

**CENTRO PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
FATEC SANTO ANDRÉ**

**Tecnologia em Eletrônica Automotiva**

**Juliana Cavalcante de Souza Marques**

**Natan Dourado Leite**

**ESTUDO DO SENSOR DE ÓXIDOS DE NITROGÊNIO E APLICAÇÃO  
NOS MOTORES COM IGNIÇÃO POR CENTELHA**

**Santo André - SP  
2020**

**Juliana Cavalcante de Souza Marques**

**Natan Dourado Leite**

**ESTUDO DO SENSOR DE ÓXIDOS DE NITROGÊNIO E APLICAÇÃO  
NOS MOTORES COM IGNIÇÃO POR CENTELHA**

Monografia apresentada ao Curso de Tecnologia  
Eletrônica Automotiva da FATEC Santo André,  
como requisito parcial para conclusão do curso  
em Tecnologia em Eletrônica Automotiva.

Orientador: Prof.º: Orlando de Salvo Junior

**Santo André - SP  
2020**

M357e

Marques, Juliana Cavalcante de Souza  
Estudo do sensor de óxidos de nitrogênio e aplicação nos motores com ignição por centelha / Juliana Cavalcante de Souza Marques, Natan Dourado Leite. - Santo André, 2020. – 50f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.  
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2020.

Orientador: Prof. Orlando de Salvo Junior

1. Eletrônica. 2. Veículos. 3. Motores. 4. Ignição por centelha. 5. Emissão de poluentes. 6. Sensor de óxidos de nitrogênio. 7. Tecnologia. I. Leite, Natan Dourado. II. Estudo do sensor de óxidos de nitrogênio e aplicação nos motores com ignição por centelha.

**Juliana Cavalcante de Souza Marques**

**Natan Dourado Leite**

**ESTUDO DO SENSOR DE ÓXIDOS DE NITROGÊNIO E APLICAÇÃO  
NOS MOTORES COM IGNIÇÃO POR CENTELHA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Graduação em Eletrônica Automotiva da FATEC SANTO ANDRÉ, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica Automotiva.

**BANCA EXAMINADORA**

**Local: Fatec Santo André**

**Horário: 17:00**

**Data: 17/07/2020**

Prof. Dr. Orlando de Salvo Junior  
Presidente da Banca  
Fatec Santo André

Prof. MSc. Cleber Willian Gomes  
Primeiro membro da Banca  
Fatec Santo André

Prof. Fernando Garup Dalbo  
Segundo Membro da Banca  
Fatec Santo André

**Santo André - SP  
2020**

Dedicamos este trabalho as nossas famílias e aos nossos amigos que sempre estiveram próximos, nos apoiando e incentivando nos momentos difíceis dessa etapa.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaríamos de agradecer primeiramente a Deus, responsável por todas as coisas, às nossas famílias, a qual foram um grande apoio e incentivo para que pudéssemos realizar este trabalho. É necessário também agradecer aos amigos de classe, aos professores, colaboradores e funcionários da instituição Fatec Santo André que sempre estiveram prontos a nos ajudar. Ao professor Fernando Garup Dalbo e professor orientador Orlando de Salvo Junior que nos orientaram ao longo do desenvolvimento do projeto, com paciência e habilidade em nos motivar, incentivando e deixando claro que todo esforço há uma recompensa. À todos, MUITO OBRIGADO!

“A matemática é o alfabeto com o qual Deus escreveu o universo”.

Galileu Galilei

## Resumo

Devido ao crescimento rápido de motores a combustão interna ciclo Otto, cada vez mais tem aumentado a quantidade de emissões poluentes no meio ambiente, pois conseqüentemente, tem aumentado as doenças nos seres humanos, o qual também tem afetado muito o efeito estufa. Antigamente não havia estudos e pesquisas tão eficientes como atualmente sobre os gases que são emitidos pelos escapamentos dos veículos. Dessa forma, este trabalho possui a finalidade de desenvolver um estudo sobre os sensores de óxidos de nitrogênio que são utilizado nos veículos diesel e que também podem ser aplicados futuramente nos veículos de motores com ignição por centelha, conceituando os principais gases poluentes provenientes da queima de combustíveis, seguindo as normas de limites de níveis dessas emissões poluentes dispersos na atmosfera que são confeccionados pelo Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores.

Palavras-chave: Emissão de poluentes. Sensor de óxidos de nitrogênio.

## **ABSTRACT**

Due to the rapid growth of Otto cycle internal combustion engines, the amount of pollutant emissions into the environment has increased, which consequently has increased diseases in humans, which also affected the much greenhouse effect. In the past, there were no studies and research as efficient as currently on the gases that are emitted by vehicle's exhaust. Thus, this work has the develop a study on the nitrogen oxide sensor that are used in diesel vehicles that can also be applied in the future on spark ignition engine vehicles, conceptualizing the main polluting gases from the burning of fuels, following the norms of limits of levels of these pollutant emissions dispersed in the atmosphere that are made by Motor Vehicle Air Pollution Control Program.

Keywords: Pollutant emission. Nitrogen oxide sensor.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Etapas do ciclo Otto .....	16
Figura 2 - Sistema de Injeção Direta de combustível .....	19
Figura 3 - Modelo de mistura homogênea e estratificada. ....	20
Figura 4 - Injeção direta .....	21
Figura 5 - Injeção multiponto .....	22
Figura 6 - Injeção monoponto.....	23
Figura 7 - Catalisador de três vias.....	27
Figura 8 - Limites de emissões-veículos leves .....	37
Figura 9 - Sensor de óxidos de nitrogênio Continental.....	38
Figura 10 - Esquema elétrico do sensor óxidos de nitrogênio.....	39
Figura 11 - Sensor de óxidos de nitrogênio NGK .....	40
Figura 12 - Sensor de óxidos de nitrogênio.....	42

## LISTA DE SIGLAS

A/C	Ar/Combustível
CH <sub>4</sub>	Metano
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
ECU	Unidade de Controle do Motor
EGR	Recirculação de gases de escape
g/Km	Gramas/quilômetros
HC	Hidrocarbonetos
H <sub>2</sub> O	Água
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
Kg/s	Quilograma/segundos
MCI	Motores a combustão interna
Mg/L	Miligramas/litros
Mo	Molibdênio
MP	Material particulado
N <sub>2</sub>	Nitrogênio
NGK	Nippon Gaishi kabushikigaisha
NO	Óxido nítrico
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
NO <sub>2</sub>	Dióxido de Nitrogênio
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrogênio
O <sub>2</sub>	Óxigênio
O <sub>3</sub>	Ozônio
PPM	Partes por milhão
Pt	Platina
PROCONVE	Programa de Controle de emissões veiculares
PMI	Ponto morto inferior
PMS	Ponto morto superior
Rh	Ródio
SCR	Redução catalítica seletiva
SO <sub>x</sub>	Óxido de enxofre
THC	Hidrocarbonetos totais

ZrO<sub>2</sub>

Óxido de zircônia

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1 Objetivos .....	14
1.2 Motivação.....	14
1.3 Justificativa.....	15
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>16</b>
2.1 Motores de combustão interna.....	16
2.1.1 Ciclo Otto.....	16
2.1.2 Motores aspirados.....	17
2.1.3 Motores turbos .....	17
2.2 Motores diesel.....	17
2.3 Princípio de alimentação de combustível .....	18
2.3.1 Injeção Direta .....	19
2.3.2 Injeção Indireta.....	21
2.3.2.1 Injeção Eletrônica multiponto .....	22
2.3.2.2 Injeção Eletrônica monoponto .....	22
2.4 Formação da mistura Ar/combustível (A/C).....	23
2.5 Combustível .....	<b>24</b>
2.5.1 Etanol .....	24
2.5.2 Etanol comercializado no Brasil .....	24
2.5.2.1 Álcool Etílico Hidratado Combustível.....	24
2.5.2.2 Álcool Etílico Anidro Combustível.....	25
2.5.3 Gasolina .....	25
2.5.3.1 Gasolina comercializada no Brasil .....	25
2.5.3.2 Gasolina A.....	26
2.5.3.3 Gasolina C.....	26
2.5.3.4 Gasolina de alta octanagem.....	26

2.6	Óleo Diesel.....	26
2.7	Sistema de controle de emissões poluentes .....	27
2.7.1	Catalisador .....	27
2.7.2	Sistema EGR.....	29
2.7.3	Sistema SCR.....	29
2.7.3.1	Sensor de óxidos de nitrogênio (NO <sub>x</sub> ) .....	29
2.8	Emissões de escape .....	30
2.8.1	Óxido de Nitrogênio (NO <sub>x</sub> ).....	31
2.8.2	Dióxido de Nitrogênio (NO <sub>2</sub> ) .....	31
2.8.3	Óxido Nítrico (NO).....	32
2.8.4	Hidrocarbonetos (HC).....	32
2.8.5	Material Particulado (MP) .....	33
2.8.6	Monóxido de carbono (CO) .....	33
2.8.7	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) .....	34
2.9	Gases de efeito estufa .....	34
2.10	REGULAMENTAÇÃO DE EMISSÕES.....	35
<b>3</b>	<b>MATERIAIS.....</b>	<b>38</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>41</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>42</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>44</b>
6.1	Propostas Futuras .....	44
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>46</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No século XVII houve desenvolvimento de conceitos para construir um mecanismo que gerasse força de forma automática, onde levasse a grandes distâncias e velocidades maiores que a tração humana ou animal. Um século depois (século XVIII), iniciou a Revolução Industrial e Nikolaus August Otto, engenheiro alemão, teve ideia de desenvolver uma máquina que utilizasse o benzeno como combustível, desta forma inventou e construiu o primeiro motor a combustão interna de quatro tempos, sendo conhecido como ciclo Otto. Este tipo de motor teve uma grande evolução considerando suas vantagens que até nos dias de hoje é utilizado esse princípio de funcionamento em grandes meios. O aumento constante de veículos tem proporcionado na contagem de emissões de gases nocivos na atmosfera, derivadas da queima de combustível utilizados nesses motores veiculares. Os limites de níveis poluentes dispersos na atmosfera são confeccionados pelo Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) para que haja um sistema de abatimento de poluentes (LUZ; MATOS, 2013).

