro_2020_PROCONVE.pdf). Acesso em: 25 de maio de 2021.

BOSCH, R.V.D, **Manual de Tecnologia Automotiva**, 25ª ed., São Paulo: Blucher, 2005.

BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna**. Vol. 1, 2ª Ed., São Paulo: Blucher, 2018.

BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna**. Vol. 2, 1ª Ed., São Paulo: Blucher, 2012.

CARVALHO, R.N.; VICENTINI, P. C.; SÁ, R. A. B.; VILLELA, A. C. S.; BOTERO, S. W. **A NOVA GASOLINA S50 E O PROCONVE L6**. Petróleo Brasileiro S. A. – PETROBRAS. São Paulo: Blucher, 2014.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, **Análise da proposta de Resolução CONAMA para as novas fases de controle de veículos leves do Proconve (L7 e L8) aprovada em reunião Plenária do CONAMA em 28 de novembro de 2018**. São Paulo, 2018.

CONAMA, Conselho nacional do meio ambiente, **RESOLUÇÃO CONAMA nº 18**, de 6 de maio de 1986. Publicada no DOU, de 17 de junho de 1986, Seção 1, páginas 8792-8795

CONAMA, Conselho nacional do meio ambiente, **RESOLUÇÃO CONAMA nº5**. Publicada no DOU, de 25 de agosto de 1989, Seção 1, páginas 14713-14714,1989. Disponível em: [http://www.suape.pe.gov.br/images/publicacoes/resolucao/Resolu%C3%83%C2%A7%C3%83%C2%A3o\\_CONAMA\\_005.1989.pdf](http://www.suape.pe.gov.br/images/publicacoes/resolucao/Resolu%C3%83%C2%A7%C3%83%C2%A3o_CONAMA_005.1989.pdf) Acesso em 03/05/2021, 21:14hrs.

CONAMA, Conselho nacional do meio ambiente, **RESOLUÇÃO CONAMA nº 415**, de 24 DE SETEMBRO DE 2009. Publicada no DOU nº 184, de 25/09/2009, págs. 53-54. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=615> Acesso em 03/05/2021, 21:27hrs.

CONAMA, Conselho nacional do meio ambiente, **RESOLUÇÃO CONAMA nº 492**, de 20 de dezembro de 2018. Publicada no DOU, edição 246 de 24 de dezembro de 2018, Seção 1, página 141. Disponível em: [https://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/56643907](https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/56643907) Acesso em 19/04/2021, 21:10hrs.

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, **Resolução nº 492 estabelece as fases PROCONVE L7 e PROCONVE L8, para veículos automotores leves novos de uso rodoviário**, Edição 246, Seção 1, Página 141, de 20 de dezembro de 2018. Disponível em: [https://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/56643907/do1-2018-12-24-resolucao-n-492-de-20-de-dezembro-de-2018-56643731](https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/56643907/do1-2018-12-24-resolucao-n-492-de-20-de-dezembro-de-2018-56643731) Acesso em 12/05/2021 às 22:00hrs.

GIL, A. C.; **Como elaborar projetos de pesquisa**, 4. ed., São Paulo: Atlas, 2002.

GUIMARÃES, C. S.; **Controle e Monitoramento de Poluentes Atmosféricos**, 1ª ed., Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

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. Disponível em <[https://aea.org.br/inicio/wp-content/uploads/2019/10/manualProconvePromot\\_portugues.pdf](https://aea.org.br/inicio/wp-content/uploads/2019/10/manualProconvePromot_portugues.pdf)> Acesso em 19/04/2021, 21:34hrs.

JORNAL FOCO REGIONAL, **Economia**. Atualizado em 5 de novembro de 2015. Disponível em: <<http://www.focoregional.com.br/Noticia/montadora-investe-65-milhoes-de-euros-em-novo>> Acesso em 17/05/2021 às 21:00hrs.

GANDINI, **Gandini centro tecnológico**. Disponível em: <<https://www.kia.com.br/centrotecnologico>> Acesso em 17/05/2021 às 23:00hrs.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, **Artigo 3º da LEI Nº 6.938**, ASSINADA EM 31 DE AGOSTO DE 1981. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm)> Acesso em: 26/03/2020, 16:19hrs.

NUNES, L.; LIMA, W.; PICCOLI, R.; ZOCCA, M. Impacto do sistema de fornecimento ar/combustível no desenvolvimento de catalisadores automotivos. **XXV Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva**, setembro 2017, vol. 4, num. 1. DOI: 10.5151/engpro-simea2017-05

PEREIRA, C. R.; GUARIEIRO, L. L. N. Impacto na saúde humana do material particulado oriundo da poluição atmosférica. **Simpósio internacional de inovação e tecnologia - SIINTEC**, 2019. DOI: 10.5151/siintec2019-111

PNUD, Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo Costa Rica, **Guía de orientación para organizaciones políticas y la ciudadanía: articulando los programas de gobiernos con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible**. San José: PNUD, 2017

POZZAGNOLO, M.; **ANÁLISE DAS EMISSÕES DE GASES EM VEÍCULOS AUTOMOTORES DO CICLO OTTO**, Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas do Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2013.

RANGEL, M. C.; CARVALHO M.F.A. Impacto dos catalisadores automotivos no controle da qualidade do ar. **Quim. Nova**, Vol. 26, Nº 2, Páginas 265-277, 2003. DOI:10.1590/S0100-40422003000200021.

RIVEROS, G. H.; CABRERA, E.; OVALLE, P. **Vehicle inspection and maintenance, and air pollution in Mexico City**. v.7, Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2002.

SILVA, K. C. C.; DAEMME, L. C.; PENTEADO, R.; MACEDO, V.; CORRÊA, S. M. Estudo das emissões de álcool não queimado e aldeídos em veículo *flex* analisadas pelas técnicas de cromatografia e FTIR, **XXI Simpósio internacional de engenharia automotiva - SIMEA**, 2014. DOI:10.5151/engpro-simea-PAP51.

SILVA, G. B; SOUSA, R. G. **Motores de Combustão Interna** – 1. ed. – Brasília: NT Editora, 2014.

VILAR, L. H. C.; DAEMME, L. C.; PENTEADO, R.; ERRERA, M. C. Estudo das emissões de material particulado em veículo leve com motor de ciclo Otto de injeção direta *flex fuel* - **XXIII Simpósio internacional de engenharia automotiva - SIMEA**, 2015. DOI:10.5151/engpro-simea2015-PAP154

WANG C. et al., **Ammonia emissions from China-6 compliant gasoline vehicles tested over the WLTC**, **Science Direct**, 2018 disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231018307994>> Acesso em 26/05/2021 às 12:30hrs.

ZHAO, F.; LAI, M. C.; HARRINGTON, D. L. **Automotive spark-ignited direct-injection gasoline engines**, Detroit: Pergamon, 2000.