

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ
Tecnologia em Eletrônica Automotiva

Felipe Fagundes Coutinho
Lucas Motta de Novaes
Rafael Culler

**Sustentabilidade veicular – Recondicionamento do
gerenciamento de motores ciclo Otto.**

Santo André – São Paulo
2014

**CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ
Tecnologia em Eletrônica Automotiva**

**Felipe Fagundes Coutinho
Lucas Motta de Novaes
Rafael Culler**

**Sustentabilidade veicular – Recondicionamento do
uso por gerenciamento de motores ciclo Otto.**

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
FATEC Santo André, como requisito parcial para
conclusão do curso em Tecnologia em Eletrônica
Automotiva.*

Orientador: Prof. Marco Aurélio Fróes

Santo André – São Paulo
2014

LISTA DE PRESENÇA

SANTO ANDRÉ, 20 de dezembro de 2014.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA "SUSTENTABILIDADE VEICULAR – RECONDICIONAMENTO DE USO POR GERENCIAMENTO DE MOTORES DO CICLO OTTO" DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. MARCO AURÉLIO FRÓES



MEMBROS:

PROF. MSC. CLEBER WILLIAN GOMES



ENGª RENATA FONSECA



ALUNOS:

FELIPE FAGUNDES COUTINHO



LUCAS MOTTA NOVAES



RAFAEL CULLER



Coutinho, Felipe Fagundes.

Sustentabilidade veicular – Recondicionamento de uso por gerenciamento de motores ciclo Otto /Felipe Fagundes Coutinho, Lucas Motta de Novaes, Rafael Culler. - Santo André, 2014. –X f.

Trabalho de conclusão de curso – FATEC Santo André.

Curso Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2014.

Orientador: Marco Aurélio Froes

1. Injeção Eletrônica 2. Gerenciamento Programável 3. Motor ciclo Otto .Motta, Lucas de Novaes II.Rafael Culler. III.

629.203

Dedicamos este trabalho a nossa família e
aos nossos amigos que sempre estiveram
próximos durante esta jornada.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer a todos aqueles que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho e principalmente aos colegas de sala que mantiveram estímulos nos momentos mais árduos desta jornada. Agradecemos aos professores e colaboradores e funcionários da Fatec Santo André que sempre estiveram prontos a nos ajudar.

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá, de alguma maneira você chega lá. ”

Ayrton Senna

RESUMO

Nas últimas décadas, estabeleceram-se legislações que limitam a emissão dos principais poluentes gerados pelos Motores de Combustão Interna (MCI) sejam eles gasosos, particulados ou sonoros, para melhorar tais aspectos no campo da mecânica automotiva e diminuir seus impactos no meio ambiente, a eletrônica foi aplicada ao sistema de gerenciamento do MCI com a finalidade de trazer benefícios como melhora da qualidade vida e aumento da eficiência energética para os motores. Este trabalho propõe a implementação de um modelo de gerenciamento eletrônico que poderá atualizar sistemas antigos que não podem cumprir tais requisitos, tratando os problemas daqueles que não podem adquirir veículos novos com sistemas já atualizados seja por seu poder aquisitivo ou pela própria ditadura de seu país.

Palavras chaves: emissões, motores de combustão interna, meio ambiente, eficiência energética.

ABSTRACT

In recent decades , settled laws that limit the emission of major pollutants generated by internal combustion engines (MCI) whether gaseous , particulate or sound , to improve such aspects in the field of auto mechanics and lessen their impact on the environment, electronics was applied to the management system of the MCI in order to bring benefits such as improved quality of life and increased energy efficiency for MCI . This paper proposes the design and implementation of a management model that can update old electronic systems that can not meet those requirements dealing with problems that they can not purchase new vehicles with systems already updated either by their purchasing power or by the dictatorship of his country.

Key words : emission , internal combustion engines , environment , energy efficiency .

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Imagem 1 – Comparativo de emissões entre motores Otto e Diesel	28
Imagem 2 - Concentração de chumbo no ar ambiente)	29
Imagem 3- <i>Variação da composição dos gases de escape em função da composição da mistura</i>)	
Imagem 4- Catalisador de escape de três vias.	33
Imagem 5 – Janela de eficiência do catalisador, (a) sem tratamento posterior, (b) com tratamento posterior	
Imagem 6 – Corte transversal de um sensor de oxigênio dos gases de escape	34
Imagem 7- Características do sensor de oxigênio.	35
Imagem 8 – Ciclo completo de um motor Otto	38
Imagem 9 – Bloco do motor e suas peças fixas e moveis	39
Imagem 10 -Mecanismo de formação da mistura de modo homogêneo.....	47
Imagem 11 - Mecanismo de formação de mistura de moto estratificado.	48
Imagem 12 – Distribuição da força de expansão dos gases na biela.	48
Imagem 13 – Amostra da área de cilindrada e câmara de combustão.	49
Imagem 14 - Volume do cilindro.	50
Imagem 15 – Motor diesel e seus componentes.....	51
Imagem 16 – Volume do cilindro e volume da câmara de compressão.	52
Imagem 17 – Esquema de um sistema carburado.	55
Imagem 18 – Esquema de um sistema injetado indiretamente.	56
Imagem 19 - Sistema de injeção indireta monoponto.....	57
Imagem 20 - Sistema de injeção indireta multiponto.	58
Imagem 21 - Sinal do sensor de pressão absoluta..	60
Imagem 22 - Gráfico do sensor de posição da borboleta.....	61
Imagem 23 – Valores de estequiometria de acordo com o sinal do sensor de oxigenio	62
Imagem 24 - Funcionamento do sensor de rotação	63
Imagem 25 - Referência em relação a roda fônica do sensor de rotação.	64
Imagem 26 - Gráfico do sensor de rotação indutivo	65
Imagem 27 - Gráfico do sensor Hall	66
Imagem 28 - Sistema de injeção indireta.....	67
Imagem 29 - Sistema de injeção direta	67
Imagem 30 - Leques das válvulas injetoras.....	68
Imagem 31 – Atuador de marcha lenta.	69
Imagem 32 - Bomba interna.	71
Imagem 33 - Bomba externa.....	71
Imagem 34 - Sistema de ignição com platinado.	72
Imagem 35 - Sistema de ignição eletrônica.....	73
Imagem 36 - Bobina de ignição asfáltica	74
Imagem 37 - Bobina de ignição multifásica.	74
Imagem 38 - Bobina de ignição tipo caneta.	75
Imagem 39 – Vela de ignição.	75
Imagem 40 – Bateria de chumbo ácido.	76
Imagem 41 – Motor em corte -	77
Imagem 42 - Exemplo de mapa de ignição HIS.....	78
Imagem 43 - Exemplo de mapa de ignição HIS modo 3D.....	78
Imagem 44 – Pressão em relação ao deslocamento angular	79
Imagem 45 – Relação do retardo e avanço de ignição com consumo e potência	79
Imagem 46 – ignição espontânea	80

<i>Imagem 47– Efeitos da ignição espontânea</i>	<i>80</i>
<i>Imagem 48 – Kart.....</i>	<i>81</i>
<i>Imagem 49 – Módulo HIS PW6X</i>	<i>82</i>
<i>Imagem 50 – Diagrama de blocos do HIS PW6X</i>	<i>82</i>
<i>Imagem 51 – Esquema elétrico do módulo HIS PW6X</i>	<i>83</i>
<i>Imagem 52 – Esquema elétrico do módulo HIS PW6X editado</i>	<i>84</i>
<i>Imagem 53 – Motor Honda GX390</i>	<i>84</i>
<i>Imagem 54 – Vista explodida do motor GX390.....</i>	<i>85</i>
<i>Imagem 55 – Sistema de ignição do motor GX390</i>	<i>86</i>
<i>Imagem 56 – Esquema elétrico adaptado no motor</i>	<i>87</i>
<i>Imagem 57 - TBI instalada ao cabeçote</i>	<i>88</i>
<i>Imagem 58 - Sensor de rotação e roda fônica.....</i>	<i>88</i>
<i>Imagem 59 – Bomba elétrica – regulador de pressão – filtro de combustível</i>	<i>89</i>
<i>Imagem 60-Bobina utilizada</i>	<i>89</i>
<i>Imagem 61 – Injetor – Furos do injetor – Representação do leque.</i>	<i>90</i>
<i>Imagem 62 – Conectores do módulo HIS PW6X.....</i>	<i>90</i>
<i>Imagem 63 – Esquema elétrico do veículo KART</i>	<i>91</i>
<i>Imagem 64– Software HISwinXV 2.0</i>	<i>92</i>
<i>Imagem 65 – Mapa de injeção</i>	<i>92</i>
<i>Imagem 66 – Mapa de ignição</i>	<i>93</i>
<i>Imagem 67 - Gerenciamento mecânico (Carburador)</i>	<i>94</i>
<i>Imagem 68 - Gerenciamento eletrônico (Injetado)</i>	<i>95</i>

Lista de Tabelas

<i>Tabela 1 principais gases tóxicos da atmosfera.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabela 2 Efeitos da concentração dos gases tóxicos da atmosfera.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabela 3 Limites de poluição PROCONVE 7.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabela 4 Comparação dos índices de emissões.....</i>	<i>96</i>

SUMÁRIO

1	Introdução.....	19
1.1	Objetivos e motivação.....	20
1.2	Conteúdo	21
1.3	Metodologia	21
2	Efeitos da poluição.....	22
2.1	Legislações de emissões de poluentes.....	24
2.2	Frota de veículos do Brasil.....	25
2.2.1	O Veículo.....	26
2.2.2	Componentes	27
2.2.3	Os Combustíveis	28
2.2.4	Medidas para redução das emissões:	30
2.2.4.1	Controle das emissões no motor Otto	31
3	Origem do motor Otto	35
3.1	Motores de combustão interna	37
3.2	Fundamentos dos motores de combustão interna de quatro tempos	37
3.3	Principais componentes de um motor de combustão interna	39
3.3.1	Bloco do motor	40
3.3.2	Cabeçote.....	40
3.3.3	Cárter	40
3.3.4	Êmbolo.....	40
3.3.5	Biela	41
3.3.6	Árvore de manivelas	41
3.3.7	Trem de válvulas.....	41
3.4	Termodinâmica dos motores	42
3.4.1	Definições:	42
3.4.2	Processo.....	42
3.4.3	Primeiro Princípio da Termodinâmica	44
3.4.4	Segundo princípio da Termodinâmica	44
3.5	Consumo de ar nos motores quatro tempos.....	45
3.5.1	Rendimento Volumétrico	45
3.5.2	Densidade de entrada	45
4	Eficiência energética dos motores	46
4.1	Formação da mistura	46
4.1.1	Formação da mistura para sistema de injeção direta	47
4.2	Torque e potência	48
4.3	Cilindrada	49
4.4	Motores Diesel	51
4.5	Taxa de compressão.	52
4.6	Consumo específico	53
5	Sistemas de alimentação do motor ciclo Otto	53
5.1	Carburador.....	53
5.1.1	Instalação	54
5.1.2	Funcionamento.....	54
5.1.3	Sistemas auxiliares.....	54
5.2	Injeção eletrônica	55
5.2.1	Funcionamento.....	56
5.2.2	Tipos de injeção eletrônica	56
5.2.2.1	Monoponto.....	57

5.2.2.2 Multiponto	57
5.2.3 Sensores	58
5.2.3.1 Sensor de temperatura de água	59
5.2.3.2 Sensor de temperatura do ar.....	59
5.2.3.3 Sensor de massa de ar	60
5.2.3.4 Sensor de posição da borboleta.....	60
5.2.3.5 Sensor de oxigênio (lambda)	62
5.2.3.6 Sensor de rotação	63
5.2.4 Atuadores	66
5.2.4.1 Válvulas Injetoras	66
5.2.4.1.1 Características	67
5.2.4.1.2 Tipos	68
5.2.4.2 Bobina de ignição	69
5.2.4.3 Atuador de marcha lenta	69
5.2.4.4 Bomba de combustível.....	70
5.2.4.4.1 Características	70
5.2.4.4.2 Tipos	70
5.3 Sistema de ignição.....	71
5.3.1 Sistema de ignição com platinado.....	72
5.3.2 Sistema de ignição eletrônica.....	73
5.3.3 Bobina de ignição	73
5.3.4 Vela de ignição	75
5.3.5 Bateria de chumbo ácido.....	76
5.4 Avanço de ignição.....	77
5.4.1 Influência do Ângulo da Ignição na pressão Interna	79
5.4.2 Knocking - Ignição espontânea.....	80
6 Projeto Prático	81
6.1 Metodologia	81
6.2 Modulo programável HIS PW6X.....	81
6.2.1 Chicote do módulo de gerenciamento eletrônico	83
6.3 Estudo do Hardware	84
6.3.1 Motor GX390.....	84
6.3.1.1 Características	85
6.3.1.2 Sistema de Ignição	86
6.4 Alterações necessárias para o sistema de injeção eletrônicas	86
6.5 Componentes e Adaptações:	87
6.5.1 Gerenciamento eletrônico	91
6.5.2 Resultados	93
7 Conclusão	96
7.1 Propostas futuras.....	96
7.2 Dificuldades encontradas.....	97
8 Referências.....	97

1 INTRODUÇÃO

Antes dos sistemas de injeção eletrônica, os motores de combustão interna partiam do princípio, em que sua mistura ar/combustível era dosada através da força de arraste dos gases admitidos, tal força gerada pela admissão do motor no qual se gerava vácuo no coletor de admissão, era basicamente assim que o carburador funcionava, porém este sistema gerava muita poluição e não extraia do combustível valores satisfatórios de aproveitamento. Com as legislações governamentais cada vez mais rígidas, apesar de um sistema muito engenhoso e funcional, não atendia as regulamentações de emissões e por isso foi substituído pela injeção eletrônica.(Brunetti, 2013)

A injeção eletrônica começou a ser comercializada em veículos em 1958 em alguns carros norte-americanos, sendo usada até hoje em dia. Com essa implementação o carburador se tornou um item obsoleto no mercado, porém ainda usada por modalidades de competição automotiva por ser um item muito flexível e fácil manuseio, mas como a maioria dos veículos e fabricantes aboliram a utilização e produção desse componente, a dificuldade de encontrar peças de substituição ou até mesmo o próprio carburador se tornaram difícil.

No aspecto de alimentação do motor, a injeção eletrônica e o carburador fazem o mesmo papel, o que diferencia esses sistemas e o aproveitamento que se é retirado do combustível. Por ser um componente totalmente mecânico, o carburador não consegue dosar precisamente a quantidade ideal de combustível necessário para os regimes do motor, outro fator que está coligado a isso e o fato de que ele não tem uma estimativa pré-determinada de ar que está sendo admitido, por isso o sistema carburado gera altos níveis de emissões de poluentes e desperdiçando combustível. (Bosch, 2014)

Já nos sistemas de injeção eletrônica, é possível dosar quase exatamente a massa ideal de combustível necessário para qualquer regime que o motor trabalha, menos em alta potência, há uma deficiência nesse regime, pois as válvulas injetores não atendem a demanda de combustível necessitada pelo motor, o que seria uma vantagem do carburador em relação a injeção eletrônica, isso explica o fato do carburador ainda ser usado em algumas modalidades de competição automotiva, para esse controle do combustível a unidade de gerenciamento do motor precisa de alguns dados fornecidos pelo mesmo para melhor dosagem, dados como: posição da borboleta, massa de ar admitida, temperatura do ar e do fator lambda.

Desde sua invenção na década de 60, várias implementações desse sistema foram feitas, o que trouxe maior potência e melhor aproveitamento do combustível em relação ao

sistema carburado, contribuiu para redução do tamanho dos motores (downsize), uma vez que com cilindradas menores a potência se tornava maior, atendeu aos requisitos da legislação ambiental.