### 1.1 Objetivos

A finalidade desse trabalho é desenvolver uma pesquisa sobre os sensores de gás óxidos de nitrogênio utilizado nos veículos diesel que pode ser aplicado também nos automóveis que possuem motor com ignição por centelha.

O estudo tem como princípio desenvolver os seguintes passos:

- Conceituar os gases provenientes da combustão;
- Conceituar as leis exigentes;
- Conceituar os sensores óxidos de nitrogênio e a aplicação em motores de combustão interna ciclo Otto.

### 1.2 Motivação

Conforme as metas desafiadoras impostas constantemente, as leis exigentes sobre a atmosfera, consumidores, pesquisadores automobilísticos preservassem a condição do ar, devido a análise da diminuição de poluentes provindos do motor ciclo Otto, possibilitando para nós estudos e conceitos para que buscássemos novas

tecnologias para aplicar este tipo de sensor de óxido de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) nos veículos leves.

### **1.3 Justificativa**

Apesar da grande evolução tecnológica atualmente, os motores de combustão interna (MCI) ainda são grandes responsáveis pela poluição com as emissões de escape veicular. Essas emanações em sua grande maioria são prejudiciais à saúde, podendo causar doenças respiratórias, paradas cardíacas, câncer e em alguns casos levar a morte. Com este conceito, buscamos realizar pesquisas de sensores que fossem possíveis ser implementados em veículos de passeio, ou seja, veículos que trabalham com ignição por centelha, principalmente o sensor de óxidos de nitrogênio, o qual o óxido de nitrogênio é um gás bastante prejudicial à saúde, possibilitando futuramente um controle mais eficiente com este tipo de estudo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os conceitos sobre os motores veiculares e as emissões provindas destes princípios.

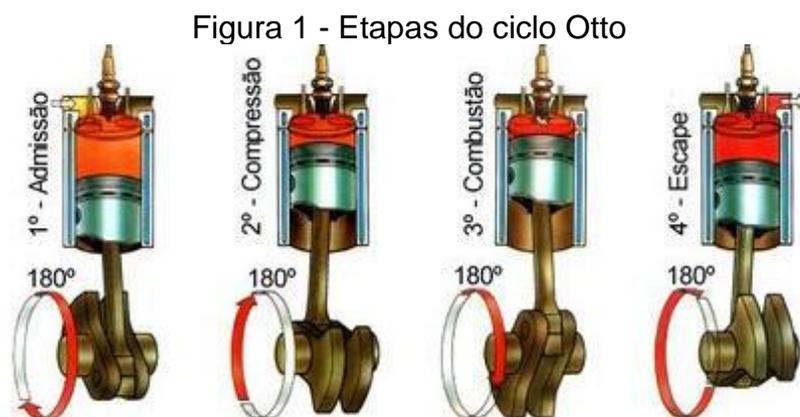
### 2.1 Motores de combustão interna

É o conjunto de peças fixas e móveis que transformam energia química do comburente em energia mecânica (LIMA, 2017).

#### 2.1.1 Ciclo Otto

O ciclo Otto é um princípio de MCI que realiza quatro operações em sequência, sendo elas: admissão, compressão, combustão e escape, conforme mostra a Figura 1, e cada etapa desse princípio equivale a certo ângulo ou meia volta no virabrequim, onde duas voltas completas equivalem a setecentos e vinte graus ( $720^\circ$ ), para cada etapa,  $180^\circ$  de giro da árvore de manivelas. O movimento do pistão (êmbolo) é transformado em movimento rotacional da árvore de manivelas que está ligada as rodas por motores, fazendo girar e permitindo o deslocamento do veículo (MILHOR, 2002).

Conforme Milhor (2002) essas são as quatro etapas:



Fonte: (RIOS; ACIOLI, 2010).

- 1º Etapa - Admissão: A admissão é caracterizada pelo movimento do êmbolo do ponto morto superior para o ponto morto inferior com a válvula de admissão aberta permitindo a entrada de ar combustível para dentro do cilindro, enquanto a válvula de exaustão se mantém fechada.

- 2° Etapa - Compressão: Na compressão, o êmbolo se desloca do PMI ao PMS com as válvulas fechadas, comprimindo a mistura A/C na câmara de queima. O preceito de ignição produz uma centelha antes do êmbolo chegar ao ponto morto superior, através da vela de ignição presente no cilindro, sendo a queima dessa mistura provocada pela centelha elevando a pressão no cilindro.
- 3° Etapa - Combustão: Devido à alta pressão no cilindro proveniente da segunda etapa, o pistão se desloca do ponto morto superior (PMS) para o ponto morto inferior (PMI) mantendo as válvulas fechadas. Durante esse processo a energia contida no combustível é liberada transformando-se em movimento.
- 4° Etapa - Escape: O escape é o último processo onde o êmbolo se desloca do ponto morto inferior para o ponto morto superior e a válvula de exaustão se abre permitindo que toda queima da mistura Ar/combustível (A/C) realizada seja expelida para o ambiente.

Segundo Milhor (2002), no Brasil se utilizam muitos veículos ciclo Otto.

### **2.1.2 Motores aspirados**

Já nos motores aspirados, a diferença é que ele aspira o ar apenas pelo movimento do pistão que gera um vácuo, pressão menor comparada à atmosfera, nele não possui nenhuma sobre alimentação, como no turbo ou compressor (PINHEIRO; LEME, 2014).

### **2.1.3 Motores turbos**

Chamado como turbo compressor ou turbocharger, tem como finalidade melhorar a eficiência volumétrica do motor através do aumento da densidade do ar de admissão, nesse caso, é usada uma turbina para fornecer o ar pressurizado, assim, aproveitando os gases de escape. Nos motores modernos a pressão aumenta, podendo ser entre 0,5 bar e 1,5 bar, em relação a pressão atmosférica (LAINO, 2014).

## **2.2 Motores diesel**

Os carros movidos a diesel utilizam como combustível óleo diesel, um óleo derivado da destilação do petróleo composto basicamente de hidrocarbonetos. Este

óleo é adentrado de forma pulverizada na parte interna da câmara de combustão tendo o encontro com o ar com temperatura e pressão elevada comprimida pelo êmbolo, possuindo o encargo de transformar a energia térmica da combustão em energia mecânica. Desta forma, a válvula injetora tem por função pulverizar o combustível misturado com o ar que proporciona a alta pressão e temperatura, atingindo a temperatura de auto ignição realizando a mistura comburir, expandir e realizar sua função no deslocamento do êmbolo. A principal característica deste motor está na auto ignição do combustível sem a precisão de possuir suprimento da vela de ignição. (PEREIRA, 2017).

### **2.3 Princípio de alimentação de combustível**

O carburador é um elemento mecânico que faz a alimentação do motor de combustão, também é o sistema que realiza a mistura estequiométrica ar/combustível nos motores e são baseados na sucção de combustível, para que a combustão ocorra da melhor forma possível é necessário que, a proporção seja a mais adequada possível, manter a razão estequiométrica consente que o motor tire o maior proveito da densidade de energia do combustível e tenha mistura ideal para diferentes motores. O gerenciamento eletrônico do motor sobreveio com o progresso da eletrônica, tornando viável a utilização de regulamentos microprocessados, realizando o controle digital do motor. Este tipo de gerenciamento eletrônico é um dos fundamentais responsáveis pelo abatimento do conflito ambiental causado pelos automóveis atuais, além de aumentar a existência dos motores, assegura também a contenção de comburente. Para gerenciar o motor, a unidade de controle do motor (ECU) recebe sinais elétricos que são fornecidos pelos diversos sensores que existem no motor, interpreta um grupo de informações relativas ao estado atual do motor, levando essas informações de entrada para o processamento do microcontrolador, que é responsável por determinar condições instantâneas de operação e pela atuação no motor (TRUOSOLO, 2013).

A injeção eletrônica substituiu o sistema carburado, onde se tornou uma condição obrigatória para os autos fabricados no Brasil, devido os controles de poluentes veiculares. Este tipo de sistema tem por função enviar o combustível ao motor do veículo de forma controlada, onde esse equilíbrio é garantido por um código que avalia a condição do motor, ajustando a alimentação para possuir eficiência e

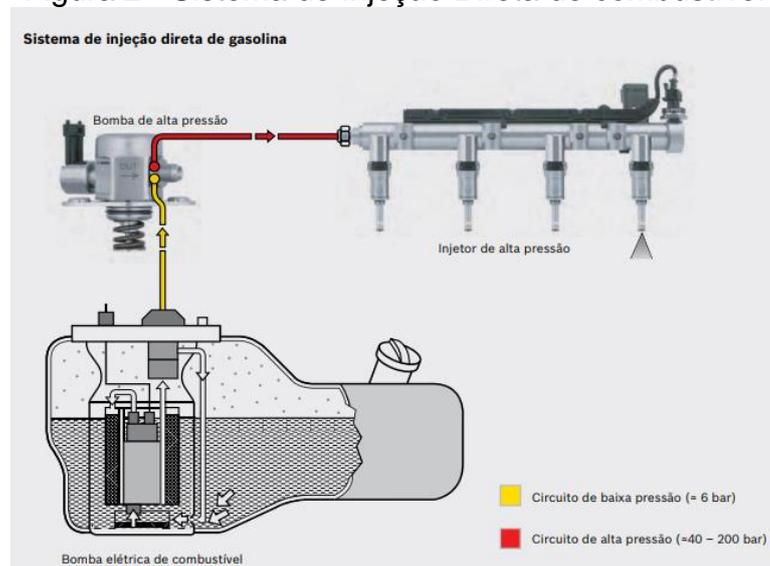
desempenho esperado. Contudo, esse sistema eletrônico também tem por objetivo reduzir a quantidade de emissões poluentes, através do domínio de entrada de comburente e de ar no motor, deixando o automóvel com uma melhor eficiência energética (DIAS, 2015).

Os carburadores foram substituídos pelos preceitos de injeção eletrônica, que são mais baratos e mais simples de ser usados nos veículos (LIMA, 2017).

### 2.3.1 Injeção Direta

A injeção direta de combustível consiste em um circuito de alta e outro de baixa pressão conforme mostra a Figura 2. A bomba de alta pressão comprimi o combustível a uma pressão de até 200 bar e em seguida fornece-o ao common rail dos injetores, onde este distribui o combustível aos injetores de alta pressão. Na de baixa pressão, a bomba elétrica de combustível fornece o combustível a bomba de alta pressão com uma pressão de 6 bar aproximadamente (LIMA, 2017).

Figura 2 - Sistema de Injeção Direta de combustível



Fonte: (LIMA, 2017)

Na injeção direta temos o sistema de mistura estratificada e homogênea mostrada na Figura 3, a qual os injetores são alocados no cabeçote, injetando o combustível diretamente no cilindro. Podemos garantir o controle dessas misturas tanto na injeção de comburente quanto no ponto de vista da admissão de ar. Antes de se usar turbos compressores, os efeitos dessas misturas eram alcançados através de

modificações no coletor de admissão permitindo o tombamento e o turbilhonamento na câmara de combustão.

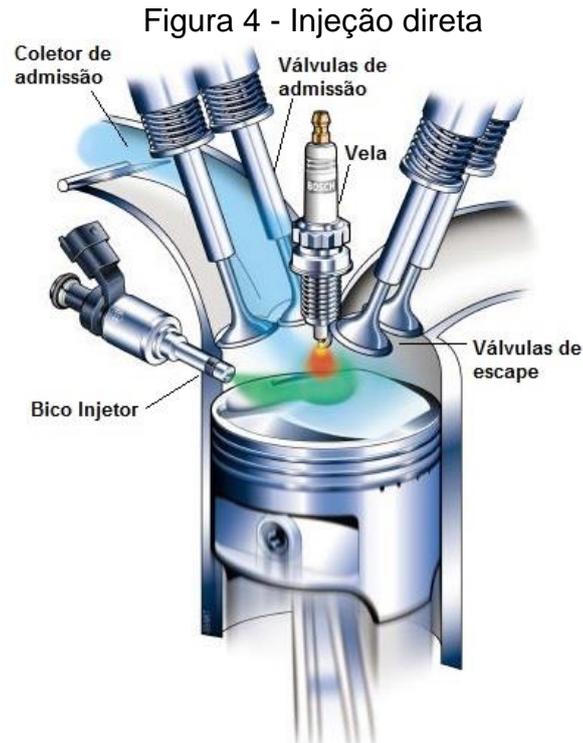
Figura 3 - Modelo de mistura homogênea e estratificada



Fonte: (TRUOSOLO, 2013).

A metodologia de injeção mostrada na Figura 4 nos motores sobrealimentados, existe a condição de bastante comburente. Se a injeção é realizada no tempo de admissão, tem-se o tempo que o êmbolo se desloca do ponto morto superior ao ponto morto inferior realizando a mistura do ar com o combustível no cilindro completo, permitindo assim a obtenção de mistura homogênea (RODRIGUES, 2014).

Ainda conforme Rodrigues (2014), caso o combustível seja injetado no ciclo de compressão, o ar e o combustível não tem o tempo para se misturarem com deslocamento do ponto morto inferior ao ponto morto superior do pistão como na admissão, concluindo que após a injeção seja realizada a queima, deixando assim a mistura estratificada, que significa, uma mistura separada por camadas, ou seja, uma mistura cuja razão ar/combustível varia espacialmente dentro da câmara de combustão, admitindo no interior dessa câmara regiões com misturas levemente enriquecidas e outras contendo apenas ar. Neste tipo de mistura, a combustão tem seu princípio em uma região onde a mistura é levemente rica ocorrendo assim a propagação de chama na direção e regiões onde a mistura está de forma mais pobre. Sendo esta ocorrência, o fundamento do aumento da resistência à detonação.



Fonte: (MELO, 2014).

Segundo Melo (2014) possuímos algumas vantagens de se utilizar a injeção direta estratificada, sendo elas: redução de 15% no gasto de combustível e torque 5% de aumento; redução da temperatura do motor e menor nível de poluentes; redução dos processos de detonação e aumento do rendimento do motor. Enquanto as desvantagens relacionadas a este segmento são: maior custo de manutenção; alta complexidade do sistema imposto para avaliação de eventos e qualificação intensificada da assistência técnica.

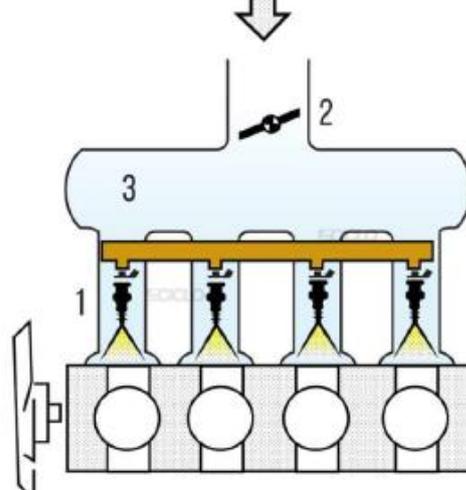
### **2.3.2 Injeção Indireta**

Os motores de injeção indireta são diferentes por terem o injetor ligeiramente afastado do combustor. Nesse caso, a injeção ocorre no coletor de admissão, antes de válvula. É uma solução eficiente e muito confiável que serve para diversos carros há décadas, isso porque exige pouca manutenção e é relativamente econômica de se fabricar. A injeção ocorre em uma pré-câmara de combustão assegurando a mistura entre ar e comburente de forma eficaz, assim a queima se inicia antes do combustor. Uma diferença técnica fundamental é que na maioria dos casos, a injeção indireta trabalha com pressões na faixa de 3 bar (LIMA, 2017).

### 2.3.2.1 Injeção Eletrônica multiponto

Na Injeção Eletrônica multiponto mostrada na Figura 5, existe uma válvula injetora para cada cilindro, onde o combustível é injetado apenas no cilindro que está sendo realizado a admissão de ar, tornando a economia mais eficiente (JUNIOR; JATO; HIROKI, 2016).

Figura 5 - Injeção multiponto

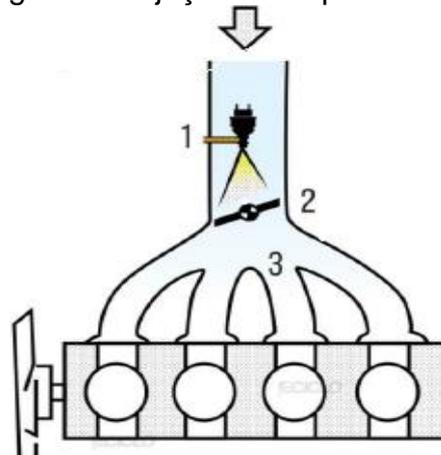


Fonte: (LIMA, 2017).

### 2.3.2.2 Injeção Eletrônica monoponto

Conforme a Figura 6, a Injeção Eletrônica monoponto destaca-se pela utilização de apenas uma válvula injetora no coletor de admissão, pulverizando certa quantidade de combustível no ar que faz distribuição idêntica para os cilindros do motor (LIMA, 2017).

Figura 6 - Injeção monoponto



Fonte: (LIMA, 2017).

## 2.4 Formação da mistura Ar/combustível (A/C)

O objetivo da mistura ar/combustível é preparar uma mistura com base no aspecto atmosférico e do comburente contido no tanque do veículo tornando satisfatório as condições para o melhor funcionamento do motor. A princípio a melhor relação A/C para os MCIs ciclo Otto seria aquela que fornecesse maior potência no eixo e com o menor gasto de combustível, porém devido às requisições de domínio de emissões prejudiciais muda a situação fazendo com que o consumo específico não seja o menor possível (FAGGI, 2012).

Essa relação admitida pelo motor é representada pela letra grega *lambda*, seguindo a proporção em massa conforme a Equação 1:

$$\lambda = m_{ar}/m_c \quad (1)$$

Onde:

$\lambda$  - Relação massa de ar/ massa de combustível (adimensional);

$m_{ar}$  - Massa de ar admitida pelo motor (Kg/s);

$m_c$  - Massa de combustível admitida pelo motor (Kg/s).