A tecnologia mais recente em relação a injeção eletrônica é a aplicação do sistema de injeção sequencial direta no cilindro, porém será somente citado neste trabalho, em relação a injeção indireta, a tecnologia mais atual é uma injeção sequencial, um cilindro injetado por ciclo, feita no coletor de admissão, trabalhando em conjunto com o sistema speed density, sistema que calcula precisamente a massa e temperatura, e fator lambda, formando um sistema em malha fechada.

1.1 Objetivos e motivação

O objetivo do nosso trabalho é comparar a eficiência energética de um motor carburado com um mesmo motor modificado para funcionar com injeção eletrônica. Nosso intuito é baixar parâmetros de consumo e de poluição e mostrar a superioridade do sistema eletrônico em relação ao mecânico e relação ao modo de calibração e dimensionamento da demanda de combustível.

Através da calibração do motor, o mapa de ignição e injeção de combustível será calculado levando em consideração os aspectos de economia, menor poluição e maior vida útil do motor, outros pontos como potência e torque serão consequência da implementação de injeção eletrônica, o que não será o foco do projeto.

A leitura desse material proporcionará todos conhecimentos necessários para instalação da injeção eletrônica em um motor originalmente carburado, da calibração do mesmo e compreender o funcionamento de todos sensores e atuadores que compõem o sistema de injeção e ignição eletrônica.

O tema estudado necessita dos conhecimentos de diversas matérias na qual estudamos durante o curso, tais como: motores, carga e partida, gerenciamento de motores, calibração e eletrônica analógica e digital.

Essa adaptação será feita em um motor mono-cilindro carburado que originalmente é aplicado em geradores, a calibração será feita com uma unidade eletrônica de gerenciamento programável o que será um grande desafio, pois além de adaptar vários componentes ao motor, ainda será feita a calibração partindo do zero, o que é a maior satisfação do trabalho.

1.2 Conteúdo

Este trabalho estará assim dividido; o capítulo 2 discorrerá sobre os efeitos da poluição ambiental, abordando temas como legislações regidas no Brasil, sobre a frota de veículos brasileira, dos combustíveis utilizados no país e algumas medidas para o controle de emissões; no capítulo 3 veremos as características construtivas de motores e seus conceitos, no capítulo 4 falaremos sobre a eficiência energética dos motores ciclo Otto e ciclo Diesel e todos os cálculos sobre torque, potência, cilindrada, taxa de compressão e consumo específico; o capítulo 5 abordará os sistemas de alimentação mais utilizados, desde o carburador até os mais atuais como injeção direta e todos os conceitos que envolvem a injeção eletrônica como seus sensores e atuadores, sistema de ignição; no capítulo 6 será dedicado ao foco desta monografia, onde iremos abordar as adaptações feitas em nosso kart, dos testes desenvolvidos e de todo o trabalho para a confecção da parte prática de nosso projeto.

1.3 Metodologia

O processo de construção deste trabalho se divide em cinco etapas. Primeiramente precisamos estudar o motor GX390 da Honda, aonde iremos implementar a injeção eletrônica, e também dos sensores e atuadores que necessitaremos para a implementação. Na segunda fase, foram feitas todas as adaptações mecânicas no motor para colocar todos os sensores e atuadores que seriam usados pela ECU.

Com todos os itens acima instalados e funcionando começou a terceira etapa, o processo de calibração fazendo a análise da massa de ar admitida pelo motor, os tempos de injeção e o avanço base de ignição, estudando o *Software* “HISwinXV e instalação do módulo. Para otimização do processo de calibração o dinamômetro foi um item indispensável no processo por possibilitou fazer todos ajustes necessários para que a injeção e ignição fossem feitas de uma maneira que garantiu o melhor aproveitamento da eficiência do motor.

Na quarta etapa, foram analisados os ganhos do motor em relação ao sistema original demonstrando assim a superioridade da injeção eletrônica em relação ao sistema carburado.

Na quinta etapa, esse ponto do trabalho foi dedicado a escrita desta monografia, detalhando todos os itens descritos acima para maior entendimento dos processos.

2 EFEITOS DA POLUIÇÃO

Os processos industriais e de geração de energia, os veículos automotores e as queimadas são, dentre as atividades antrópicas, as maiores causas da introdução de substâncias poluentes à atmosfera, muitas delas tóxicas à saúde humana e responsáveis por danos à flora e ao ecossistema em geral.

A poluição atmosférica pode ser definida como qualquer forma de matéria ou energia com intensidade, concentração, tempo ou características que possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde dos seres vivos, danoso à fauna e à flora ou prejudicial à sua segurança e prejudicial para o aproveitamento das propriedades e qualidades de vida da comunidade.

De uma forma geral, a qualidade do ar é produto de interação de um complexo conjunto de fatores dentre os quais destacam-se a magnitude das emissões, a topografia e as condições meteorológicas da região, favoráveis ou não à dispersão dos poluentes.

Frequentemente, os efeitos da má qualidade do ar não são tão visíveis comparados a outros fatores mais fáceis de serem identificados. Contudo, os estudos epidemiológicos tem demonstrado, correlações entre a exposição aos poluentes atmosféricos e os efeitos de morbidade e mortalidade, causados por problemas respiratórios como:

- Asma
- Bronquite
- Enfisema pulmonar
- Câncer de pulmão

Quando as concentrações dos poluentes na atmosfera não ultrapassam os padrões de qualidade do ar vigentes. As populações mais vulneráveis são:

- Crianças
- Idosos
- Pessoas que já apresentam doenças respiratórias

A poluição atmosférica traz prejuízos não somente à saúde e à qualidade de vida das pessoas, mas também acarretam maiores gastos do estado onde há grandes concentrações de poluentes, decorrentes do aumento do número de atendimentos e internações hospitalares, além do uso de medicamentos, custos que poderiam ser evitados com a melhoria da qualidade

do ar das grandes metrópoles. A poluição do ar pode afetar a qualidade dos materiais, causando corrosão, do solo e das águas devido às chuvas ácidas.

A gestão da qualidade do ar tem como objetivo garantir que o desenvolvimento socioeconômico ocorra de forma sustentável e ambientalmente segura. Por tanto, se fazem necessárias ações de prevenção, combate e redução das emissões de poluentes e dos efeitos da degradação do ambiente atmosférico. (MMA.gov.br – Ministério do meio ambiente, acesso em 27/10/2014).

Abaixo a tabela demonstra os principais gases poluentes encontrados na atmosfera:

Poluente	Características	Fontes Principais	Efeitos Gerais ao Meio Ambiente
Partículas Inaláveis (MP ₁₀) e Fumaça	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 10 micra.	Processos de combustão (indústria e veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera).	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo.
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 100 micra.	Processos industriais, veículos motorizados (exaustão), poeira de rua ressuspensa, queima de biomassa. Fontes naturais: pólen, aerossol, marinho e solo.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo.
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	Gás incolor, com forte odor, semelhante ao gás produzido na queima de palitos de fósforos. Pode ser transformado a SO ₃ , que na presença de vapor de água, passa rapidamente a H ₂ SO ₄ . É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis.	Processos que utilizam queima de óleo combustível, refinaria de petróleo, veículos a diesel, produção de polpa e papel, fertilizantes.	Pode levar à formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação: folhas e colheitas.
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar à formação de ácido nítrico, nitratos (o qual contribui para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos.	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas que utilizam óleo ou gás, incinerações.	Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita.
Monóxido de Carbono (CO)	Gás incolor, inodoro e insípido.	Combustão incompleta em veículos automotores.	
Ozônio (O ₃)	Gás incolor, inodoro nas concentrações ambientais e o principal componente da névoa fotoquímica.	Não é emitido diretamente para a atmosfera. É produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis.	Danos às colheitas, à vegetação natural, plantações agrícolas; plantas ornamentais.

Tabela dos principais gases tóxicos da atmosfera – (CETESB, 2014).

A tabela a seguir demonstra como a população reage, na questão do desenvolvimento de doenças em relação à concentração desses gases, devido à quantidade encontrada na determinada região.

Qualidade	Índice	MP ₁₀ (µg/m³)	O ₃ (µg/m³)	CO (ppm)	NO ₂ (µg/m³)	SO ₂ (µg/m³)	Fumaça (µg/m³)	PTS (µg/m³)	Significado
Boa	0-50	0-50	0-80	0 - 4,5	0-100	0-80	0-60	0-80	Praticamente não há riscos à saúde.
Regular	51-100	>50-150	>80-160	>4,5 - 9	>100 - 320	>80- 365	>60-150	>80 - 240	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
Inadequada	101-199	>150 e <250	>160 e <200	>9 e <15	>320 e <1130	>365 e <800	>150 e <250	>240 e <375	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
Má	200-299	≥250 e <420	≥200 e <800	≥15 e <30	≥1130 e <2260	≥800 e <1600	≥250 e <420	≥375 e <625	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda apresentar falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com problemas cardiovasculares).
Péssima	≥ 300	≥420	≥800	≥30	≥2260	≥1600	≥420	≥625	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Efeitos da concentração dos gases tóxicos da atmosfera – (CETESB, 2014).

Estas tabelas demonstram o quando a população sofre com a concentração dos gases tóxicos no ar do seu meio ambiente e qual o tamanho do campo emissor destes gases.

2.1 Legislações de emissões de poluentes

As atividades humanas introduzem direta ou indiretamente substâncias ou energia no meio ambiente, provocando um efeito negativo no seu equilíbrio, causando assim danos na saúde humana, nos seres vivos e no ecossistema da região.

Para controlar essa emissão de substâncias tóxicas e estabelecer metas para conter o crescimento dos níveis de poluição, cada país ou região, estabelece legislações, ou seja, leis para estabelecer uma quantidade máxima de matérias poluentes a serem emitidas pelas empresas, automóveis, entre outros agentes.

Cada país adota sua legislação de acordo com a tecnologia ali presente, entrando em acordo com as empresas.

Na indústria automotiva, abaixar os níveis de emissões dos veículos, significa investir em tecnologia, o que para as empresas, eleva o custo da produção, consequentemente repassado para o cliente, impactando diretamente nas vendas do produto e também no lucro da empresa.

No Brasil, a partir de 2012 entrou em vigor o PROCONVE 7 (Programa da Poluição do Ar por Veículos Automotores), esta legislação é similar ao Euro 5 da Europa. A tabela abaixo mostra a quantidade máxima de poluentes que um motor que atende a norma PROCONVE 7 pode emitir :

Limites	PROCONVE 7			
(g/kWh)	CO	HC	Nox	PM
	1,5	0,46	2	0,02

Tabela 3 – Limites de poluição PROCONVE 7 (Iveco, 2014)

2.2 Frota de veículos do Brasil

O Brasil é uma das nações emergentes que reúne os melhores prognósticos em relação ao futuro. Isto se deve não somente ao seu imenso território, mas também por já se situar entre oito economias mais desenvolvidas do mundo e uma das suas indústria-chave é a automobilística. Em comparação com muitos outros países, mesmo desenvolvidos, o Brasil alcançou um estágio de progresso que permite satisfazer a desejos e necessidades de consumo que, até há alguns anos pareciam irrealizáveis. E o caso do automóvel, símbolo da mobilidade individual, e que se tornou um bem essencial: uma necessidade da qual nenhum de nós quer- e pode abrir mão. O desenvolvimento acelerado, principalmente nas regiões de maior concentração industrial e populacional, torna o respeito ao meio ambiente, cada vez mais importante, para que se evite um sério conflito com o equilíbrio ecológico da natureza.

A preocupação especial com o meio ambiente constitui, hoje, um dever de cada cidadão. Junto com uma consciência ecológica crescente em nossa sociedade, começam a ganhar corpo as medidas preventivas, a partir de uma legislação específica. Esforços e tecnologias apropriados à proteção ambiental e referentes a redução de emissões por diversas fontes já estão produzindo resultados.

Atualmente no Brasil existe uma frota de aproximadamente 35 milhões de veículos, sendo que a média da idade da frota é de aproximadamente 8,8 anos, onde 20% possuem mais de 15 anos de idade, que representam os principais poluidores da frota brasileira.

2.2.1 O Veículo

Em razão da mobilidade, o veículo automotor desempenha importante papel na vida diária de todos nós. Um dos fatos que evidencia isto claramente é a contribuição dada pelos 12 milhões de veículos que rodam no Brasil. E esta contribuição é imensa. A mobilidade justifica também o grande desempenho do veículo automotor no transporte de carga. Principalmente no tráfego de distribuição urbana, ele supera todos os outros sistemas. A capacidade de transporte de mercadorias de 277 milhões de toneladas por ano corresponde ao volume de transporte diário de aproximadamente 800 trens de carga. O veículo automotor domina aproximadamente 98% de todo o transporte de pessoas, sendo que mais da metade são veículos de passeio.

No Brasil 12 milhões de veículos tiram sua energia de 12 milhões de toneladas de combustível (gasolina e álcool) e 19 milhões de toneladas Diesel por ano. Isto significa que diariamente, seria necessário o carregamento de um super-navio com um tanque de aproximadamente 85000 toneladas de combustível para o tráfego de veículos. Na transformação desta energia química em energia mecânica formam-se gases de escapamento. Uma pequena parcela destes gases é considerada como relevantes ao meio ambiente.

A discussão sobre a qualidade do ar tem aumentado consideravelmente no Brasil e em outros países.

A crescente conscientização levou a uma série de legislações e mediadas visando às diversas fontes emissoras, com o objetivo de melhorar a qualidade do meio ambiente.

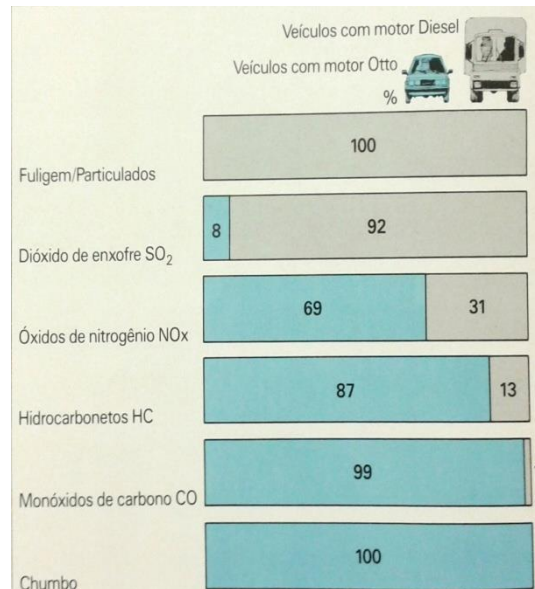
O combustível consumido pelo motor Otto apresenta uma composição química diferente do utilizado pelo motor diesel. Entretanto, ambos são compostos na maior parte por hidrogênio e carbono. Sob condições ideais, estes combustíveis são transformados em energia mecânica, de modo a restar apenas dióxido de carbono e água.

Estes dois componentes do gás de escapamento são tão inofensivos como o nitrogênio e os gases nobres contidos na atmosfera. Porém, como em todo processo real, a combustão em

um motor não resulta em completa das substâncias novos componentes no

No caso do ciclo principalmente do dos hidrocarbonetos e dos

2.2.2



transformação envolvidas, surgindo gás de escapamento.

Otto trata-se monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio.

Componentes

O Monóxido de carbono formado na combustão incompleta do combustível é uma substância inodora, insípida e incolor. Atua no sangue reduzindo a oxigenação. Pode afetar a saúde, especialmente em altas concentrações em áreas confinadas.

O Óxido de nitrogênio (NOx) é uma combinação de nitrogênio e oxigênio, que não aparece sob condições normais. Ele se forma em razão da alta temperatura na câmara de combustão.

Foi estabelecido um controle das emissões de óxido de nitrogênio dos veículos com o propósito de atender limites de dióxido de nitrogênio no meio ambiente. As emissões de Nox contribuem, porém, não como fonte principal na formação do dióxido de nitrogênio.

As emissões de NOx também participam da formação do “smog”, apesar de seu papel ainda ser ambíguo. Às vezes parece que promove o “smog” nas áreas urbanas; outras vezes, que inibe.