Quando valor de *lambda* é maior que 1, significa que a mistura está com excesso de oxigênio resultando em mistura pobre, quando o valor de *lambda* é menor que 1, a mistura é denominada rica, e quando este valor for 1, tem-se a relação estequiométrica. O controle da mistura ar/combustível é bastante significativo para o

adequado funcionamento dos motores à combustão interna ciclo Otto. Essa relação citada anteriormente influencia diretamente no funcionamento do motor, em questão de poluentes e também no consumo do combustível utilizado. Para ocorrer o funcionamento adequado em que esperamos, é necessário que essa relação seja ideal para a queima, sendo que cada combustível tem sua relação de proporcionalidade com o ar. A gasolina E22, por exemplo, possui sua mistura ideal em 12,5 partes de combustível para 1 de ar, podendo ser expressa 12,5:1. Se adicionarmos mais combustível nessa mistura, é denominada como lambda menor que 1 ( $\lambda < 1$ ), e se tirarmos dessa mistura, torna-se uma mistura com lambda maior que 1 ( $\lambda > 1$ ) significando que a mesma está pobre (FAGGI, 2012).

## **2.5 Combustível**

Este capítulo trata de conceitos importantes dos combustíveis automotivos utilizados em veículos de passeio comercializados no Brasil e as emissões poluentes.

### **2.5.1 Etanol**

O etanol pode ser utilizado em várias aplicações diferentes, o qual em nosso assunto está se referindo ao combustível automotivo. Estes podem ser produzidos através da fermentação do açúcar extraído da cana de açúcar, milho (biomassa) ou também pela hidratação catalítica do etileno. Como combustível, é utilizado na forma hidratada ou anidra em combinação com a gasolina. Nos Estados Unidos, este tem derivação procedente do milho, enquanto no Brasil, cana de açúcar (MANZOLI, 2009).

### **2.5.2 Etanol comercializado no Brasil**

A Agência Nacional do Petróleo constitui as especificações dos álcoois etílicos utilizados como combustíveis no Brasil, classificados como álcool etílico hidratado combustível e álcool etílico anidro combustível.

#### **2.5.2.1 Álcool Etílico Hidratado Combustível**

Este tipo de combustível possui um grau alcoólico que varia entre 92,6° e 93,8°, conforme o Instituto Nacional de Pesos e Medidas, podendo ser empregado como

combustível nos automóveis flexíveis ou aqueles que utilizam apenas álcool. Esse etanol hidratado possui valores entre 95,1% e 96% de etanol na sua composição e o restante é água (FERREIRA, 2003).

### **2.5.2.2 Álcool Etílico Anidro Combustível**

Este combustível possui um grau alcoólico no mínimo 99,3°, conforme o Instituto Nacional de Pesos e Medidas, este grau se refere a elevada desidratação do Etanol, que necessita desta alta pureza para que este combustível seja complementado na gasolina. Esta composição torna a queima do combustível mais limpa e com menor quantidade de CO e HC não queimados, melhorando a combustão devido ao comparecimento de O<sub>2</sub> na molécula de álcool (FERREIRA, 2003).

### **2.5.3 Gasolina**

A gasolina é um combustível derivado do petróleo composto basicamente de HC's e de alguns contaminantes como o nitrogênio e o enxofre, utilizados em motores de combustão por centelha. As características desse combustível dependem muito da origem do petróleo e principalmente dos processos de refino pelos quais ela passou. No Brasil, este combustível não é o principal em produção, mas ainda é o que atende de grande forma o mercado consumidor. Os Olefinas, aromáticos, alcanos e cicloalcanos são compostos orgânicos que constituem a gasolina. A qualidade deste produto é caracterizada essencialmente pela volatilidade e a capacidade antidetonante. Para que tenha a estequiometria da queima da gasolina, é necessário que as moléculas de carbono e hidrogênio juntem-se as moléculas de oxigênio formando o gás carbônico e água (MANZOLI, 2009).

#### **2.5.3.1 Gasolina comercializada no Brasil**

O combustível, principalmente a gasolina é caracterizada em função de sua octanagem, ou seja, é um fator que concebe sua competência de resistir à compressão sem entrar no processo de auto-ignição, onde a octanagem define a característica do combustível. Este combustível comum pode ser comparado à gasolina "regular", sendo do mesmo modo a gasolina que possui os próprios aditivos dispersantes e detergentes do combustível aditivado (FERREIRA, 2019).

### **2.5.3.2 Gasolina A**

Segundo Mello (2008) a gasolina tipo A é produzida nas petroquímicas ou refinarias no Brasil, ou importada pelos administradores econômicos. Esta não possui mistura de etanol e sua densidade está entre 700 a 770 g/L, basicamente constituída de uma mistura de nafta em uma certa proporção.

### **2.5.3.3 Gasolina C**

A gasolina tipo C é comercializada em postos de combustíveis e é utilizada nos dias de hoje, conhecida como a gasolina E27, a qual esta contém 73% de gasolina tipo A descrita anteriormente e 27% de etanol sem água, popularmente chamado de etanol anidro. Antigamente essa gasolina possuía 20% a 25% em volume de álcool etílico anidro, substituindo a utilização do chumbo tetraetila (RODRIGUES, 2017).

### **2.5.3.4 Gasolina de alta octanagem**

A gasolina de alta octanagem também conhecida como Gasolina *Premium* possui os mesmos aditivos da gasolina tipo C, seu índice de octanagem é superior resultando em 91, e devido seu teor de enxofre ser menor, é menos poluente.

É recomendado para automóveis que possuem motores de alto desempenho e taxas de compressão elevadas, podendo apresentar problemas caso utilizam outros combustíveis, enquanto que o uso dessa gasolina é ineficiente em motores com taxas de compressão normais (RIOS; ACIOLI, 2010).

## **2.6 Óleo Diesel**

Conforme Anghebem (2013), o óleo diesel é um combustível derivado do petróleo levemente tóxico e com forte odor, é inflamável, límpido e de baixa volatilidade. É constituído por átomos de carbono e hidrogênio além de possuir pequenas concentrações de enxofre, oxigênio e nitrogênio, os quais possuem características de ignição e de escoamento adequadas ao funcionamento dos motores de ignição por compressão.

## 2.7 Sistema de controle de emissões poluentes

Os sistemas de controle dessas emissões provindas do MCI, tem sido de grande valor para o meio ambiente.

### 2.7.1 Catalisador

O catalisador é um produto que restringe a toxidade das emissões dos vapores de escape do MCI. Sua principal função é realizar a transformação química das emissões poluentes, HC (hidróxido de carbono), CO (monóxido de carbono) e NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrogênio) em dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), nitrogênio (N<sub>2</sub>) e água (H<sub>2</sub>O), que são componentes não nocivos. Esses conversores catalíticos possuem características monolíticos, suportados, não suportados, porosos e peneiras moleculares. Os catalisadores de três vias conforme Figura 7, são aqueles que retiram os gases prejudiciais. A concentração desses poluentes antes do catalisador é influenciada pelo *lambda*, que é o coeficiente de ar. Se esses gases estiverem em equilíbrio químico, o catalisador realiza a conversão desses poluentes. Para que este conversor tenha uma eficiência superior a 85%, é necessário que o mesmo se encontra em funcionamento adequado (FILHO; FERREIRA, 2018).

Figura 7 - Catalisador de três vias



Fonte: (RIOS; ACIOLI, 2010).

Essa eficiência é calculada conforme a Equação 2:

$$\text{Eficiência (\%)} = \frac{[\text{HC, CO, NOx (entrada do cat.)}] - [\text{HC, CO, NOx (saída do cat.)}]}{[\text{HC, CO, NOx (entrada do cat.)}]} \quad (2)$$

Onde:

HC - Hidrocarbonetos (g/Km);

CO - Monóxido de carbono (g/Km);

NO<sub>x</sub> - Óxidos de nitrogênio (g/Km).

Os conversores catalíticos possuem duas partes: redução e oxidação.

Os conversores catalíticos de redução são os que usam ródio (Rh) e platina (Pt) ou molibdênio (Mo), o qual a utilização destes itens depende do conversor, tipo de combustível para que haja a redução dos gases oxidos de nitrogênio. Quando o NO<sub>2</sub> ou NO entra no catalisador, há uma quebra de molécula dividindo assim os átomos de nitrogênio que fica confinado enquanto o oxigênio é liberado representado na Equação 3 e 4. Os átomos que ficaram confinados se unem com outros átomos de nitrogênio formando N<sub>2</sub> (RIOS; ACIOLI, 2010).



Onde:

NO - Óxido nítrico (g/Km);

N<sub>2</sub> - Nitrogênio (mg/L);

O<sub>2</sub> - Oxigênio (mg/L).

ou



Onde:

NO<sub>2</sub> - Dióxido de carbono (g/Km);

N<sub>2</sub> - Nitrogênio (mg/L);

O<sub>2</sub> - Oxigênio (mg/L).

Os conversores catalíticos de oxidação são formados de paládio (Pd) e platina com auxílio do sensor lambda, onde o acúmulo de gás oxigênio pode influenciar segundo o ajuste na mistura A/C que é realizado pela unidade de gerenciamento eletrônico. Sua função é reduzir os hidrocarbonetos não queimados e o CO. Quando ocorre a elevação de oxigênio, esse aumento auxilia na reação desse CO e dos HC's de forma que ocorra a oxidação, conforme a Equação 5.



Onde:

CO - Monóxido de carbono (g/Km);

CO<sub>2</sub> - Dióxido de carbono (g/Km);

O<sub>2</sub> - Oxigênio (mg/L).

Estes processos citados acima ocorrem devido os elementos catalisadores, onde os componentes ativos auxiliam os precessos (RIOS; ACIOLI, 2010).