O empenho da indústria automobilística em reduzir o consumo de combustível leva em contrapartida a um aumento dos óxidos de nitrogênio, o que torna complexa a tarefa de otimização dos motores.

Imagem 1 – Comparativo de emissões entre motores Otto e Diesel (Apostila Volkswagen)

Hidrocarbonetos (HC) gerado através de combustível não queimado ou parcialmente não queimado que é expelido pelo motor, principalmente em condições onde este trabalha com mistura rica, sendo que a quantidade de combustível é tão superior a de ar, que não é possível obter a queima total, ou para mistura pobre, onde existe um excesso de ar impossibilitando a queima do combustível. Geralmente estes hidrocarbonetos não são considerados como problema no estado em que saem do veículo. Alguns tipos de hidrocarbonetos porém reagem na atmosfera promovendo o “smog” fotoquímico, formação de uma espécie de neblina composta por poluição. Também foram estabelecidos limites para a emissão de hidrocarbonetos pelos veículos automotores. (Catalogo Volkswagen)

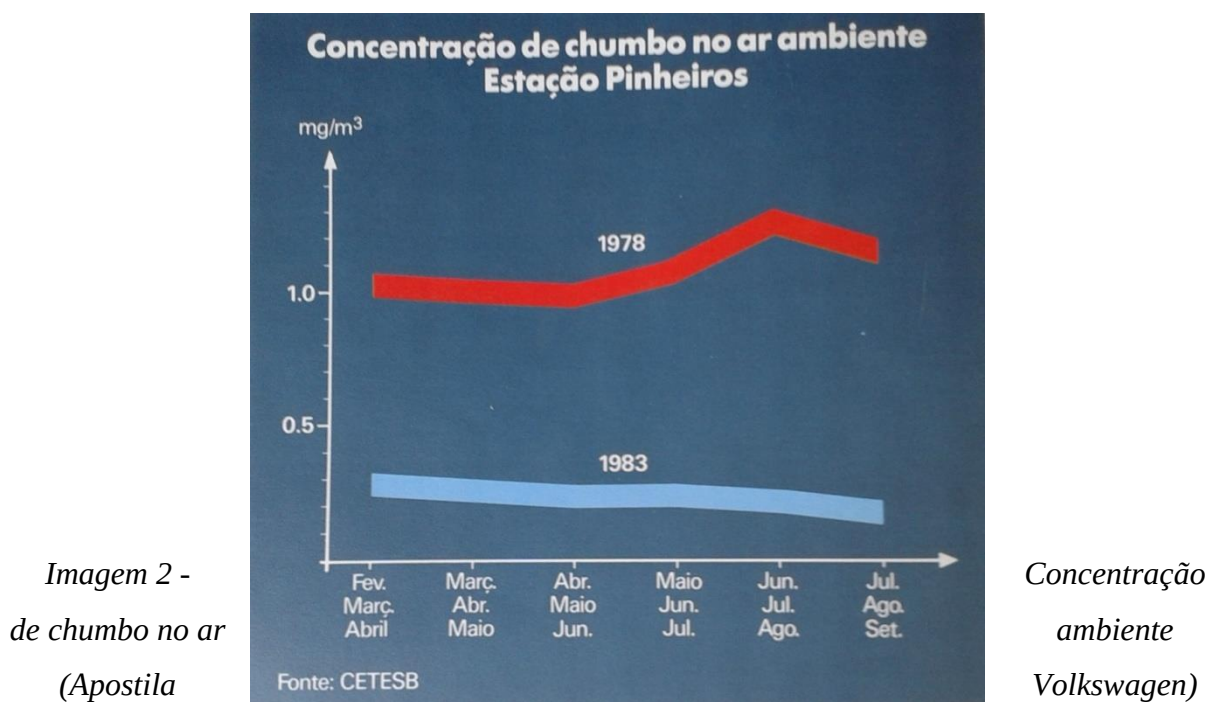
O perfil das emissões de motores ciclo Otto difere dos motores ciclo Diesel, onde é movido a um combustível isento de chumbo tetraetila e emite pouco monóxido de carbono para a atmosfera, mas sua participação nas emissões de NOx já se torna significativa. As emissões de dióxido de enxofre e de fuligem/particulados são quase que exclusivamente dos veículos com motor diesel

2.2.3 Os Combustíveis

A implementação do Programa Nacional do Alcool (PRÓALCOOL) no Brasil representou um importante passo na independência do País, mas também provocou profundas modificações nos combustíveis ciclo Otto.

A gasolina brasileira difere significativamente do combustível internacionalmente conhecido, e representa uma mistura de 22% etanol e 78% gasolina. A adição de etanol á gasolina aumenta a octanagem do combustível, possibilitando uma considerável redução na aditivação com chumbo tetraetila (aditivo adicionado a gasolina para elevar sua octanagem) e

garantindo um numero de octano de 80. A menor utilização de chumbo tetraetila já demonstrou seus efeitos positivos para o meio ambiente, conforme indicam medições da CETESB em São Paulo durante os anos de 1978 e 1983.



O álcool etílico hidratado difere totalmente da gasolina em suas características físico-químicas. Isto traz consequências nas técnicas de medição dos componentes do gás do escapamento, no tipo e na quantidade dos compostos emitidos, e também na aplicabilidade de tecnologias de controle de emissões.

O etanol pertence à classe dos álcoois como o metanol, o glicol e a glicerina, sendo constituído por carbono, hidrogênio e oxigênio. A gasolina apresenta uma mistura de 200 compostos de hidrocarbonetos derivados do processo de refino do petróleo, enquanto o etanol é composto quase que por uma única substância, contendo ainda 6% de água e algumas impurezas.

A dificuldade e a imprecisão da técnica de medição dos hidrocarbonetos, fica evidente quando se considera as diferenças entre dois combustíveis e a estrutura resultante de seus hidrocarbonetos.

2.2.4 Medidas para redução das emissões:

- Tratamento catalítico no sistema de escapamento. Esta medida tem um grande efeito sobre as emissões, pois o catalisador possibilita reações químicas onde uma grande parcela das emissões HC, CO e NOx é convertida em vapor de água, nitrogênio e dióxido de carbono. Em contra partida, traz um certo comprometimento do consumo de combustível e da potencia do motor, que entanto, é aceitável, face á grande redução das emissões.
- Empobrecimento da mistura pode ser utilizado como medida para redução de emissões, uma vez que esta relação apresenta um excesso de ar e menor combustível a ser queimado, sendo assim ocorre redução de CO e HC, mas aumentando o NOx.
- Sistema EGR (Recirculação dos gases de escapamento). É uma medida com intuito da redução do valor do NOx, sendo que esse valor esta dependente da temperatura da câmara de combustão; onde parte dos gases queimados são levados ao coletor de admissão.
- Amortecimento do fechamento da borboleta de aceleração promove a redução de HC devido a uma melhor combustão durante esta fase de funcionamento do motor. Esta medida evita o abrupto enriquecimento da mistura, devido á evaporação do filme combustível liquido, que sempre se encontra nas paredes do coletor de admissão, sendo assim diminui o índice de emissão de HC, e mantém inalterado o valor de NOx

2.2.4.1 Controle das emissões no motor Otto

No motor Otto procura-se controlar CO, NOx e HC, além de aldeídos emitidos principalmente pelo motor a etanol.

A qualidade da mistura tem um dos principais efeitos na formação dos poluentes conforme mostra a imagem 3.

Misturas ricas aumentam a concentração de CO e HC. Mesmo com mistura estequiométrica a concentração desses poluentes é alta, devida à falta de homogeneidade da mistura e de sua distribuição para os diversos cilindros.

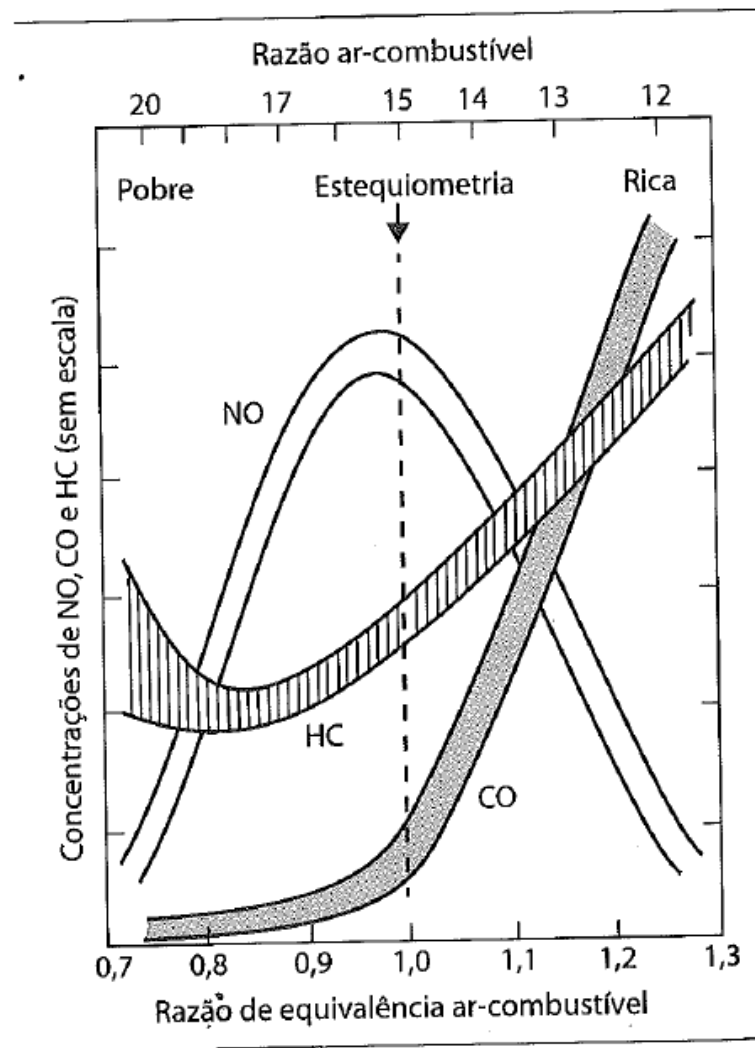


Imagem 3- Variação da composição dos gases de escape em função da composição da mistura (Heywood,1988)

Empobrecendo a mistura, os óxidos de nitrogênio crescem inicialmente em virtude da maior concentração de oxigênio, mas posteriormente diminuem pela redução da temperatura de combustão. O máximo de formação de NO_x acontece em uma condição ligeiramente pobre, por volta de $\lambda=1,05$ ($Fr = 0,95$), o que normalmente corresponde a mistura econômica. Apesar da temperatura adiabática de chama ser menor do que era para a relação estequiométrica, a velocidade da formação de NO é lenta, e na mistura mais pobre isso é parcialmente compensado pela queda na velocidade de propagação de chama.

A maior estabilidade é atingida com $\lambda \approx 0,8$ ($Fr = 1,25$), que corresponde também à menor concentração dos HC (combustão mais completa). Entretanto, nessa situação a concentração de CO atinge 4 a 5%. Empobrecendo a mistura, o CO diminui consideravelmente, mas crescem as oscilações do motor e os HC em razão das falhas de combustão.

A variação do avanço da centelha (faísca) em relação ao valor ótimo pouco influi na emissão de CO e HC, mas incrementa a formação dos NO_x, principalmente para $\lambda > 1,0$ ($Fr < 1,0$). Atrasar a centelha reduz NO_x, mas aumenta o consumo.

O aumento de taxa de compressão provoca o aumento da temperatura máxima do ciclo e uma redução da relação volume-superfície da câmara. O primeiro fator tende a aumentar NO_x e o segundo a reduzir HC. O que se nota é que, em geral, os fatores geram efeitos antagônicos em relação à formação dos três poluentes básicos.

Um expediente comum para reduzir as emissões de NO_x ainda na câmara de combustão é uso da recirculação dos gases de escape (do inglês: *EGR – Exhaust Gas Recirculation*). Como o gás de escape é composto principalmente por CO₂, que é um elemento final da combustão, na admissão esse elemento utiliza parte do calor gerado apenas para ser aquecido, sem participar das reações, diminuindo assim a temperatura da chama. Na marcha lenta e em baixas cargas, a válvula de recirculação de gases permanece fechada porque a presença destes gases nestas condições pode comprometer a estabilidade da chama. Na medida em que a posição do acelerador eleva a carga, a quantidade de EGR volta a ser reduzida, até ser eliminada próximo à condição de plena carga, para maximizar a potência do motor. Em motores que funcionam na condição estequiométrica, o volume de gás recirculado varia tipicamente entre 15 e 20%, alcançando em alguns casos 30%. O valor máximo é limitado pela estabilidade da chama. A recirculação é, por vezes, utilizada em motores Otto que operam com combustão pobre (*Lean Burn*), mas nesse caso permanece entre 10 e 15%. Apesar de reduzir emissões de NO_x, O uso

da recirculação dos gases de escape deteriora a qualidade da combustão podendo comprometer o consumo de combustível.

Existe ainda a possibilidade de se neutralizar grande parte das emissões a jusante da câmara, isto é, na tubulação de escapamento. O dispositivo mais eficiente para esta tarefa é o conversor catalítico (conhecido como catalisador) apresentado na imagem 4. Neste, os gases nocivos CO, HC e NO_x são transformados em CO₂, H₂O e NO_x simultaneamente, numa região rápida provocada pelos catalisadores paládio e ródio, nos motores à gasolina, e paládio e molibdênio, nos motores a álcool.

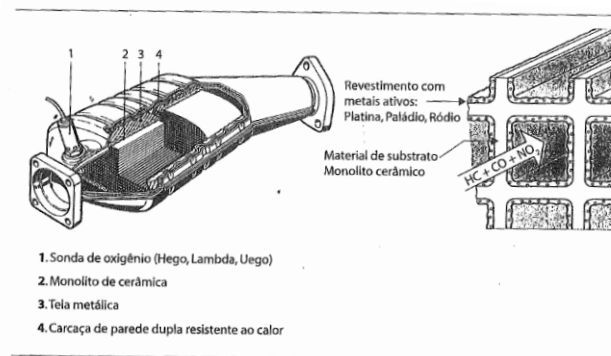


IMAGEM 4- CATALISADOR DE ESCAPE DE TRÊS VIAS (MANUAL AUTOMOTIVO BOSCH, CAP.7.EDIÇÃO,2007).

Por realizar a conversão dos três poluentes, esse catalisador costuma ser chamado de 3-way ou de três vias. As reações básicas podem ser representadas por:



Em decorrência do balanço das reações, esse dispositivo só é eficiente numa faixa muito estreita de emissões, provenientes de uma mistura próxima à estequiométrica ($0,99 < \lambda < 1,00$). A faixa de atuação eficiente do catalisador é denominada janela (Imagem 5).

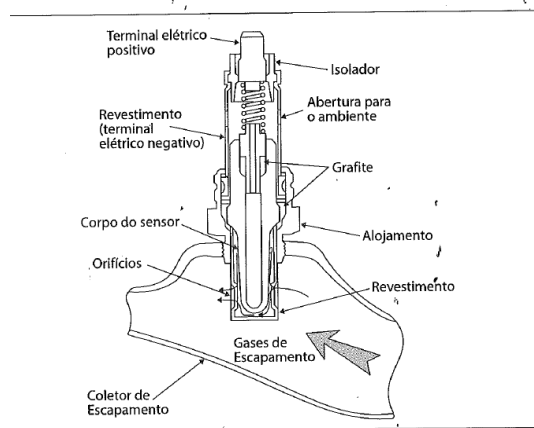


IMAGEM 5 – JANELA DE EFICIÊNCIA DO CATALISADOR, (A) SEM TRATAMENTO POSTERIOR, (B) COM TRATAMENTO POSTERIOR (HEYWOOD, 1988).