### **2.7.2 Sistema EGR**

O sistema Recirculação dos Gases de Escape (EGR), tem como função reduzir as emissões fazendo reuso com os gases resultantes da queima. Essa válvula é um mecanismo que controla o volume de gases da combustão e estimula a recirculação com cerca de 20 a 30 % dos gases originários do escape, os quais percorrem por um catalisador para serem refrigerados e reconduzidos para o sistema de admissão de ar, sendo assim, as emissões são reduzidas (MARTINS, 2012).

### **2.7.3 Sistema SCR**

O sistema Redução Catalítica Seletiva (SCR), utilizado em automóveis de motores diesel, é um sistema de redução, pós tratamento dos gases de escape, esse sistema é composto por alguns sensores que fazem a leitura de temperatura. Seu funcionamento consiste basicamente em um monitoramento eletrônico constante e a partir disso fazer esse tratamento com a injeção de um fluido chamado ARLA 32, com isso, ocorre uma redução do NO<sub>x</sub> de 90% e é transformado em H<sub>2</sub>O e N<sub>2</sub> (LUZ; MATOS, 2013).

#### **2.7.3.1 Sensor de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>)**

O sensor de óxidos de nitrogênio é um componente que surgiu por volta dos anos 70 quando o sensor de oxigênio foi desenvolvido, com isso o sensor de óxidos de nitrogênio foi sendo aperfeiçoado com o passar do tempo para conseguir realizar a leitura do teor de óxidos de nitrogênio. Este componente é um sensor de alta temperatura com a finalidade de detectar níveis de óxidos de nitrogênio nas emissões de escape de um automóvel dentro dos limites prescritos pela legislação. Além disso, este sensor nada mais é que uma sonda de medição enquanto a unidade de comando do próprio sensor realiza os cálculos dos valores brutos do óxidos de nitrogênio (LUZ; MATOS, 2013).

Segundo a CONTINENTAL (2020), o sensor realiza a leitura da quantidade de óxidos de nitrogênio que está sendo emitido pelo veículo quando o mesmo está

funcionando em altas temperaturas, onde possui maior quantidade desse poluente, sendo assim, o sensor informa o teor desse gás para a unidade de controle do motor e conseqüentemente será necessário um ajuste para que o motor trabalhe na mistura ideal, fazendo com que essa quantidade seja diminuída em todo tempo de funcionamento. Nos veículos que possuem a válvula EGR, fará a recirculação desse gás para dentro do circuito de admissão novamente e nos motores que utilizam o sistema SCR, haverá uma conversão desse gás através do fluído que será utilizado para essa finalidade. A Continental é a principal fabricante destes sensores e atualmente está bastante empenhada para a redução do óxidos de nitrogênio nos motores a gasolina, injeção direta e também nos automóveis a diesel devido à grande quantidade de emissões que o veículo emite, contudo os automóveis de ignição por centelha emitem uma quantidade menor desse poluente o qual o sensor atende.

## **2.8 Emissões de escape**

Nas grandes cidades o problema da poluição do ar que respiramos tem se elevado bastante ameaçando a condição de vida da nação, e os automóveis tem contribuído com esta situação, pois as emissões provindas dos escapamentos dos veículos afetam o sistema de efeito estufa devido as diversas substâncias tóxicas que, em contato com o sistema respiratório provocam problemas de saúde ao ser humano. Desde o nascimento dos automóveis existe a emissão de emanações de escape, causado pela explosão que é realizada no interior dos motores, e a partir das legislações antipoluição que realmente se devolveram. Os gases de escape é o resultado da queima de combustível nos MCIs, sendo atualmente um dos fundamentais parâmetros a se dominar assumindo a grande importância e o consumo de combustível (RIOS; ACIOLI, 2010).

Atualmente existem diversos fabricantes de equipamentos para medir esses gases, baseados em princípios físicos e adaptados a sua melhor aplicação.

Os gases resultantes da queima dependem dos seguintes fatores:

- Qualidade do combustível;
- Parâmetros de regulagem do motor;
- Riqueza da mistura A/C;
- Projeto do motor;

- Forma de usar o veículo.

Os gases de escape são liberados na atmosfera poluindo-a, esses gases são: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ); monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), hidrocarbonetos (HC), material particulado (MP) e óxido de enxofre ( $\text{SO}_x$ ). A emissão desses gases poluentes diminuiu conforme os anos, devido a utilização dos catalisadores nos automóveis e o controle pela injeção eletrônica (RIOS; ACIOLI, 2010).

### **2.8.1 Óxido de Nitrogênio ( $\text{NO}_x$ )**

Os gases óxidos de nitrogênio são um dos elementos principais da poluição atmosférica gerados por diversas fontes como automóveis e indústrias. Os veículos ciclo Otto produzem menor quantidade de óxidos de nitrogênio comparados com os motores diesel, porém mesmo assim, essa pequena quantidade continua poluindo a atmosfera. As fundamentais fontes desse gás são as emissões provindas da queima de comburentes fósseis devido a reação de nitrogênio com oxigênio em temperaturas elevadas. Em termos gerais de emissões, os navios também são fontes desse gás poluente, emissões do solo e queima de biomassa. Em locais com altas concentrações de oxido de nitrogênio, fator crítico na regulação da concentração de ozônio,  $\text{O}_3$  é formado fotoquimicamente na ciclagem de dióxido de nitrogênio e óxido nítrico, onde  $\text{NO}_2$  resulta na formação do ozônio. A formação desse poluente ocorre quando o motor está trabalhando com misturas pobres próximo da estequiometria e com temperaturas elevadas no combustor, proporcionando a reação de oxidação do nitrogênio (MILHOR, 2002).

### **2.8.2 Dióxido de Nitrogênio ( $\text{NO}_2$ )**

É um gás de cor castanho avermelhada formado através das reações de combustão dos motores. Além disso, possui cheiro forte e é extremamente tóxico, sendo um grande oxidante que prejudica o meio ambiente, bem como cooperando para a constituição de chuva ácida e eutrofização de rios. Sendo assim, estudos comprovam que mesmo sendo pouca quantidade desse gás na atmosfera, há diminuição da função respiratória e irritações nos pulmões dos seres humanos, que

em casos extremos de intoxicação, pode causar problemas mais sérios levando a pessoa a óbito (CHAGAS, 2007).

### **2.8.3 Óxido Nítrico (NO)**

O óxido nítrico é um gás tóxico e que não possui coloração, quando está no comporcimento de ar se oxida formando o dióxido de nitrogênio colaborando para a deterioração da camada de ozônio. Quando  $\text{NO}_2$ , NO e  $\text{O}_3$  se associam em um equilíbrio de reações, as emissões de combustão e indústrias interferem no equilíbrio químico comprometendo que aumente o número de ozônio troposférico. O ozônio troposférico é responsável pelos prejuízos vegetais, calor e seca, trazendo resultados de perdas na produção agropecuária. Este gás é avaliado como uma severa hemotoxina, quando existe combinação com a hemoglobina do sangue causa paralisia central (CHAGAS, 2007).

### **2.8.4 Hidrocarbonetos (HC)**

São compostos formados do carbono e hidrogênio, podem ser no formato de partículas finas, gotas ou, no caso dos veículos, em gases. Segundo LIMA (2017) eles são:

- THC - Hidrocarbonetos totais;
- $\text{CH}_4$  - Hidrocarboneto simples, conhecido como metano;
- NMHC - Hidrocarbonetos não metano, compreendem os HC totais (THC) menos a parcela de metano ( $\text{CH}_4$ ).

Originam-se de uma ampla multiplicidade de processos industriais e naturais. Nos meios urbanos as fundamentais fontes emissoras são os automóveis leves e pesados, nos processos de queima e dissipação de combustíveis. Esses contaminantes têm sua origem na combustão incompleta da matéria orgânica, origem influenciada por fatores como temperatura e pressão que direcionam o perfil constituinte dos mesmos. São responsáveis também pela a formação do ozônio troposférico e apresentam potencial gerador de efeito estufa (metano). Esse gás quando inalado pode causar vários tipos de cânceres, principalmente os de pulmão, reto, bexiga, colo e esôfago. A presença do hidrocarboneto no meio ambiente pode contaminar rios, mares, ar, e até florestas, causando lesões e danos irreparáveis à

natureza e saúde humana. Como citado anteriormente, a contaminação pode ocorrer pela ingestão de alimentos ou água contaminada, ou no caso, pela inalação do ar contaminado. A respiração fica acelerada e, em casos graves, a pele pode ficar azulada (cianose), por causa do baixo nível de  $O_2$  no sangue. A injeção desses hidrocarbonetos também causa sintomas neurológicos, como: falta de coordenação; sonolência; convulsões; estupor ou coma (LIMA, 2017).

### **2.8.5 Material Particulado (MP)**

O material particulado são pequenas partículas de sólidos ou líquidos pendentes no ar de tamanho classificado conforme o diâmetro da partícula, relação que existe entre, diâmetro e probabilidade da penetração no trato respiratório e pode ter origem em diversos lugares e processos. Nos automóveis, esse material é gerado pelo processo de combustão incompleto e ação dos óleos lubrificantes, possuindo uma maior incidência no momento da partida do veículo, quando o motor ainda está frio. Contudo, pode ser emitido também durante todo o tempo de funcionamento do motor. Um dos tipos comuns de MP é o carbono negro, mais conhecido como fuligem, sendo origem da queima incompleta de diesel, e de incêndios. Estudos advertem que, entre os fins do MP na saúde incluem: câncer respiratório; inflamação do pulmão; pneumonia; arteriosclerose; asma; gravidade de indícios de asma, doenças respiratórias; internações e podem levar a morte. Entre esses também a morte prematura de cardíacos, arritmia cardíaca e ataques cardíacos (OLIVEIRA, 2017).