Por causa da janela muito estreita, a mistura precisa ser muito bem controlada na entrada. Essa operação pode ser efetuada por um sistema eletrônico fechado, no qual a unidade de comando do sistema de injeção deve receber um sinal de sensor Lambda ou sonda Lambda, corrige a entrada pela análise dos gases de saída. O sensor Lambda envia um sinal de tensão em função da presença de oxigênio nos gases de escape (Imagem 6).

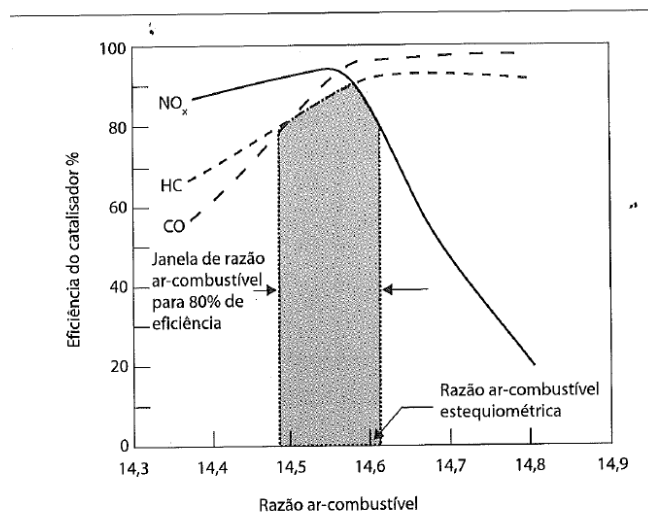


IMAGEM 6 – CORTE TRANSVERSAL DE UM SENSOR DE OXIGÊNIO DOS GASES DE ESCAPE, MOSTRANDO SUA INSTALAÇÃO (HEYWOOD, 1988).

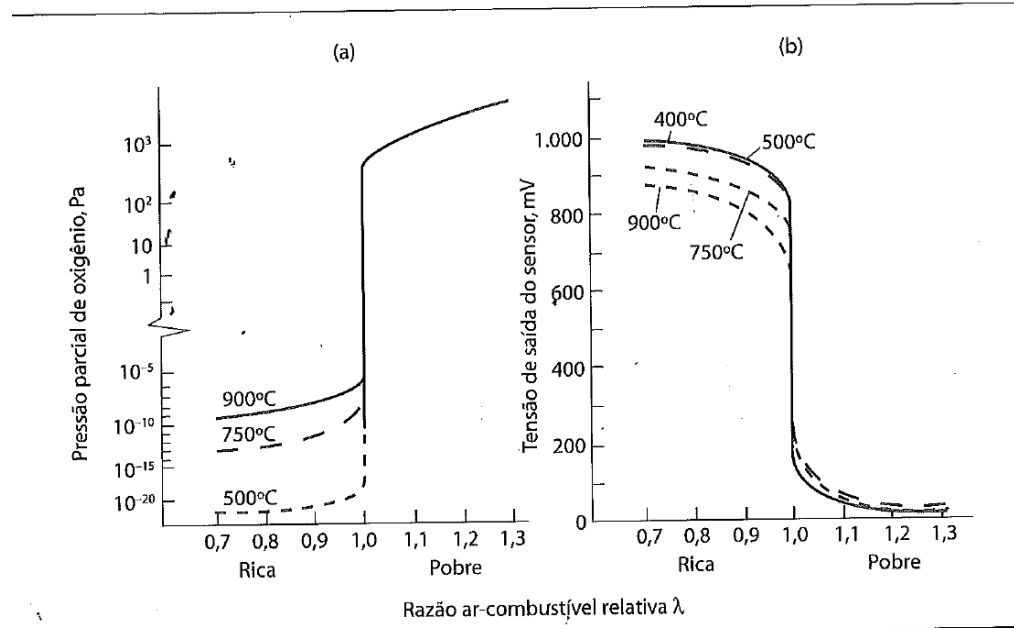


IMAGEM 7- CARACTERÍSTICAS DO SENSOR DE OXIGÊNIO – VARIAÇÕES EM FUNÇÃO DA RAZÃO AR/-COMBUSTÍVEL E DA TEMPERATURA PARA: (A) PRESSÃO PARCIAL DO OXIGÊNIO EM EQUILÍBRIO NOS PRODUTOS DE COMBUSTÃO E (B) TENSÃO DE SAÍDA DO SENSOR (HEYWOOD, 1988).

O sensor precisa ser colocado em uma posição do escapamento que mantenha a temperatura adequada. A variação da relação λ ($1/F_R$) nas proximidades de $\lambda=1$ causa uma variação de tensão (Imagem 7); por meio da unidade de comando, será usada para corrigir a quantidade de combustível.

Esse sistema *closed loop* garante uma redução dos poluentes dos motores Otto de cerca de 90%, enquadrando-os na legislação.

3 Origem do motor Otto

O motor de combustão foi origem da invenção das armas de fogo, onde o princípio era a transformação da combustão (energia térmica) em trabalho. (MARTINS, 2005)

As primeiras tentativas de construção de um motor por combustão ocorreram na metade do século XVII, onde a combustão gerada pelo combustível, que nos primeiros protótipos era a pólvora, movimentava um pistão dentro de um cilindro. Apesar das primeiras tentativas ocorrerem nessa época, documentos históricos delatam um esquemático idealizado por Leonardo da Vinci em 1508, onde sua proposta era elevar um peso por meio do fogo. (Câmara, 2006).

A primeira evolução do motor partindo do motor a pólvora, foi a contribuição de Denis Papin, ajudante do idealizador do motor citado anteriormente Christian Huygens, que propôs o funcionamento da máquina a vapor, que foi logo implementada por Thomas Savery, Thomas Newcomen e James Watt, onde sua implementação deu início a revolução industrial na segunda metade do século XVII. (Varella, 2013).

No ano de 1854 foi desenvolvido o primeiro motor de combustão interna de 2 tempos por Dugald Clerk, porém esse motor somente foi apresentado em 1881, visando uma diminuição do tamanho do motor 2 tempos o alemão Gottlieb Daimler introduziu a ignição por ponto quente, onde se tornou viável a construção do mesmo. (Varella, 2013).

Em 1857 Barsanti e Matteucci construíram um motor de pistão livre que operava de forma que a expansão dos gases da combustão impulsionava o pistão verticalmente para cima e descia pela ação da gravidade, onde o pistão acionava uma catraca que por sua vez acionava um eixo. Esse tipo de motor foi comercializado por Otto e Langen até o ano de 1867. (Varella, 2013).

Beua de Rochás (1862) propôs e patenteou os princípios de funcionamento dos motores 4 tempos de combustão interna com êmbolos, onde essas características apresentavam elevada eficiência, porém nunca obteve sucesso nas suas teorias e não construiu seu motor. (Varella, 2013).

Nikolaus August Otto (1876), alemão, caixeiro viajante e sócio de uma fábrica de motores a gás, foi quem construiu depois de ter inventado independentemente o mesmo ciclo (4 tempos), descrito por Beau de Rochás, o motor que foi chamado de Otto silencioso.

É interessante saber que OTTO conheceu o projeto e o motor de LENOIR, construindo primeiro um motor semelhante. Após esse experimento OTTO conseguiu formar uma opinião e solidificar seus conhecimentos para somente em 1878 apresentar seu motor na Feira Internacional de Paris. (Varella, 2013).

3.1 Motores de combustão interna

Quando pensamos em motores de combustão interna, logo partimos do conceito de máquina térmica, basicamente um conjunto de peças fixas e moveis que transformam a energia química do combustível em calor, onde após esse processo é gerada assim a energia mecânica. (Froes, 2011).

Os primeiros motores desenvolvidos tinham seu funcionamento totalmente mecânico, onde não havia qualquer controle na quantidade de combustível, ou análise de qualquer fator de entrada ou saída. Basicamente a força de arraste dos gases puxada do carburador uma quantidade de combustível, determinada pela própria força para dentro do cilindro, onde seria feita a combustão da mistura. Esse sistema não se mostrava eficiente pois não havia controle de nenhum parâmetro, por meio desse conceito surgiu a injeção eletrônica, que em suas primeiras aplicações funcionava como um carburador eletrônico e logo após como um sistema que dosava a quantidade necessária de combustível, de acordo com os fatores de correção.

A extinção do carburador ocorreu por ele não suprir mais as legislações que com o tempo se tornam cada vez mais rigorosas, por isso a injeção eletrônica dominou o segmento automotivo sendo utilizada em quase todos os sistemas de motores a combustão interna.

Esse fato deu início ao aumento da eletrônica embarcada no veículo, onde seu avanço proporciona melhor eficiência dos motores e baixo nível de emissões, assim atendendo as normas ambientais.

3.2 Fundamentos dos motores de combustão interna de quatro tempos

Cada fase do motor é um processo executado continuamente para que o motor continue em constante funcionamento, no caso do motor 4 tempos, um ciclo completo do motor ocorre a árvore de manivelas completa duas voltas. Na figura a seguir esta exemplificado o processo de funcionamento do motor.

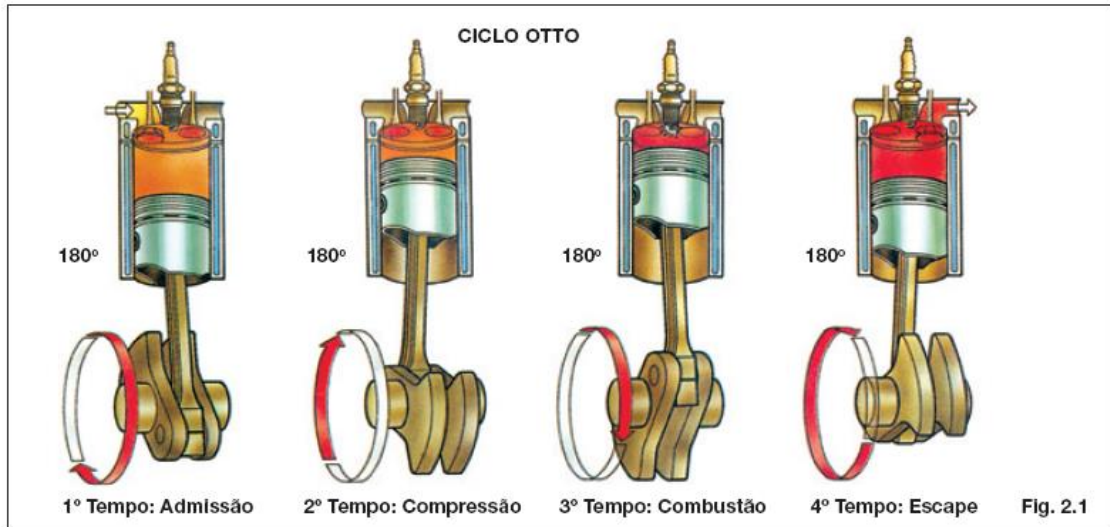


Imagem 8 – Ciclo completo de um motor Otto

Isso exemplifica o funcionamento do motor, seu ciclo somente é completo a cada duas voltas da árvore de manivelas, pois basicamente cada ciclo do motor demanda de 720° , levando em consideração que uma volta do motor é de 360° . O que muda de um processo para o outro é a posição das válvulas, como exemplificado acima.

1º tempo: admissão

No processo de admissão a válvula de admissão encontra-se aberta e a de escape fechada, o êmbolo parte do ponto morto superior (PMS) para o ponto morto inferior (PMI) gerando uma depressão no coletor de admissão seccionando a mistura de ar/combustível para dentro do cilindro, isso acontece em motores de injeção indireta, no caso de motores de injeção direta ou de ciclo diesel a sucção somente preenche o cilindro com ar, neste caso o combustível será injetado diretamente no cilindro.

2º tempo: compressão

Ocorre quando a válvula de admissão e a de exaustão se fecham e o êmbolo começa a se deslocar do PMI ao PMS, comprimindo ar ou uma mistura de ar e combustível dependendo do motor.

3º tempo: expansão

O processo de expansão ocorre quando a mistura comprimida no interior da câmara do cilindro entra em processo de combustão, em um veículo a gasolina determinada pela centelha na vela de ignição próximo ao PMS, já nos motores diesel esse processo ocorre quando a temperatura da câmara aumenta por causa da compressão da mistura ultrapassando a temperatura de autoignição do combustível. Esse processo aumenta a pressão dentro da câmara do cilindro, onde a força gerada desloca o êmbolo para o PMI atuando na árvore de manivelas, neste processo o movimento linear do êmbolo é transformado em movimento rotativo (torque girante), realizando trabalho positivo no motor (trabalho útil).

4º tempo: exaustão

Depois da queima da mistura e expansão dos gases, a válvula de escape se abre, forçando os gases resultante da combustão a saírem do interior da câmara de combustão. Nesse processo o pistão se movimenta do PMI para o PMS. (manual técnico – MAHLE)

3.3 Principais componentes de um motor de combustão interna

Os motores ciclo Otto possuem dois conjuntos de componentes que o constitui, são eles os conjuntos de peças:

- Móveis
- Fixas

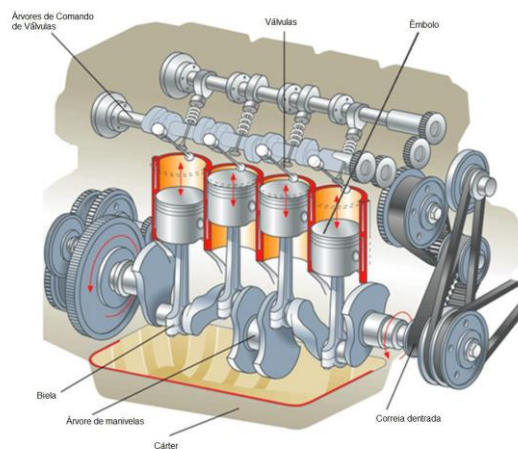


IMAGEM 9 – BLOCO DO MOTOR E SUAS PEÇAS FIXAS E MOVEIS

3.3.1 Bloco do motor

Componente principal do motor fixa, onde fica abrigado a maioria das peças que constitui o motor. O bloco geralmente é feito de ferro fundido cinzento, porém nos veículos mais atuais, os blocos estão sendo feitos com liga de alumínio, assim aumentando a eficiência térmica dos veículos e reduzindo seu peso. No seu interior são feitas galerias para que circule óleo lubrificante e refrigeração.

3.3.2 Cabeçote

Acoplado na parte superior do bloco, é o alojamento das válvulas de admissão e exaustão, comando de válvulas e das velas de ignição. Sua parte inferior fica a câmara de compressão, onde toda a mistura que o motor admitiu em comprimida. Por esse fato o componente possui galerias por onde passam óleo e refrigeração, devido as altas temperatura que o cabeçote atinge por causa da compressão e combustão.

3.3.3 Cárter

Fixado na parte inferior do bloco, é responsável por armazenar todo óleo do sistema de lubrificação do motor. Óleo que é distribuído com o auxílio de um succionador (vulgo pescador) através da pressão negativa gerada pela bomba de óleo.

3.3.4 Êmbolo

Principal componente que começa o seu trabalho a partir da expansão dos gases da combustão, onde a força gerada o impulsiona linearmente e, por meio da relação biela e árvore de manivelas, transmite o movimento linear em rotativo.

Seu formato é semelhante a uma caneca cônica, onde sua cabeça possui um diâmetro menor do que sua saia para ter uma compensação da dilatação devido as altas temperaturas geradas pela combustão em sua cabeça.

Geralmente fabricado em alumínio, podendo ser fundido ou forjado.

3.3.5 Biela

Componente que está fixado na parte inferior do êmbolo com um deslocamento leve a esquerda para garantir o não travamento do motor, formando um conjunto chamado de pistão. A biela conecta o êmbolo à árvore de manivelas, para assim transmitir o movimento linear do êmbolo em movimento rotativo na árvore de manivelas.

3.3.6 Árvore de manivelas

Trata-se de um conjunto de manivelas às quais as bielas são conectadas, de maneira a formar o movimento rotativo. Geralmente fabricado em ferro fundido nodular ou aço forjado.

3.3.7 Trem de válvulas

“É todo o mecanismo dedicado ao acionamento das válvulas, como árvores de comando, balancins e tuchos, e elas próprias com os seus elementos. As válvulas são hastes de metal em forma de tulipa, sendo que uma das extremidades possui um formato de circunferência e está voltada à câmara de combustão e a outra extremidade tem forma afinada e está voltada para o comando de válvulas. Sua função é vedar a passagem da mistura carburante (ar combustível) aos cilindros do motor, manter dentro do cilindro do motor e permitir a saída dos gases de exaustão logo após a combustão do sistema. Estas válvulas são denominadas válvulas de admissão e válvulas de exaustão, respectivamente (BOSCH, 2004).

O comando de válvulas é uma árvore composta de ressaltos ou excêntricos (comes), destinados a abrir as válvulas do motor e permitir que se fechem sob a ação de mola mecânica ou, no caso dos motores de Formula 1, mola pneumática. É acionado por engrenagem, corrente ou correia dentada, podendo estar localizado no bloco do motor ou no cabeçote.

Os Balancins são pequenas alavancas que se movem entorno de um eixo que recebe movimento do tucho ou do ressalto da árvore de comando e transmite à válvula. Em algumas regiões é chamado de balanceiro. (Moisés e Rodrigo, 2013)

O tucho é uma peça cilíndrica relativamente delgada que recebe movimento do ressalto da árvore de comando de válvulas quando localizada no bloco do motor. movimento do ressalto segue para a vareta de válvula, que por sua vez, aciona o balancim de válvula. Essa descrição corresponde ao trem de válvulas típico de um motor OHV (Overhead valves – válvulas do cabeçote). O tucho pode possuir circuito hidráulico alimentado pelo próprio óleo do motor e o êmbolo interno que permite manter todo o mecanismo sem folga por compensar as variações dimensionais em função da temperatura. Nesse caso é chamado tucho hidráulico em oposição ao tucho mecânico descrito no início.” (Moisés e Rodrigo, 2013)

3.4 Termodinâmica dos motores

3.4.1 Definições:

- Sistemas: Quantidade de matéria ou região do espaço fixo ou móvel.
- Meio: É o que resta do universo excluindo-se o sistema.
- Fronteira: Superfície real ou imaginária, fixa ou móvel, que separa o sistema do meio.
- Estado: É a condição em que se encontra o sistema, definido pelas propriedades.
- Propriedades: São grandezas diretas ou indiretas mensuráveis que definem a condição em que se encontra o sistema sendo do tipo extensivas que não dependem da massa do sistema(exemplo: massa, volume, energia cinética) e do tipo intensiva que não dependem da massa do sistema.(exemplo: temperatura, pressão).

3.4.2 Processo

É a maneira pela qual o sistema muda de estado tendo os seguintes processos típicos:

Isotérmico :temperatura constantes

Isocórico: volume constante

Isobárico: pressão constante

Adiabático: sem troca de calor

Isoentrópico: entropia constante

Equação de estado (gás perfeito): É a equação que representa uma relação entre propriedades de estado, a saber, pressão e volume e temperatura (P, V e T).

Equação de Clapeyron

$$pV = m R T$$

p- pressão absoluta do gás.

V- volume de gás

m- massa de gás.

R- constante do gás

T- temperatura absoluta do gás.

Para sistemas fechado:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

Energia Total: Constituída por :

$$\text{Energia cinética} - E_c = \frac{m(v.v)}{2}$$

Energia Interna – U(energia térmica)

Energia potencial - $E_p = m.g.z$

3.4.3 Primeiro Princípio da Termodinâmica

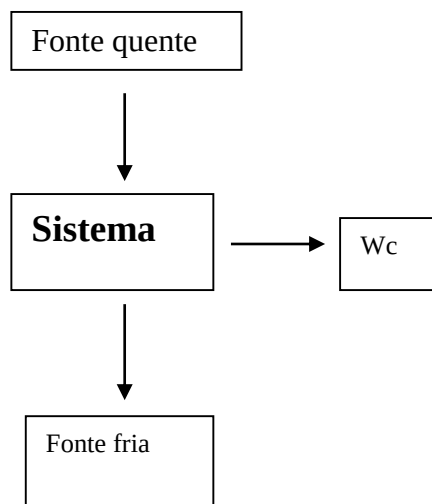
É o balanço das energias de um sistema, cuja energia total é E_1 e suponhamos que este sistema sofra alterações com o meio, de tal forma a trocar energia com o mesmo, na forma de calor e trabalho.

Este sistema sofrerá então uma transformação, alcançando um estado final de energia E_2 .

$$Q - w = E_2 - E_1$$

3.4.4 Segundo princípio da Termodinâmica

Para que um sistema, que realize um ciclo, produza trabalho útil, há necessidade de que o sistema troque calor com duas fontes, sendo um quente e outra fria.



Rendimento térmico do ciclo (NT)

$$NT = \frac{W_c}{Q_f} = 1 - \frac{Q_r}{Q_f}$$

W- Trabalho Q- calor

3.5 Consumo de ar nos motores quatro tempos

A potência indicada de um motor é proporcional à massa de ar desde que se mantenha o mesmo combustível, relação ar/combustível constante, relação de compressão e o melhor avanço da centelha na vela. Com essas condições, o rendimento térmico permanece substancialmente constante e a potencia indicada é diretamente proporcional à massa de ar.

3.5.1 Rendimento Volumétrico

O rendimento volumétrico é definido como sendo a relação entre a massa de mistura nova, que entra para o cilindro durante o curso de admissão, e a massa que preenche o volume deslocado pelo pistão, com densidade de entrada.

3.5.2 Densidade de entrada

O rendimento volumétrico é de grande interesse como medida do desempenho do conjunto do cilindro como elemento de bombeamento. Para avaliar este desempenho é necessário definir a densidade de entrada como a mistura nova de entrada da válvula ou próxima dela. Quando a densidade nas condições de entrada é determinada dessa maneira, o rendimento volumétrico resultante mede as condições de bombeamento do cilindro e perdas somente na válvula.

Nem sempre pode ser conveniente ou também possível, a medida da densidade nas condições de entrada da válvula. Entretanto, a densidade é medida neste ponto, o rendimento volumétrico resultante mede o desempenho de escoamento de todo o sistema de indução do motor, bem como as condições dos cilindros e as perdas nas válvulas. O rendimento volumétrico assim determinado é chamado rendimento volumétrico global.

Nos motores de aspiração natural, com pequenas variações na temperatura e pressão no filtro de ar, carburador e tubulação de admissão, o rendimento volumétrico global não

difere muito daquele medido na entrada da válvula, devido a isso e á conveniência da medida do rendimento volumétrico global, este é comumente usado nos motores de aspiração natural.

O rendimento volumétrico global nos motores sobrealimentados é de pequeno significado, uma vez que ele não diferencia entre o desempenho do turbo compressor e o dos cilindros.

4 Eficiência energética dos motores

4.1 Formação da mistura

Um motor de combustão interna necessita de um sistema que forneça a quantidade de combustível adequada para cada regime de funcionamento, com o objetivo de ter confiabilidade, economia de combustível e bom rendimento com baixos índices de emissões de gases poluentes.

Um motor Otto precisa de uma determinada relação de ar- combustível para operação. A queima total, teoricamente ideal, está em uma relação de 14,7: 1. Também conhecida como relação estequiométrica. Isto significa que para 1kg de massa de combustível são necessários 14,7 kg de ar. Ou expresso em volume: 1 l de combustível é total mente consumido com cerca de 9500 l de ar. (Bosch)

A mistura ar- combustível influencia sobre o tratamento de gás no escape. A tecnologia atual oferece catalisador de três vias que atinge sua eficiência ideal com uma relação estequiométrica de ar- combustível. Com ele é possível reduzir em mais de 98% os componentes tóxicos do gás de escape. (Bosch)

O motor ciclo Otto apresenta exigências variáveis com determinados regime de funcionamento. E com isso deve ter alterações objetivas da composição da mistura, como por exemplo com o motor frio.

Nos motores atuais com injeção no coletor de admissão, é necessária, além do volume exato de injeção, uma mistura homogênea para um processo de combustão ideal. Para tanto é necessária uma boa pulverização do combustível. Não cumprida essa condição, há um grande deposito de gotas de combustível no coletor de admissão e nas paredes da câmara de combustão. Essas gotas não podem ser totalmente consumidas, o que provoca maiores emissões de HC. (Bosch)

4.1.1 Formação da mistura para sistema de injeção direta

Para mistura do tipo homogênea, deve ser injetado o mais cedo possível para aumentar o tempo disponível para sua atomização. Este é o principal motivo pelo qual, neste modo de operação a injeção de combustível é sempre realizada no tempo de admissão do motor. Assim o ar que entra pela admissão ajuda a evaporar o combustível mais rapidamente, desmembrando as gotas pelo fluxo ar ocorrido no momento.

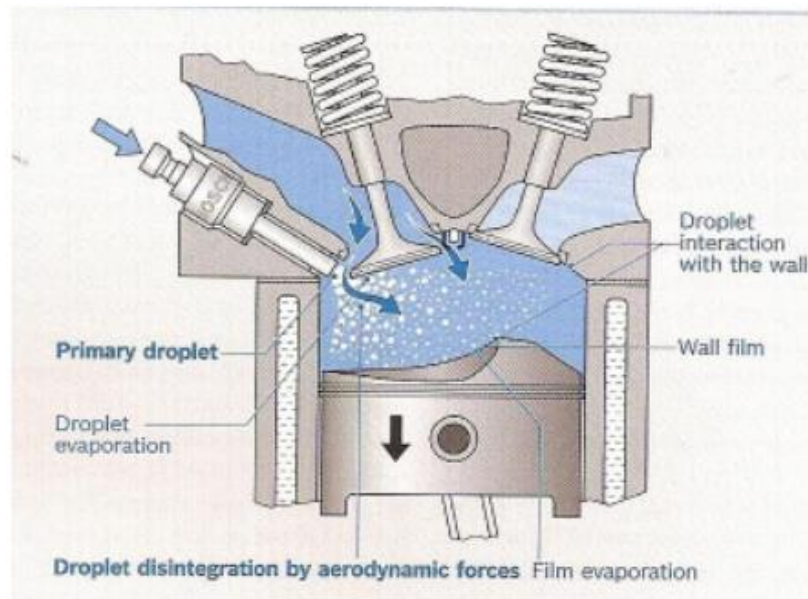


IMAGEM 10 -MECANISMO DE FORMAÇÃO DA MISTURA DE MODO HOMOGÊNEO. (BOSH(2006) P.126)

Em injeções do modo estratificado o objetivo é criar uma nuvem de mistura inflamável próxima ao eletrodo da vela de ignição, este é o motivo que o combustível é injetado durante o tempo de compressão do motor, assim o combustível é levado para a região pelo fluxo de ar na câmara de combustão e pelo golpe do pistão durante o processo o ponto de injeção depende da rotação do motor do torque requerido.

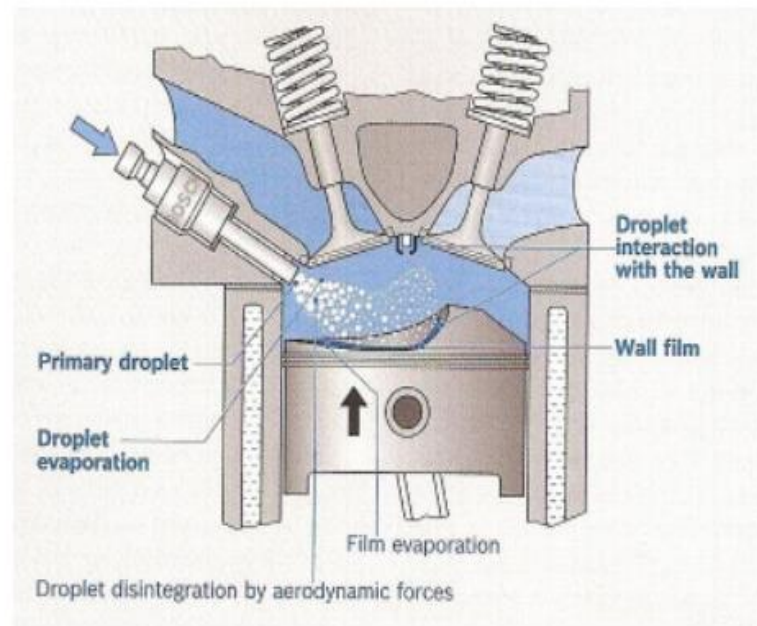


IMAGEM 11 - MECANISMO DE FORMAÇÃO DE MISTURA DE MOTO ESTRATIFICADO. (BOSCH(2006) P 126)

4.2 Torque e potência

Podemos definir torque como sendo o esforço de torção determinado pela força aplicada a um distancia, ou seja, Torque = Força x Distância.

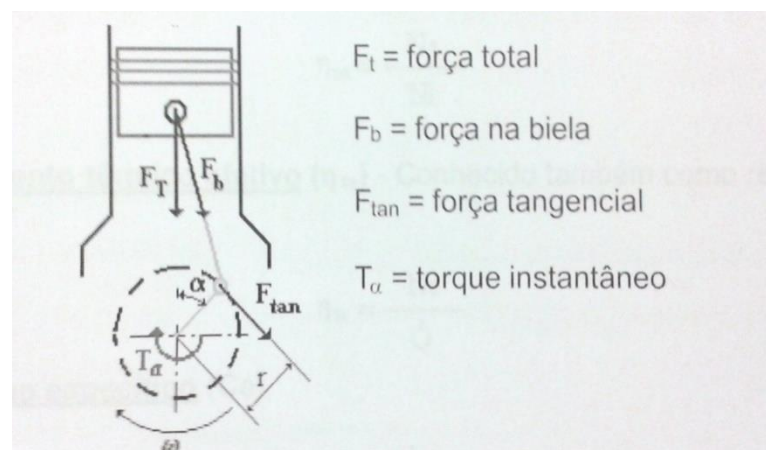


IMAGEM 12 – DISTRIBUIÇÃO DA FORÇA DE EXPANSÃO DOS GASES NA BIELA. (BOSCH)

Ao aplicarmos esse conceito ao motor de combustão interna, o conjunto pistão-manivela, faz aparecer um momento instantâneo ($T\alpha$) no eixo do motor, causado pela força tangencial (F_{tan}). Embora o raio da manivela seja constante, esse momento varia com o ângulo α . Com o funcionamento do motor a uma dada rotação se obtém um momento médio positivo chamado apenas de Torque (T). (Prof. Durval Piza)

Para Potência podemos definir como trabalho realizado em uma unidade de tempo dado pela expressão:

$$P = \frac{\text{força} \times \text{deslocamento}}{\text{Tempo}}$$

Uma vez que a potência aplicada ao ciclo otto é normalmente utilizada em CV, ou seja é a potência desenvolvida quando se realiza um trabalho decorrente da aplicação de uma força necessária para elevar um peso de 75kg a uma altura de um metro de altura em um segundo.