### **2.8.6 Monóxido de carbono (CO)**

O monóxido de carbono é um gás levemente inflamável, muito perigoso devido à sua grande toxicidade e também inodoro, e surge devido a queima de combustíveis em condições de pouco oxigênio chamado de queima incompleta, isto ocorre devido a não manutenção diária dos motores veiculares e também outros fatores do veículo que causam esta queima de combustível incompleta. A liberação desse gás pode ocorrer em equipamentos de aquecimento tal que não estejam regulados de forma adequada. Em condições de mistura pobre, a emissão do CO é relativamente baixa e não possui dependência da relação ar/combustível, sendo resultância da não homogeneidade no momento de distribuição da mistura necessária e de flutuações em sua formação (RIOS; ACIOLI, 2010).

### **2.8.7 Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**

O CO<sub>2</sub> também é um gás que coopera para o efeito estufa sendo emitido principalmente pela utilização de combustíveis fósseis. O excesso desse gás é lançado para atmosfera, sendo resultante da queima de combustíveis e uso de transportes. Esse gás é essencial para a vida do planeta, porém a libertação do mesmo constituem alterações nos estoques naturais como solos, oceanos exercendo a função na mudança do clima do planeta.

Ultimamente a abundância de gás carbônico na atmosfera tem se elevado bastante devido à grande queima desses combustíveis, sendo que o principal gás que contribui para o aquecimento global é o CO<sub>2</sub>. Com a evolução dos automóveis, existem possibilidades que reduzem as emissões poluentes, mas a princípio o CO<sub>2</sub> possui uma situação contrária e quanto mais novo for modelo do veículo, mais eficiente é a combustão, gerando menos gases derivados da queima incompleta, sendo assim mais CO<sub>2</sub> (RIOS; ACIOLI, 2010).

### **2.9 Gases de efeito estufa**

O gás dióxido de carbono é um elemento que ajuda no efeito estufa, o qual é emitido principalmente pela utilização de combustíveis fósseis. Em afinidade com ozônio, este é o gás secundário o qual surge devido os componentes que são liberados pelo escape dos veículos. Se as emissões fossem constantes, o ar teria uma qualidade em colocação das categorias meteorológicas que seria determinado por possuir maior ou menor diluição desses poluentes, mas como o atributo do ar se altera em alguns determinados períodos, essas condições são adversas à disseminação dos componentes poluentes. Dessa forma, a constituição do ozônio é através do gás NO<sub>x</sub> que sai do escapamento e reage com o oxigênio sendo o gás troposférico de efeito estufa que existe na camada mais baixa da atmosfera, que acaba sendo prejudicial à saúde como outros gases nocivos. Durante a combustão, caso esta fosse perfeita, os gases de escape não seriam prejudiciais ao meio ambiente, porém o CO<sub>2</sub> é relacionado a degradação da camada de ozônio. Essa camada ajuda na conservação da existência de nosso planeta, sendo que apresenta a possibilidade de realizar a filtragem de aproximadamente 95% dos raios ultravioleta, para que não chegue ao solo da terra (MANZOLI, 2009).

O óxido nitroso ( $N_2O$ ) é emitido pelos automóveis. Os veículos mais antigos produzem menor quantidade desse gás que os carros mais recentes e, em comparação com o  $CO_2$ , possui concentração baixa, sendo um gás do efeito estufa. O  $N_2O$  não é um poluente troposférico, porém quando inserido na estratosfera, se desempenha o efeito sobre o ozônio que auxilia na degradação dessa camada de  $O_3$ . O  $N_2O$  é formado quando se tem baixas temperaturas, e em altas temperaturas óxido nítrico é reduzido a  $N_2$ , sendo um produto da redução catalítica. Esse gás provoca um efeito de euforia e devido a sua pequena toxicidade foi utilizado como droga, o que fez aos usuários chegarem a óbito devido à falta de oxigênio nos tecidos orgânicos. As emissões de  $NO_x$  é derivado das pequenas escalas do gás  $NO_2$  e do gás óxido nitroso (RIOS; ACIOLI, 2010).

## **2.10 REGULAMENTAÇÃO DE EMISSÕES**

Conforme Lima (2017) o PROCONVE é o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores criado em 1986 pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA) e dos Recursos Naturais Renováveis, sendo responsável pelas administrações para proteger o meio ambiente no Brasil, isto é, com intuito de realizar as reduções de ruídos nos veículos automotores presentes no país, e de emissões poluentes. Esse programa é considerado uma concepção tecnológica do motor através de metodologias e normas internacionais, tais como emissões de poluentes e condição do comburente utilizado. O PROCONVE foi criado para incentivar aqueles que trabalham com o ampliamto tecnológico daqueles que fabricam combustíveis e motores para que seja permitido a utilização dos automóveis dentro dos padrões exigidos, ou seja, valores de emissões situados para que emitam menor quantidade desses poluentes. Este programa juntamente com o Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares (PROMOT) implementado no ano 2003, tem atuado na formação da legislação provinda da CETESB, onde tiveram eficientes resultados referentes às emissões. Em relação a propriedade dos combustíveis empregados nos automóveis, é possível obter controles avançados para redução de emissões.

Segundo CONAMA (1986) e CONAMA (2009), essas fases são caracterizadas para automóveis ciclo Otto:

**Fase L-I:** Essa Fase é entre 1988 a 1991, onde houve um aprimoramento dos conceitos e projetos dos modelos que estavam em processos de desenvolvimento, reduzindo as tolerâncias do PROCONVE, dando início ao controle da emissão evaporativa. As inovações tecnológicas prestativas que ocorreram nesta fase podem ser citadas como: reciclagem dos gases de escape para que tenha domínio nas emissões de NO<sub>x</sub>; injeção secundária do ar no coletor de exaustão para o controle de CO e HC; implantação de amortecedor da borboleta do carburador para controle do HC e a otimização do avanço da ignição.

**Fase L-II:** Essa fase foi realizada a partir do ano de 1992, onde os limites tiveram a verificação na Resolução CONAMA 18 de 1986, aplicando tecnologias, conceituando injeção eletrônica ou carburadores eletrônicos e também tendo princípio do conversor catalítico para diminuição de emissões.

**Fase L-III:** Em 1º de janeiro de 1997, ocorreram algumas reduções significativas em afinidade aos limites citados anteriormente, tornando o produtor ou importador que aplicasse as melhores tecnologias disponíveis para a formação de mistura e controle eletrônico do motor, sendo denominado “sonda lambda”.

**Fases L-IV e L-V:** A principal importância nestas fases 2005 e 2009, foi a redução das emissões de HC's e NO<sub>x</sub>, por serem precursores de Ozônio.

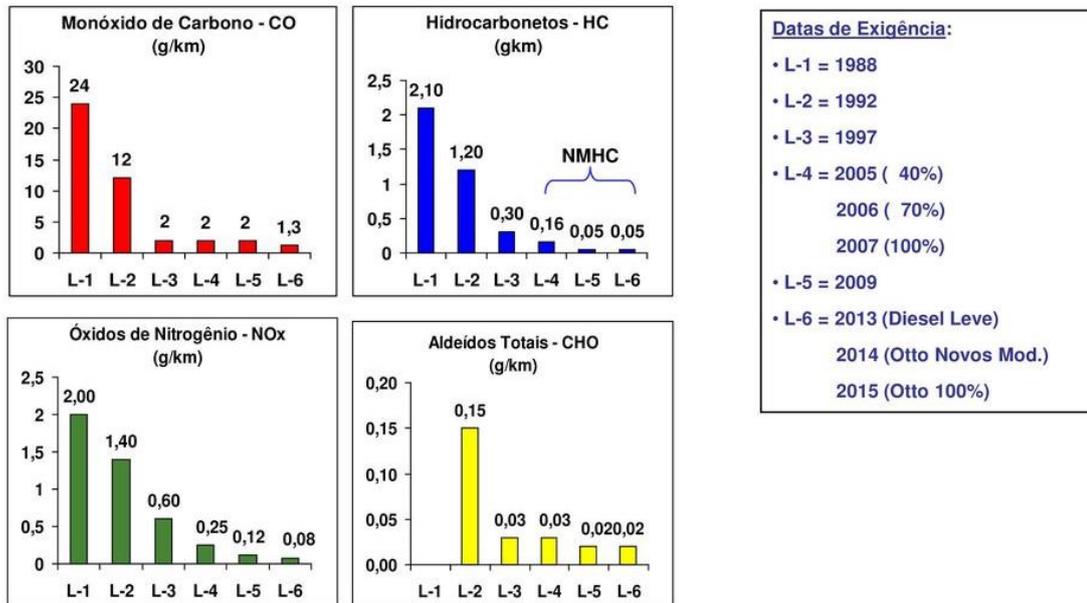
A preferência na fase L-V é a quantidade desses gases reduzidos, como foram citados. Na fase L-IV, a importância principal foi a otimização da geometria do combustor e também das válvulas injetoras, havendo a elevação da pressão da bomba injetora e a injeção eletrônica. Com isso, teve uma redução significativa de 31% dos HC's não metanos para veículos de linhas ciclo Otto e de 48% e 42% para as emissões de NO<sub>x</sub> para veículos de linhas leves e pesadas, caracterizadas como ciclo Otto e diesel.

**Fase L-VI:** Esta fase iniciou-se em 2014, estabelecendo novos limites máximos referente as emissões de escapes dos veículos ciclo Otto com peso de aproximadamente 1.700kg.

Estas fases da Resolução CONAMA nos certificam em ensaios de produção, sendo possível que as montadoras efetuem os principais conceitos para poderem obter um potencial poluidor reduzido aos veículos mais recentes.