4.3 Cilindrada

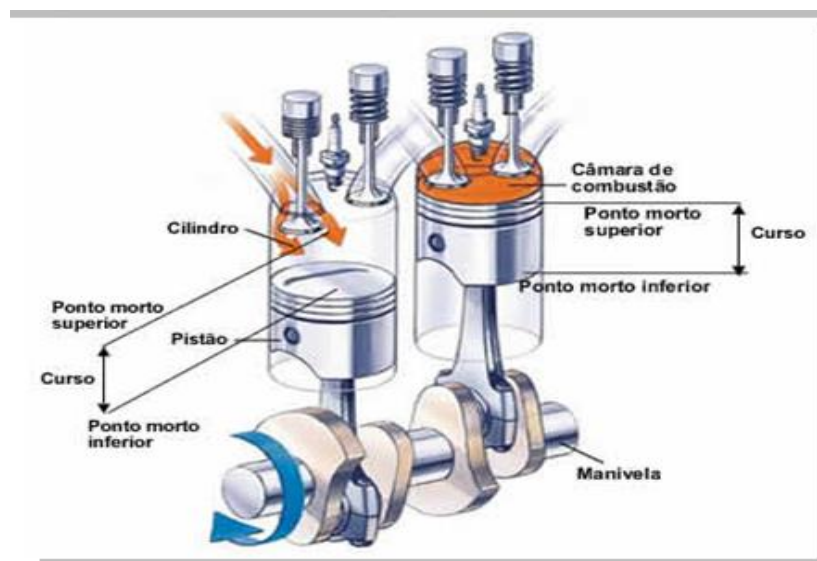


Imagem 13 – Amostra da área de cilindrada e câmara de combustão. (Prof. Fróes)

Podemos definir cilindrada como a capacidade do volume do cilindro expressa em cm^3 . Quando dizemos que nossos carros possuem um motor 1.0 ou 1.6, significa que ele possui $1000cm^3$ ou 1L.

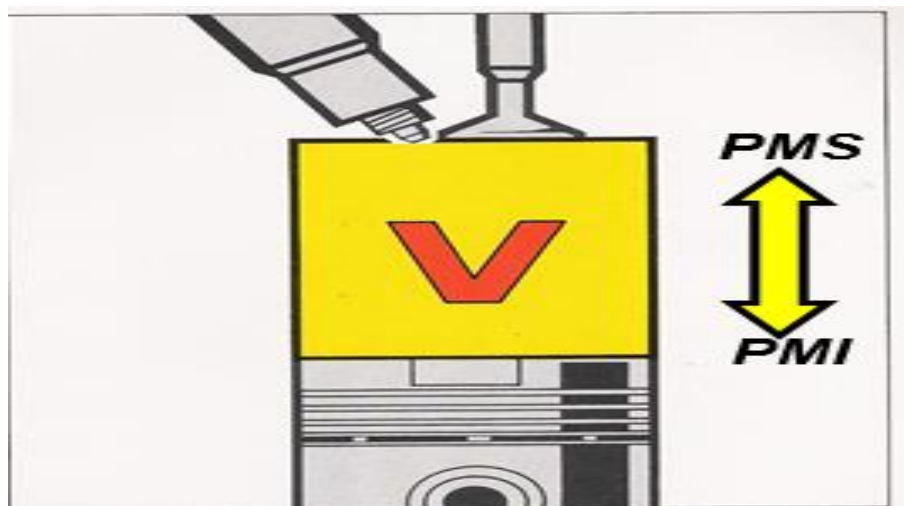


IMAGEM 14 - VOLUME DO CILINDRO. (PROF. FRÓES)

É calculado através da seguinte fórmula:

$$V = \pi r^2 \times h \times n$$

Sendo:

V= cilindrada ,r = raio do cilindro em cm, h= curso do êmbolo, n = número de cilindros

4.4 Motores Diesel

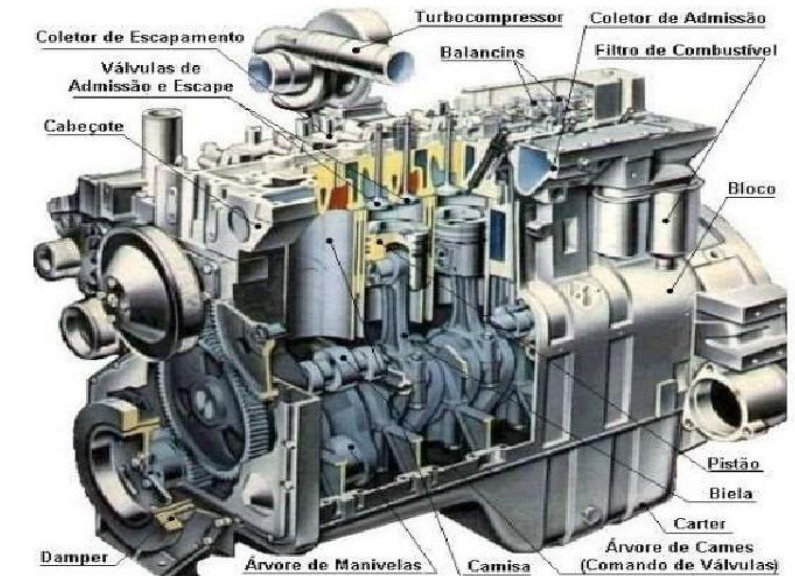


IMAGEM 15 – MOTOR DIESEL E SEUS COMPONENTES. (UNOP TIJUCA – AFP AUTOMOTIVE – RJ)

Um motor a Diesel é um motor com pistão alternativo com formação interna de mistura (heterogênea) e auto- ignição. Durante o tempo de compressão, o ar de admissão é comprimido de 30 para 55 bar em motores aspirados naturalmente, ou 80 para 110 bar em motores sobrealimentados, de modo que a temperatura aumenta de 700 para 900 C. Esta temperatura é suficiente para induzir a auto- ignição no combustível injetado nos cilindros um pouco antes do final do tempo de compressão, sendo assim descartando o uso de velas de ignição. (Bosch)

Um dos principais aspectos positivos do motor a Diesel é a eficiência térmica onde apresenta 54%. Em comparação ao motor ciclo otto com uma eficiência na ordem de 34%. Os valores de taxa de compressão superiores ao encontrados em motores ciclo otto possibilita uma maior eficiência. O formato da câmara de combustão e a ação do pistão podem ser utilizados para criar turbulência ou para distribuir o combustível líquido e/ou jato de ar/vapor de combustível e a energia térmica armazenada nas paredes da câmara de combustão e o ar comprimido vaporizam o combustível injetado (como uma camada de filme sobre as paredes e como gotículas).

4.5 Taxa de compressão.

Podemos definir como a relação que indica quantas vezes a mistura é comprimida dentro da câmara de combustão antes do processo de queima. Expressa a relação entre volume do cilindro e volume da câmara de compressão, e é determinada pela relação entre volumes do cilindro com o êmbolo no PMI e no PMS.

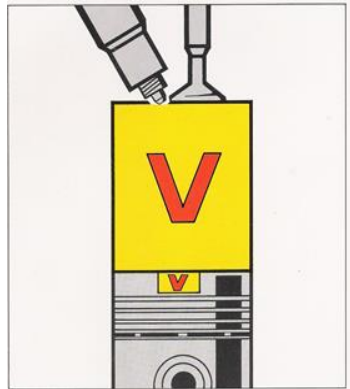


IMAGEM 16 – VOLUME DO CILINDRO E VOLUME DA CÂMARA DE COMPRESSÃO. (PROF. FRÓES)

Calcula-se através da seguinte fórmula:

$$T = \frac{V + v}{v}$$

Sendo: T=Razão de compressão

V=cilindrada

v=volume da câmara de compressão

Do ponto de vista termodinâmico, a taxa de compressão é diretamente responsável pelo rendimento térmico do motor. Assim, quanto maior a taxa de compressão, melhor será o aproveitamento energético que o motor estará fazendo do combustível consumido.

4.6 Consumo específico

Para estudo de consumo de combustível em função da potência do motor é comum utilizarmos uma relação entre as duas variáveis chamada consumo específico. Assim visto na seguinte equação:

$$\text{Consumo específico} = \frac{\text{consumo de combustível}}{\text{Potência}}$$

Antes das leis que antecederam limites de emissões de gases poluentes, nos projetos de desenvolvimento dos motores de combustão interna, existia a busca constante por minimizar o consumo específico para cada condição do funcionamento do motor. O rendimento do motor é inversamente proporcional ao consumo específico do combustível, ou seja, quanto menor for o valor do consumo específico maior será o rendimento global do motor. Em geral, o consumo específico de combustível não é constante para cada rotação e carga do motor, por isso, cada motor possui seu mapa de consumo específico.

5 SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO DO MOTOR CICLO OTTO

5.1 Carburador

O carburador é um componente totalmente mecânico, que tinha a função de dosar a mistura de ar e combustível para os regimes do motor.

5.1.1 Instalação

Uma bomba, geralmente uma bomba diagrama, acionada pelo eixo de comando do motor ou pelo eixo do distribuidor aspira o combustível do tanque e o impulsiona para o carburador. A boia armazena o combustível na parte interna do carburador e o distribui para a agulha localizada no coletor de admissão, que libera o combustível para o motor de acordo com a força de arraste dos gases. (Bosch)

5.1.2 Funcionamento

O motorista aciona o pedal do acelerador para variar a borboleta, isso facilita a passagem de ar para o motor e dependendo da passagem o carburador dosa a quantidade de combustível que irá para dentro do cilindro. O estreitamento da secção transversal do carburador aumenta a velocidade do ar, gerando assim uma determinada depressão, e através da diferença de pressão entre o coletor de a bóia o combustível e seccionado para dentro do motor e sua limitação é dimensionada de acordo com a vazão da agulha. (Bosch).

5.1.3 Sistemas auxiliares

Para corrigir sua ineficiência em alguns regimes do motor o carburador possui alguns sistemas auxiliares para disponibilizar um acréscimo de combustível em alguns regimes cujo seja necessário, como:

- **Sistema de partida a frio:** segunda borboleta que proporciona arraste de combustível por todos os orifícios proporcionando uma mistura rica, facilitando a partida do motor.
- **Sistema de marcha lenta e progressão:** proporciona uma aceleração suave, pois furos situados estrategicamente acima da borboleta garantem um pouco mais de combustível conforme o aumento da aceleração do motor.
- **Sistema principal:** A saída ligada a cuba fornece combustível na garganta de Venturi.
- **Sistema de aceleração rápida:** adiciona combustível por meio de uma bomba de membrana quando há uma aceleração rápida. (Brunneti)

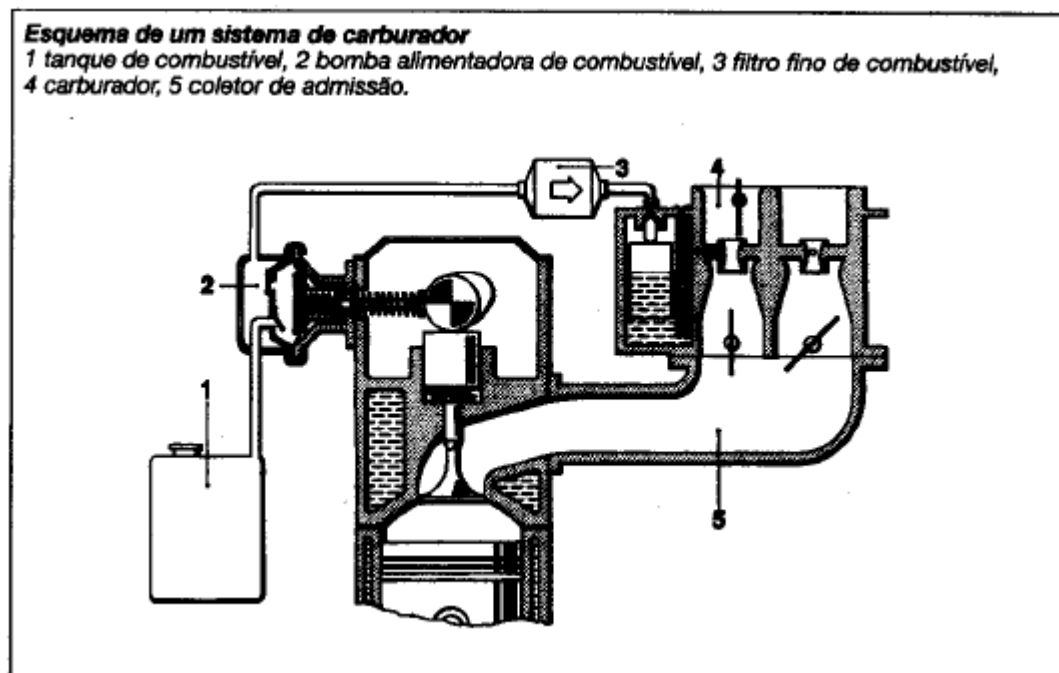


IMAGEM 17 – ESQUEMA DE UM SISTEMA CARBURADO. (MANUAL DE TECNOLOGIA AUTOMOTIVA, BOSCH)

5.2 Injeção eletrônica

A injeção eletrônica basicamente tem a mesma função do carburador, onde tem que dosar de uma forma eficiente o combustível para determinada massa de ar. Para determinar uma massa a ser injetada, a ECU precisa analisar fatores como:

- Massa de ar
- Temperatura do ar
- Rotação do motor
- Carga

Analisando esses fatores a ECU consegue calcular o tempo de injeção necessário para atender a exigência do motorista e suprir requisitos como:

- Emissões de gases poluentes
- Consumo

- Potência

Nota: é muito importante não confundir o sistema de injeção dos motores ciclo Otto com os utilizados em ciclo Diesel, pois nesses tipo de motor a injeção é realizada diretamente na câmara de combustão, ao final da compressão, pois a entrada de combustível que controla a combustão por autoignição.

5.2.1 Funcionamento

A linha de combustível possui uma pressão constante gera por uma bomba elétrica, levando assim o combustível para um distribuidor (chamado de flauta) onde estão colocadas as válvulas injetoras que estão posicionadas no coletor de admissão. Conforme solicitação da ECU essas válvulas abrem e fecham regulando a passagem de combustível.

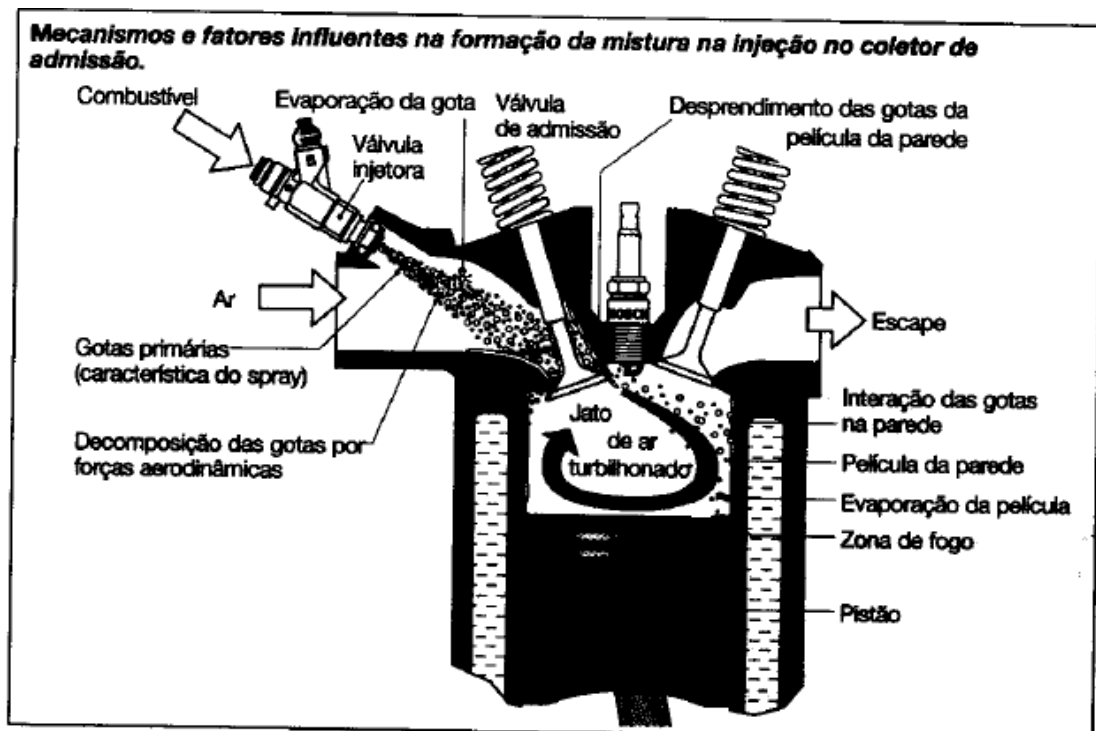


Imagem 18 – Esquema de um sistema injetado indiretamente. (Manual de tecnologia automotiva, Bosch)

5.2.2 Tipos de injeção eletrônica

5.2.2.1 Monoponto

O sistema de injeção eletrônica monoponto apresenta somente uma válvula injetora, independentemente da quantidade de cilindros, como representado na figura (XX), ela esta localizada antes da válvula borboleta e fixada no coletor de admissão. É responsável por distribuir todo o combustível necessário para o motor.