Segundo Lima (2017), no Brasil a gasolina tem uma porcentagem de álcool somada a mesma, o combustível adquiriu uma outra qualidade permitindo compostos oxigenados fazendo o uso de matérias renováveis. Os ciclo Otto são as fundamentais fontes de emissões de HC, NO<sub>x</sub>, CO e aldeídos. Os objetivos citados na Figura 8 são relacionados a motores ciclo Otto. O PROCONVE possui como objetivos diminuir a quantidade de emissões poluentes provindas dos motores, gerar desenvolvimento tecnológico a respeito da condição do ar atmosférico, desenvolver programa para inspecionar e realizar manutenção nos automóveis que estão sendo utilizados, conscientizar a população sobre a poluição do ar devido aos automotores e melhorar as condições e características dos combustíveis para reduzir as emissões poluentes.

Figura 8 - Limites de emissões-veículos leves



Fonte: (CONAMA, 1986).

Para os automóveis ciclo Otto, os alcances maiores de emissões de escapamento permitidos, lembrando que os veículos que utilizam combustível líquido e gasoso, são considerados as demarcações de cada um dos combustíveis.

Conforme CONAMA (2009), existe limites máximos de emissões para veículos, sendo os gases de CO com 1,3 g/km, NO<sub>x</sub> no máximo 0,08 g/km, entre outros gases que também são estabelecidos.

### 3 MATERIAIS

O sensores de óxidos de nitrogênio mostrado na Figura 9, surgiram por volta dos anos 70 quando apareceram os sensores de  $O_2$ , sendo aperfeiçoados para fazer a leitura do teor de óxidos de nitrogênio. Este tipo de sensor constituiu-se o primitivo de emissões determinado em volume tendo por objetivo medir diretamente baixas concentrações de parte por milhão (ppm) de um poluente regulado específico que é o gás óxidos de nitrogênio e no caso do motor diesel utiliza um sistema de injeção uréia que após a aplicação deste líquido converte o gás óxidos de nitrogênio em apenas nitrogênio e água e permite ser expelido para fora do escape. O sensor deve estar localizado antes do catalisador trabalhando de forma de controle das emissões realizando ajustes para obter uma melhor eficiência dessa conversão. Nos veículos diesel, podem existir dois sensores, um pré catalisador e outro pós catalisador para verificação do quanto está sendo eficiente a conversão. Estes sensores se comunicam via protocolo CAN com os demais módulos do motor que o veículo possui e do sistema de pós-tratamento. Os sensores de óxidos de nitrogênio em gerais são caracterizados por códigos, sendo que ao realizar a troca do mesmo em um veículo, é possível identificar este sensor através da informação que é localizado na etiqueta na parte inferior do componente (MARTINS, 2012).

Figura 9 - Sensor de óxidos de nitrogênio Continental

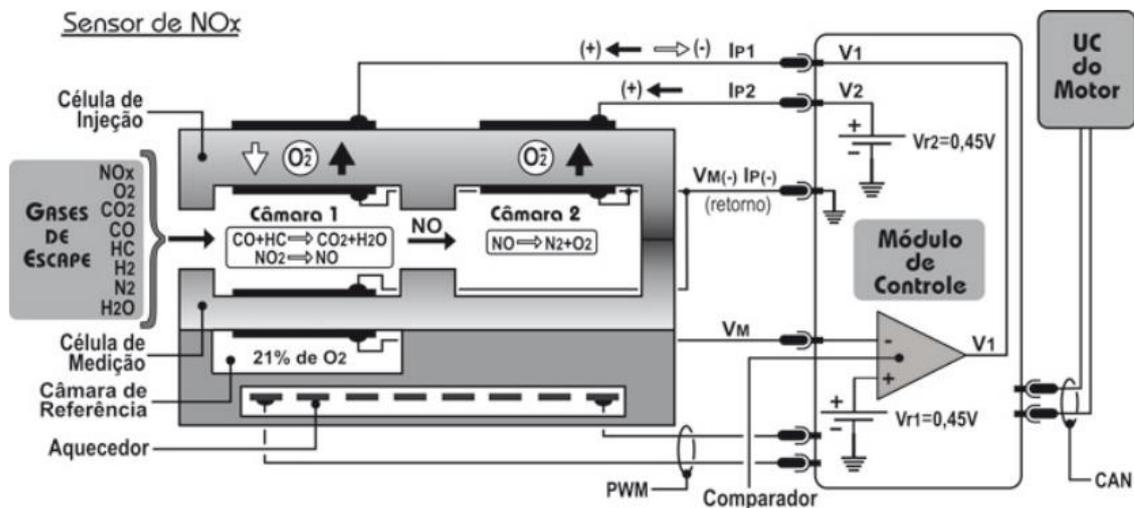


Fonte: (CONTINENTAL AG, 2020)

O sensor de óxidos de nitrogênio possui uma estrutura cerâmica de  $ZrO_2$  e eletrodos de metais como Rh e Pt mostrado na Figura 10. Necessita de uma fonte de alimentação de 12 Volts, tendo também sensores de 24 Volts de alimentação. Em seu funcionamento os gases de escape introduzem pelas aberturas do sensor e percorrem

por três câmaras, sendo a primeira um processo de oxiredução, fazendo restar somente o NO. A segunda câmara do processo, por meio de um equilíbrio químico do gás restante da primeira câmara rompido e reduzido para  $N_2 + O_2$  e a última câmara está cheia de ar atmosférico, aproximadamente 21% de  $O_2$ , servindo de referência para medir a quantidade de  $O_2$  presente na etapa anterior e também gerando uma diferença de potencial entre os eletrodos de Pt, permitindo calcular a quantidade de óxidos de nitrogênio presente na emissão dos gases (OFICINA BRASIL, 2020).

Figura 10 - Esquema elétrico do sensor óxidos de nitrogênio



Fonte: (LUZ; MATOS, 2013).

O sensor de óxidos de nitrogênio conforme Figura 11, é um sensor que também realiza a leitura do teor de óxidos de nitrogênio nas emissões de escape do automóvel. Este sensor é fabricado pela Nippon Gaishi kabushikigaisha (NGK) uma marca japonesa bastante conhecida no mercado atual. Boa parte dos que fabricam automóveis e peças para veículos estão realizando pesquisas intensas no desenvolvimento desses tipos de sensores para minimizar ainda mais as emissões nocivas, como Ford, Delphi, Chrysler e Toyota. O sensor, para o seu funcionamento, utiliza uma tensão de 12 Volts de alimentação assim como o sensor descrito anteriormente que possui a mesma estrutura interna, contudo sua estrutura externa é um pouco diferente. Mesmo sendo fabricado por outra empresa, o produto tem seus requisitos muitos parecidos, pois sua implementação é nos automóveis (NGK, 2020). O sensor possui uma sonda o qual esta permite que o gás passe por ela e seja feita a leitura. Essa sonda possui um comprimento básico para que o sensor em si já fique um pouco distante do escapamento do veículo.

Figura 11 - Sensor de óxidos de nitrogênio NGK



Fonte: (NGK, 2020)

## 4 METODOLOGIA

Considerando que boa parte da população, principalmente no Brasil, possui veículos de motores com ignição por centelha, até mesmo porque estes trabalham com uma economia melhor. O sistema de escape destes automóveis tem em seu complemento alguns componentes que restringe a toxicidade desses gases que são provindos da combustão realizada em todo tempo que o motor está em funcionamento.

Os sensores de óxidos de nitrogênio mostrado neste trabalho utiliza uma alimentação de 12 Volts para o seu funcionamento, lembrando que também existe no mercado o sensor de 24 Volts de alimentação, porém como este estudo tem o foco nos veículos de motores com ignição por centelha, é necessário o uso sensor de 12 Volts devido a tensão da bateria do automóvel leve. Este sensor é bastante utilizado nos veículos de motores diesel, contudo pode também ser implementado nos veículos leves, pois também emitem uma quantidade de  $\text{NO}_x$ , tal que existe um limite dessa emissão segundo a Resolução CONAMA. Para que este sensor seja implementado, é necessário verificar no veículo que deseja colocar este componente a forma de fixá-lo, mantendo a distância exigida do escapamento, pois cada veículo possui uma estrutura diferente. Caso não mantenha a distância necessária conforme as especificações do fabricante que neste trabalho é a Continental, poderá danificar o componente devido a elevada temperatura do sistema catalítico. Quando efetivar-se essa fixação, é de grande importância realizar a calibração do mesmo no sistema do veículo, pois caso esta calibração não seja feita pela montadora do veículo nos trará algumas divergências, tais como uma informação não coerente com o sistema do veículo que é ligado a unidade de controle do motor, e também não terá seu funcionamento adequado. A montagem do circuito em si, principalmente o chicote elétrico já possui uma proteção para assegurar a compatibilidade eletromagnética do componente com o sistema. O sensor tem como função ler a quantidade de gás óxidos de nitrogênio que está sendo processado e informar a unidade de controle do motor, sendo assim propondo um controle dessa informação coletada para que no próximo ciclo a quantidade desse gás seja ainda menor, que possivelmente trará como benefício um requisito ainda mais rígido em relação as emissões veiculares. Portanto, para este tipo de implementação haverá um custo superior comparado ao sistema de catalisação já utilizado nos veículos comercializados.

## 5 RESULTADOS

Conforme os dois sensores apresentados neste estudo, mesmo sendo bastante utilizado nos veículos diesel, é possível realizar uma implementação nos automóveis que possuem motores com ignição por centelha, principalmente nos motores a gasolina de injeção direta. O sensor escolhido para ser implementado nos veículos de motores com ignição por centelha é o sensor fabricado pela Continental conforme Figura 12.