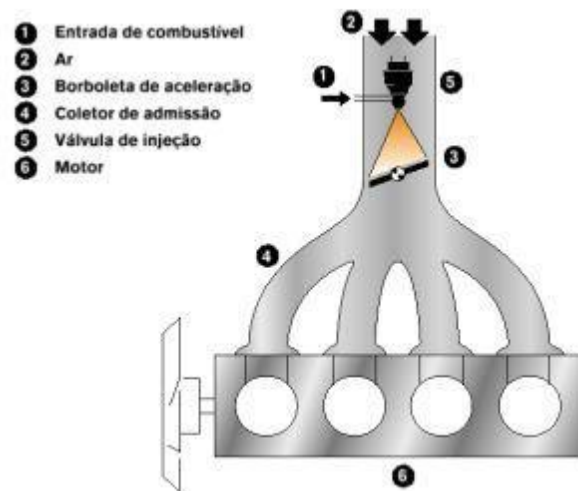


Imagem 19 - Sistema de injeção indireta monoponto. (ADAPTADO DE PUJATTI, 2007).

5.2.2.2 Multiponto

Neste sistema, cada cilindro possui uma válvula injetora, localizada atrás da válvula de admissão do motor e após a válvula borboleta. Esse sistema possibilita um maior aproveitamento do combustível, uma vez que é mais fácil regular a quantidade de combustível necessária para cada cilindro.

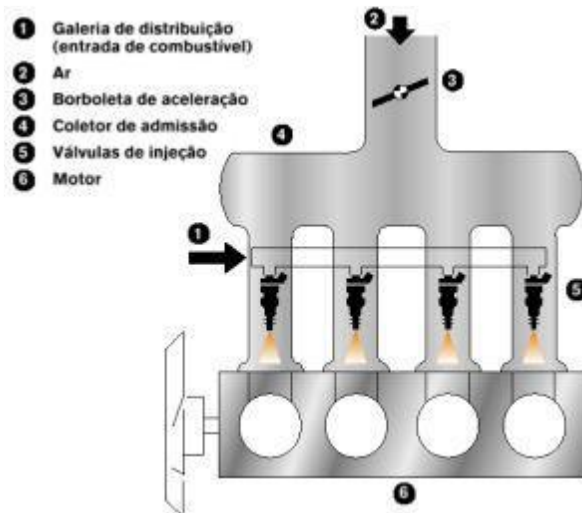


Imagem 20 - Sistema de injeção indireta multiponto. (ADAPTADO DE PUJATTI, 2007).

Existem 3 tipos estratégias de injeção eletrônica multiponto:

- **Full-group**

Sistema onde as válvulas injetoras são acionadas todas juntas, estratégia adotada geralmente na partida, afim de facilitar o funcionamento do motor.

- **Banco-a-banco**

Sistema onde as válvulas injetoras são acionadas em pares, sempre nos cilindros gêmeos

- **Senquencial**

Sistema onde cada válvula injetora é acionada de acordo com a fase que se encontra o motor.

5.2.3 Sensores

Sensor é um dispositivo que é capaz de transformar grandezas físicas em sinais elétricos. No sistema de injeção eletrônica os sensores são fundamentais para que o sistema de injeção eletrônica gerencie o motor, pois sem esses sensores não seria possível funcionar o motor.

Os sensores utilizados como fatores de entrada da ECU serão apresentados abaixo.

5.2.3.1 Sensor de temperatura de água

O sensor pode ser do tipo NTC(*Negative Temperature Coefficient*), que funciona da maneira, que, com o aumento da temperatura o valor da sua resistência interna diminui ou PTC(*Positive Temperature Coefficient*) que com aumento da temperatura há o aumento da resistência. Sua alimentação é feita através do módulo de gerenciamento, e conforme a variação da sua resistência, a tensão de retorno ao módulo muda, essa tensão é interpretada pelo módulo é transformada em uma ação para o motor (Bosch, 2004).

Seu funcionamento consiste em informar a ECU a temperatura da água circulante no motor. Com essa informação o módulo:

- Aciona os eletro-ventiladores do sistema de arrefecimento.
- Enriquece a mistura ar/combustível quando o motor está frio, esse fato acontece devido a perda de combustível por condensação nas paredes do coletor de admissão no sistema de injeção indireta.
- Aumentar o ângulo de avanço de ignição devido a redução da velocidade de propagação de chama.

5.2.3.2 Sensor de temperatura do ar

Também chamado de MAP (manifold Air Pressure), está posicionado no coletor de admissão do motor e capta as mudanças de pressão conforme a variação dos regimes do motor. Este sensor é utilizado para que a ECU possa estimar a quantidade de massa de ar que foi admitida pelo motor (Bosch, 2004).

Com a informação o módulo:

- Determina o tempo de injeção de combustível.
- Determina a aplicação de estratégias como cut-off e dashpot.
- Determina o avanço de ignição.

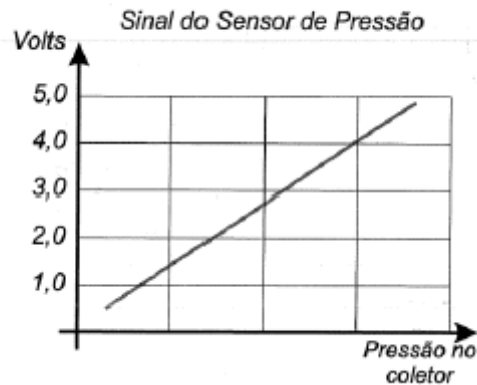


Imagem 21 - Sinal do sensor de pressão absoluta. (GLEHN, 2001).

5.2.3.3 Sensor de massa de ar

O sensor de massa de ar (MAF) informa a ECU a quantidade aproximada de massa de ar que irá para dentro do cilindro, essa quantidade é enviada a ECU em forma de sinal analógico, a partir dessa informação, a estratégia de gerenciamento calcula a carga do motor, determinando a quantidade de combustível a ser injetada para no regime de funcionamento que o motor se encontra. Com auxílio do sensor MAP é possível ter uma maior precisão da massa a ser admitida e através da fórmula a ECU calcula o fluxo de ar:

$$Fluxo = n * \frac{pressão}{R * temperatura} * cilindrada * \frac{rpm}{120}$$

Este sensor fica localizado no coletor de admissão, entre o filtro de ar e o corpo de borboleta.

5.2.3.4 Sensor de posição da borboleta

Este sensor informa a ECU a posição angular da válvula borboleta, através da variação de um sinal de tensão. É basicamente constituído por um potenciômetro circular cujo cursor é solidário ao eixo do TPS (Throttle Position Sensor). A borboleta é comandada pelo motorista

através do pedal do acelerador, e é responsável por regular a passagem de ar que irá para dentro da câmara de combustão. (Bosch, 2004).

O potenciômetro possui uma trilha de material resistivo. Sobre ele desliza uma haste solidária ao eixo que se deseja saber a posição. Quando a haste percorre a trilha, a resistência elétrica medida entre a haste e o final da trilha varia de acordo com a sua posição (LAZARINI et al, 2009).

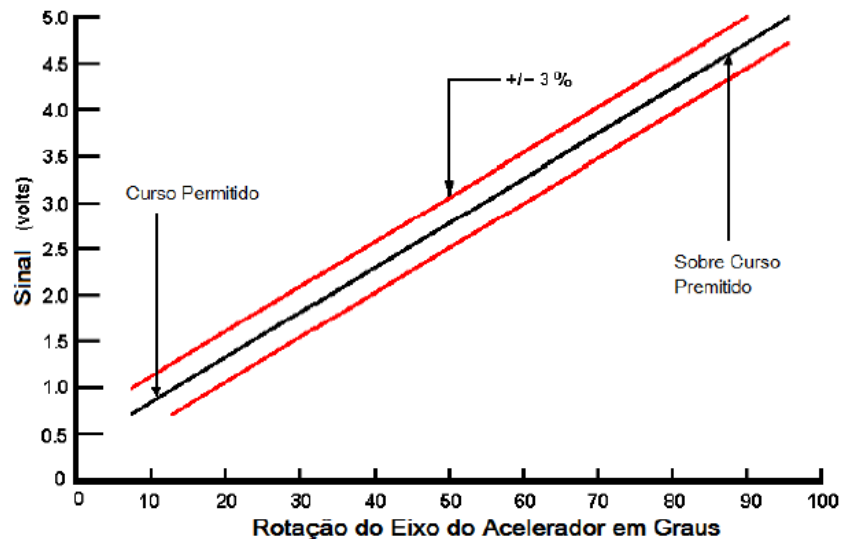


Imagem 22 - Gráfico do sensor de posição da borboleta. (Daniel Alvarez e Fabrício Froes)

Com os dados fornecidos pelo sensor a ECU faz os seguintes cálculos:

- Marcha lenta.
 - Avanço de ignição.
 - Quantidade de combustível injetado em acelerações e desacelerações.
- (GLEHN,2001).

5.2.3.5 Sensor de oxigênio (lambda)

O sensor de oxigênio, também conhecido popularmente como sonda lambda é capaz de medir a concentração de oxigênio presente nos gases de uma exaustão, esse fator lambda é usado para correção da quantidade de combustível a ser injetada no próximo ciclo. Com base nessa informação a ECU calcula através da formula:

$$\lambda = \text{Mistura Ar/combustível ideal} / \text{Mistura de ar combustível injetada}$$

E através desse cálculo a ECU corrige o valor de combustível injetado para sempre aproximar o fator lambda(λ) de 1.

Existem dois tipos de sensores de oxigênio, sua diferença está basicamente na precisão do sinal. O sensor mais utilizado atualmente é o EGO (*Exhaust Gas Oxygen*), esse sensor é de banda estreita (*Narrow Band Lambda Oxygen*), ou seja, sua precisão é menor em relação o UEGO (*Universal Exhaust Gas Oxygen*), um sensor de banda larga (*Wideband Lambda Sensor*), ou seja, tem maior precisão e com isso a ECU pode calcular melhor o seu fator de correção.

Os sensores apresentados acima possuem uma curva de calibração que varia de acordo com a temperatura, que ocorre em temperaturas menores que 300°C, a partir das quais os óxidos aplicados ao sensor conduzem elétrons livres presentes no O₂ (Pujatti, 2007).

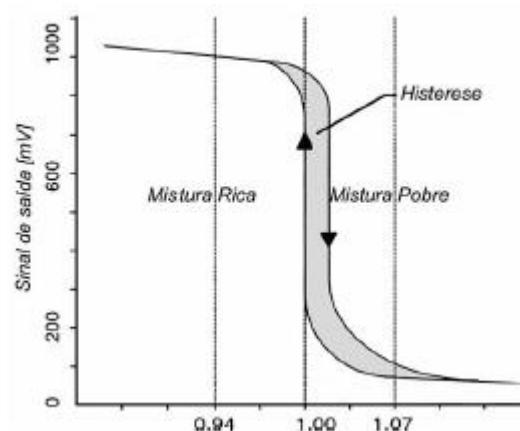


Imagem 23 – Valores de estequiometria de acordo com o sinal do sensor de oxigenio. (Bosch)

O fator lambda trabalha próximo a 1, onde representa uma mistura estequiométrica, porém valores acima de 1 representam uma mistura pobre, ou seja, a maior concentração de ar do que combustível, já em valores menores que 1 representam uma mistura rica, ou seja, uma maior concentração de combustível do que de ar.

5.2.3.6 Sensor de rotação

O sensor de rotação trabalha em conjunto a uma roda dentada de 60-2 dentes (falha de 2 dentes) fixada no eixo da árvore de manivelas do motor. A falha dos 2 dentes serve para dar referência angular da árvore de manivelas à ECU. Quando essa falha passa na frente do sensor, a ECU reconhece que o 1º cilindro do motor estará em PMS após a passagem do 14º dente, onde o mesmo terá que receber a centelha pois estará na fase de ignição. A figura abaixo mostra como o componente está fixado na maioria dos veículos que utilizam o sistema de injeção eletrônica.

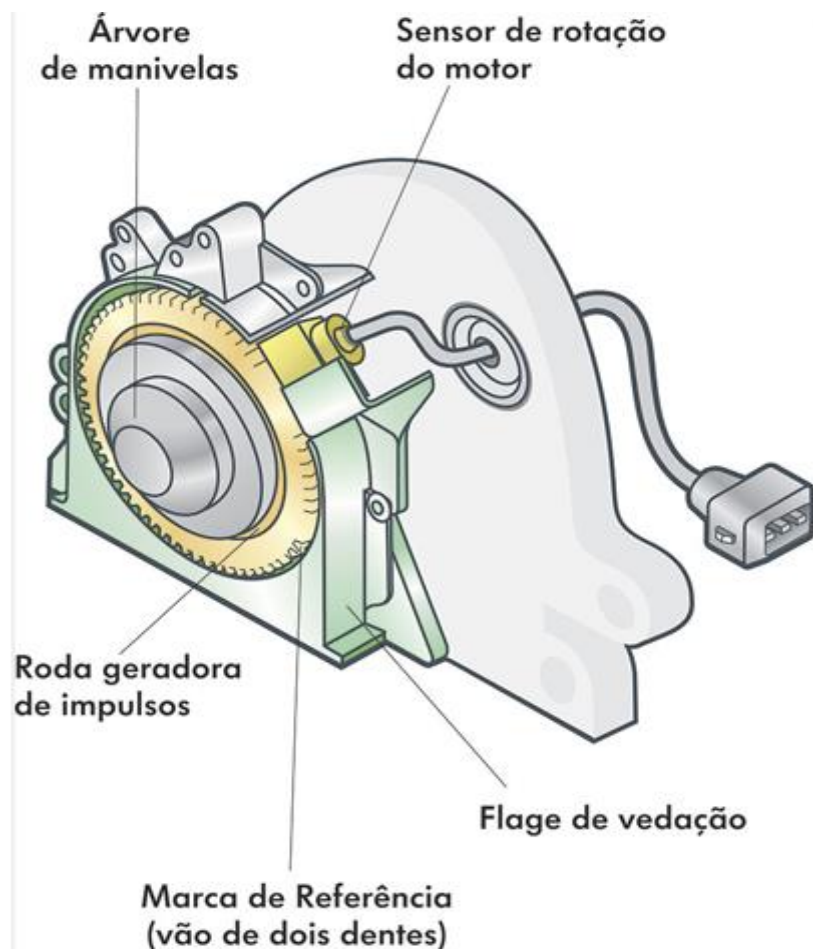


Imagem 24 - Funcionamento do sensor de rotação. (Bosch)

A roda fônica pode ser aplicada em todos os motores, sendo independente do número de cilindros que o mesmo possui, o que é alterado é a estratégia de ECU, pois terá que adequar os ângulos (sua referência) para cada tipo de motor.

Um motor 4 cilindros por exemplo, têm intervalos de ignição de 180° ($720^\circ/4$ cilindros) neste caso a divisão dos 60 dentes da roda fônica pelos 4 cilindros resulta em um intervalo de 15 dentes, o que significa 90° de deslocamento angular na árvore de manivelas. Em motores 3 cilindros a ignição ocorre num intervalo de 340° e a divisão dos 60 dentes pelos 3 cilindros resulta em 20 dentes, ou seja, resulta em um deslocamento angular de 120° da árvore de manivelas. Nos casos de motores de 2 a 12 cilindros, o único número não inteiro obtido pela divisão dos 60 dentes pelo número de cilindros, ocorre para motores de 8 cilindros pois o resultado é de 7,5 dentes, o que corresponde a um deslocamento angular de 45° . A imagem abaixo demonstra a roda fônica aplicada no projeto, como se trata de um motor monocilíndrico o intervalo de ignição ocorre a cada 720° , ou seja, a cada duas voltas da árvore e manivelas.