Figura 12 - Sensor de óxidos de nitrogênio



Fonte: (CONTINENTAL, 2020)

A implementação deste sensor pode ser nos veículos de várias marcas por exemplo, Volkswagen, Honda, Citroën, Fiat entre outras, que poderá ser escolhido a que favorece melhor para o uso informando o código do sensor que pode ser visto no próprio site da empresa que fabrica e fornece o componente, pois de forma geral todos possuem a mesma requisição e função, nos trazendo o benefício de poder ler a quantidade do gás nocivo que estiver sendo emitido pelo veículo a todo momento em que o motor estiver em funcionamento, estando ele na cidade ou até mesmo em um laboratório, para que a quantidade de óxidos de nitrogênio seja lida e tenha um trabalho para que efetivamente seja ainda menor do que nos dias de hoje. Propondo assim que, futuramente tenha um controle juntamente com o sensor, que será realizado por parte do mapa de funcionamento e pela calibração da unidade de controle do motor.

Em conjunto com o sensor de óxidos de nitrogênio pode-se tornar o sistema do veículo mais robusto, ou seja, utilizar o sistema EGR no veículo de motor com ignição por centelha. Essa válvula EGR ao fazer parte do motor do automóvel irá diminuir as

emissões nocivas, de forma que os gases resultantes da queima torne novamente para o circuito de admissão para serem combinados com a mistura ar-combustível e auxiliar na obtenção de menor temperatura de combustão. Sendo assim, conseqüentemente terá algumas mudanças no tempo de abertura e fechamento dessa válvula, pois depende muito das rotações que o motor estiver.

## 6 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou a pesquisa dos gases que são emitidos através da combustão interna de motores e dos sensores que possibilitam a leitura desses gases em ciclo Otto. Mesmo com a constante evolução da tecnologia, o gás óxidos de nitrogênio ainda é um dos maiores responsáveis pela poluição atmosférica, gases que na grande maioria são prejudiciais à saúde, lembrando que este assunto de poluentes já é bastante conceituado atualmente. Sendo assim, estes dois sensores estudados podem ser aplicados nos veículos de motores com ignição por centelha desde que sigam os requisitos e façam o procedimento adequado, o qual nos trará benefícios de forma geral, nos sistemas catalíticos quanto na forma de testes para possíveis estudos.

Contudo, podemos dizer que a finalidade desse estudo foi alcançada trazendo mais conhecimentos para nós e também para o público que possui sede de conhecimentos. Desta forma, estes conceitos estudados e a possibilidade de aplicação tecnológica destes sensores, podem auxiliar futuramente como base para novos projetos como, por exemplo, realizar leituras e análises desse gás, propondo um controle de emissões em malha fechada mais eficiente através deste sensor mostrado no referencial teórico e escolhido para o trabalho.

### 6.1 Propostas Futuras

O resultado desta pesquisa realizada deixa como proposta futura um modelo de leitura do gás óxidos de nitrogênio utilizando alguns componentes necessários para a montagem do circuito:

- Válvula EGR;
- ECU;
- Veículo de motores com ignição por centelha conforme escolhido pelo futuro montador.

Caso deseje, pode estar substituindo o sensor escolhido do trabalho pelo sensor óxidos de nitrogênio NGK. Sendo assim, após a montagem do projeto é necessário que o motor do veículo esteja em funcionamento para que seja feita a

leitura através do sensor, o qual enviará um sinal para a unidade de controle do motor informando como está a mistura ar/combustível e se for necessário fazer ajustes para que trabalhe na mistura ideal.

## REFERÊNCIAS

ANGHEBEM, Antônio Augusto. **Estudo sobre a combustão de blendas de hidrogênio e diesel em motores ciclo diesel.** Monografia (Graduação em Biocombustíveis) – Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina, Paraná, 2013.

CHAGAS, Ericka Voss. **Análise da concentração de gases traço (NO-NO<sub>2</sub>-O<sub>3</sub>) e da fotólise de NO<sub>2</sub> na região amazônica na época seca.** 2007. 88p. Dissertação (Mestre em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007.

CONAMA, Resolução nº 18, de 06 de junho de 1986, **O Conselho Nacional Do Meio Ambiente - IBAMA**, Brasília, DF.

CONAMA, Resolução nº 415 de 24/09/2009, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA; **Dispõe sobre nova fase (PROCONVE L6) de exigências do PROCONVE para veículos automotores leves novos de uso rodoviário e dá outras providências;** Brasília, DF.

CONTINENTAL AG. Disponível em: <<http://www.continental-automotive.com/>>. Acesso em: 20 Maio 2020.

DIAS, Bruno Martins de Alcântara. **Unidade microcontroladora para gerenciamento eletrônico de um motor de combustão interna ciclo Otto.** São Paulo. 2015. 269p. (Mestrado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

FAGGI, Rodrigo. **Formação de mistura Ar combustível em motores de ignição por faísca a quatro tempos.** Monografia (Pós-Graduação em engenharia Automotiva) – Escola de engenharia Mauá, universidade do Instituto Mauá de tecnologia, São Caetano do Sul, 2012.

FERREIRA; Patrick Augusto Pegado. **O mercado de combustíveis líquidos no Brasil: Uma análise da relação entre qualidade e preço.** Monografia (Bacharelado em Economia)– Universidade Federal do Rio De Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

FERREIRA, Sílvia Maria. **Relação entre a espessura real e aparente da gasolina com etanol e da gasolina pura em colunas de laboratório.** 2003. 107p. Dissertação (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de geociências,

Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

FILHO, Marcos Rogerio Ambrosius; FERREIRA, Rafael Dias de Moraes. **Influência dos escapamentos esportivos no desempenho dos veículos.** Monografia de graduação da Faculdade de Tecnologia de Santo André; Santo André; São Paulo, 2018.

JUNIOR, Elton Inacio Alves; JATO, Filipe; HIROKI, Gustavo Bezerra. **Desenvolvimento de uma unidade de gerenciamento eletrônico para motor volkswagen 1.6l.** Monografia da graduação da Faculdade de Tecnologia de Santo André; Santo André, SP, 2016.

LAINO, Rodrigo Vieira. **Estudo de como a sobrealimentação aumenta a eficiência energética nos motores bicombustíveis.** Monografia (Pós Graduação em Engenharia Automotiva) – Escola de Engenharia Mauá, São Caetano do Sul, São Paulo, 2014.

LIMA, Renato Gavassa. **Evolução dos motores a combustão interna ciclo Otto no Brasil.** Monografia da graduação da Faculdade de Tecnologia de Santo André; Santo André; SP, 2017.

LUZ, Heverton Alison Soares; MATOS, Matias. **Sistema de redução catalítica de NOx com injeção de uréia;** Monografia da graduação da Faculdade de Tecnologia de Santo André; Santo André; SP; 2013.

MANZOLI, Anderson. **Análise das emissões veiculares em trajetos urbanos curtos com localização por GPS.** 2009. 180p. Dissertação (Doutorado em engenharia civil) – Escola de engenharia de São Carlos, universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

MARTINS, Vinicius Campos. **Sistema de tratamento de gases para diminuição das emissões de poluentes em motores diesel.** Monografia ( Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade São Francisco, Itatiba, 2012.

MELLO, Djalma. **Caracterização do resíduo sólido formado em motor automotivo à gasolina por meio de técnicas analíticas.** Dissertação (Mestrado na Área de Tecnologia Nuclear-Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MELO, Inácio Costa. **Downsizing - Redução de consumo de combustível com**

**aumento de potência e torque em motores de combustão interna.** Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica)– Universidade de Rio Verde, Rio Verde, Goiás, 2014.

MILHOR, Carlos Eduardo. **Sistema de desenvolvimento para controle eletrônico dos motores de combustão interna ciclo Otto.** 2002. 89p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de engenharia de São Carlos, universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

NGKNTK. Disponível em: <<http://www.ngkntk.com.br/>>. Acesso em: 23 Junho 2020.

OFICINA BRASIL. Disponível em: <<http://www.oficinabrasil.com.br>>. Acesso em: 17 Maio 2020.

OLIVEIRA, Natalia De Mattos Nelson. **Metodologias usuais para tratamento dos principais poluentes atmosféricos em centros urbanos.** 2017. 60p. Dissertação (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal Fluminense de Niterói, Rio de Janeiro, 2017.

PINHEIRO, Felipe Ribeiro; LEME, Flávio Mateus. **Eficiência de motores sobrealimentados (turbo).** Monografia da Graduação da Faculdade de Tecnologia de Santo André; Santo André; São Paulo, 2014.

RIOS, Alex de Jesus; ACIOLI, Valério da Silva. **Análise da emissão de poluentes dos veículos flexíveis no período de transição de combustíveis.** Monografia de graduação da Faculdade de Tecnologia de Santo André; Santo André; São Paulo, 2010.

RODRIGUES, Leonardo Luiz Veiga. **Avaliação do desempenho de motores a combustão interna com ignição por faísca utilizando misturas de gasolina e etanol.** Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.

RODRIGUES, Thiago de Matos. **“Downsizing” em motores de combustão interna: uma abordagem de inovação tecnológica.** Monografia (Pós Graduação em Engenharia Automotiva) – Escola de Engenharia Mauá, São Caetano do Sul, São Paulo, 2014.

TRUOSOLO, Marcel Esturari. **Sistema de injeção eletrônica multiponto.** Monografia (Pós Graduação em Engenharia Automotiva) – Escola de Engenharia

Mauá, São Caetano do Sul, São Paulo, 2013.