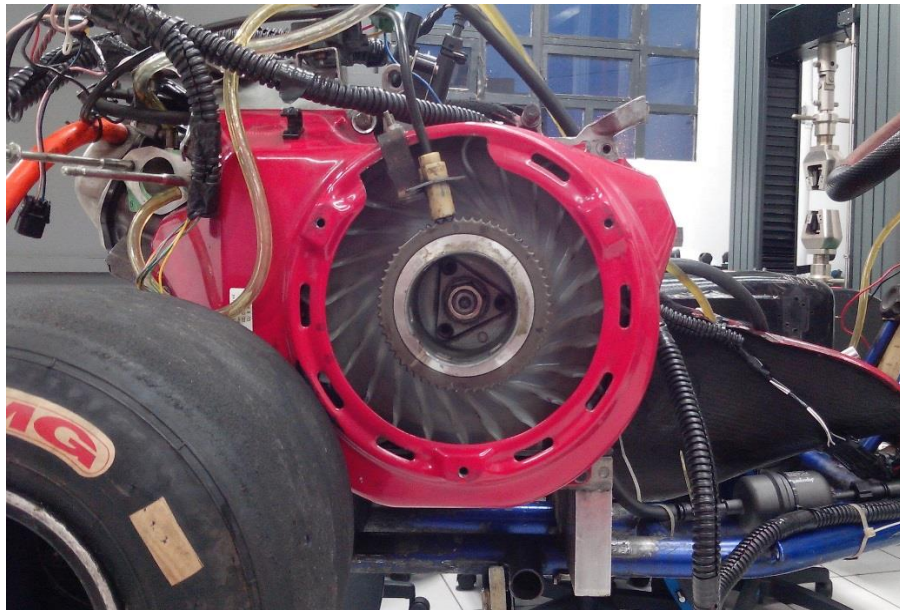


IMAGEM 25 - REFERÊNCIA EM RELAÇÃO A RODA FÔNICA DO SENSOR DE ROTAÇÃO.

Para captar a rotação da roda fônica, são utilizados dois tipos de sensores:

- Indutivo

Esse sensor caracteriza-se por produzir um sinal de onda senoidal:

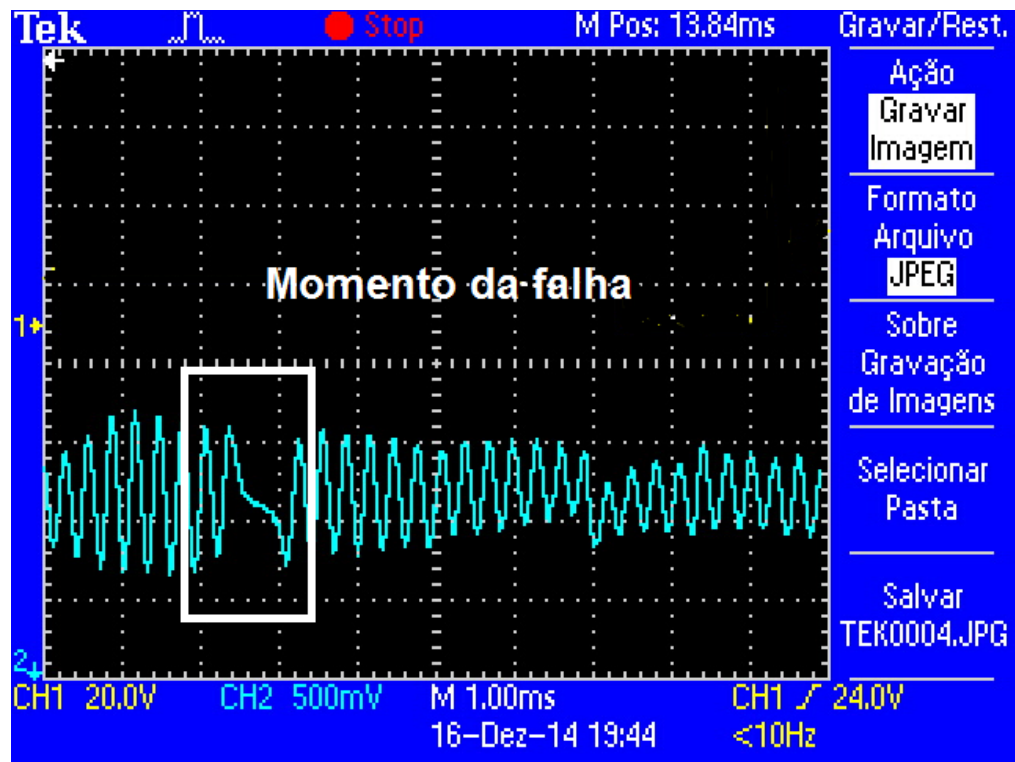


IMAGEM 26 - GRÁFICO DO SENSOR DE ROTAÇÃO INDUTIVO (FROES, 2011)

Esse sensor é chamado de indutivo porque forma um sinal de tensão tendo como base a variação da intensidade de um fluxo magnético, por esse motivo, também é conhecido como sensor de relutância magnética.

Este sensor não precisa ser alimentado pois sua composição consiste em uma bobina que envolve um núcleo magnético, onde a passagem dos dentes da roda fônica provoca a variação do campo magnético, que será captado pela bobina e enviado a ECU, onde será condicionado para uma onda quadrada.

•

- Hall

Esse sensor caracteriza-se por produzir um sinal de onda quadrada.

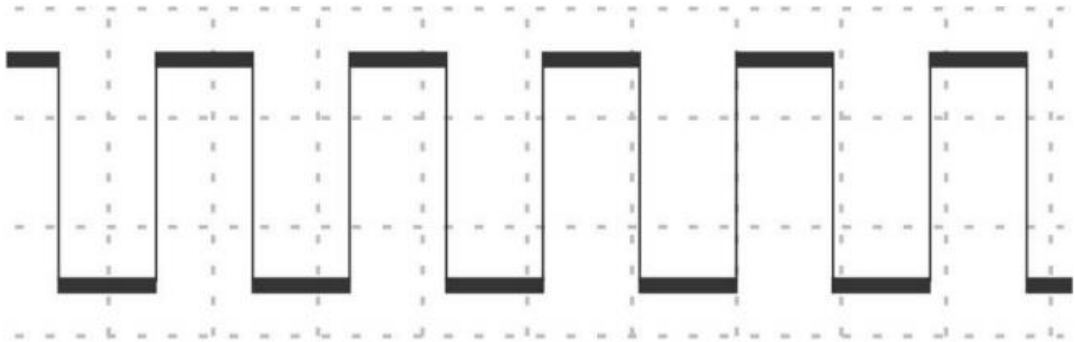


IMAGEM 27 - GRÁFICO DO SENSOR HALL

Esse sensor utiliza o princípio do efeito Hall para produzir o seu sinal, basicamente quando um semicondutor, percorrido por uma corrente elétrica, é exposto a um campo magnético, uma diferença de potência (*DDP*) aparece entre suas extremidades. Então quando os dentes da roda fônica passam pelas linhas de campo geradas no sensor, geram uma *DDP* que é amplificada pelo circuito eletrônico e enviada a ECU, vale lembrar que esse sinal não precisa de condicionamento, por estar em onda quadrada. A partir da monitorização do sinal elétrico enviado pelo sensor, a ECU é capaz de determinar a rotação e o PMS. (Continental, 2014).

Como a característica do sensor é possuir uma corrente passando pelo seu material semicondutor, o mesmo precisa ser alimentado pela ECU, trabalhando diretamente com 12 volts ou 5 volts de acordo com seu modo construtivo.

5.2.4 Atuadores

Através dos cálculos feitos pela ECU a partir da informação dos sensores, a ECU comanda de acordo com a estratégia e regime do motor os atuadores, que iram atuar para o bom funcionamento do motor.

5.2.4.1 Válvulas Injetoras

São responsáveis por injetar o combustível para o motor, a ECU controla o seu tempo de acionamento para dosar a quantidade. Através de uma linha de combustível pressurizada, quando seu acionamento ocorre, a pressão faz com que o combustível flua pelo injetor indo para o coletor de admissão no caso de uma injeção indireta, ou para dentro da câmara de combustão no caso de uma injeção direta.

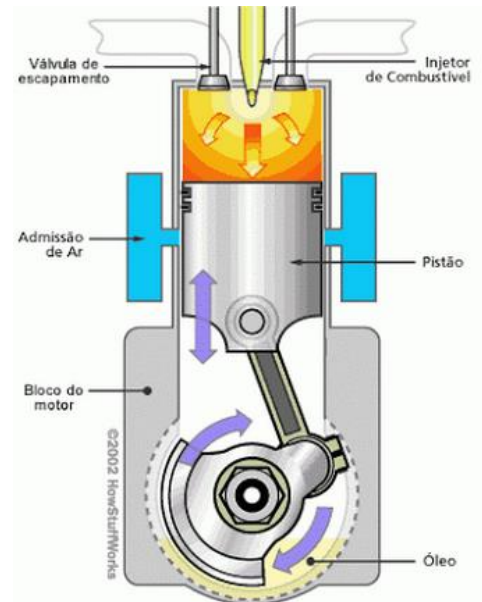
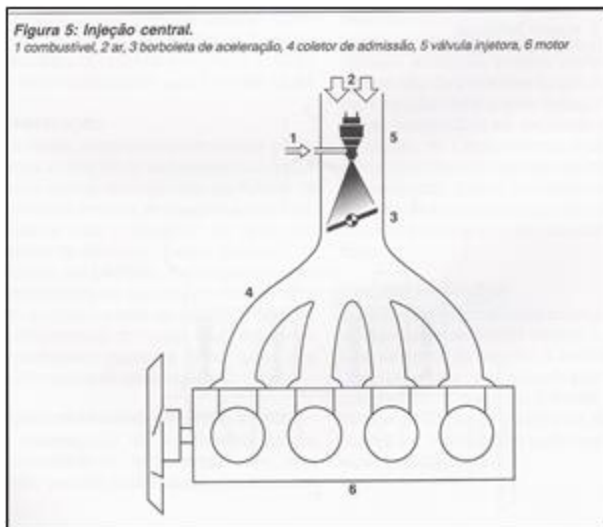


IMAGEM 28 - SISTEMA DE INJEÇÃO INDIRETA E INDIRETA.

5.2.4.1.1 Características

É uma peça eletromecânica revestida por metal ou plástico em sua estrutura e que internamente se constitui de um mecanismo eletromagnético, no qual o seu funcionamento ocorre através de uma agulha ou pistão, que é deslocado por meio do campo magnético gerado por uma bobina energizada a comando da ECU. (Froes, 2014).

Para o dimensionamento de uma válvula injetora, deve-se prever a potência que pretendemos atingir, com esse valor estipulado, aplicamos a formula abaixo:

$$\Rightarrow \text{Lb/h} = \frac{P * \text{BSFC} * \text{IDC}}{1}$$

Onde:

- P = Potência do motor
- BSFC = Consumo específico por cilindro
- IDC = Duty cycle do injetor

- I = Número de injetores a utilizar

5.2.4.1.2 Tipos

As válvulas injetoras possuem várias características, tudo depende de onde será aplicado, suas particularidades estão entre o tipo de leque a ser formado com a passagem de combustível, sua impedância e sua pressão de trabalho.

Os leques formados pela válvula injetora são dimensionados de acordo com as características do motor: quantidade de válvulas, posicionamento no coletor ou no bloco.

Geometria dos jatos

a jato em linha, b jato cônico, c jato duplo, d ângulo gama.

Definição da geometria do jato:

α_{80} : 80% do combustível encontra-se dentro do ângulo α

α_{50} : 50% do combustível encontra-se dentro do ângulo α

β : 70% do combustível no jato individual encontra-se dentro do ângulo β

γ : ângulo da direção do jato

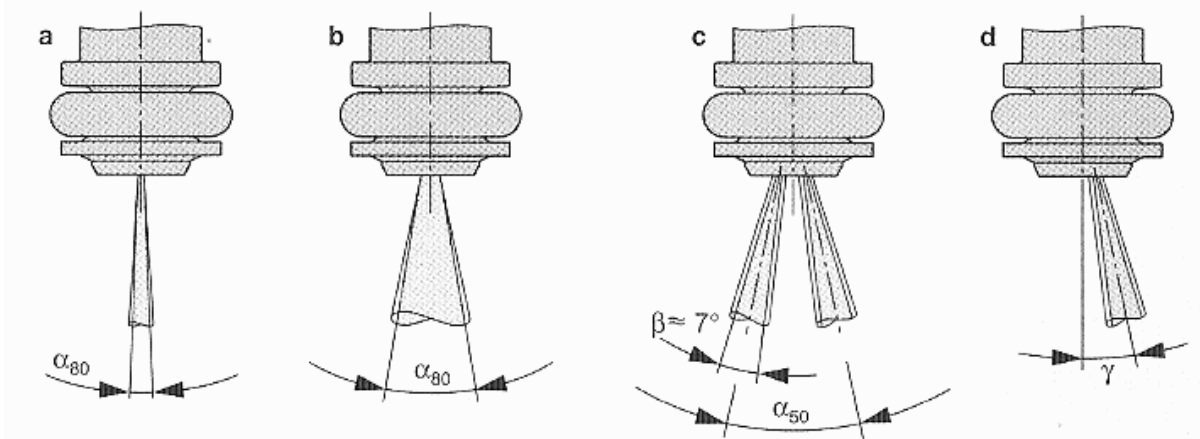


IMAGEM 30 - LEQUES DAS VÁLVULAS INJETORAS. MOISÉS E RODRIGO

Os jatos do tipo cônico geralmente são empregados em motores que possuem uma válvula de admissão por cilindro, seu leque é formado a partir da junção dos jatos de saídas provenientes dos seus orifícios.

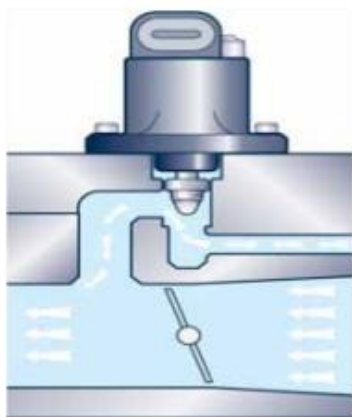
As válvulas injetoras que possuem leque duplo são destinadas a motores com mais de duas válvulas de admissão por cilindro, evitando que o combustível entre em contato com as paredes do coletor.

5.2.4.2 Bobina de ignição

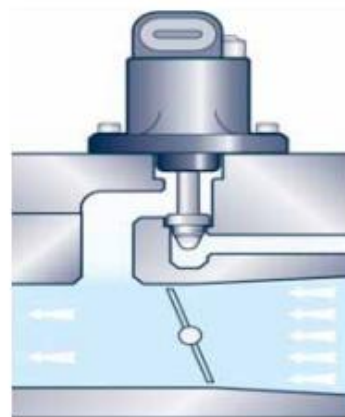
A bobina de ignição é o componente responsável pela geração da alta tensão que produza a faísca na vela. Seu funcionamento é igual a de um transformador elevador, composto internamente de um enrolamento primário, com menos espiras e o enrolamento secundário com mais espiras, essa relação entre os números dos enrolamentos pode elevar a tensão em alguns casos para 20kv.

5.2.4.3 Atuador de marcha lenta

O atuador de marcha lenta, ou motor de passo, é responsável por controlar a marcha lenta através da entrada de ar no motor, funcionando como uma válvula. Ele é constituído basicamente de um motor de passo com um eixo que avança ou recua conforme os comandos da ECU. Esse movimento abre ou fecha uma passagem de ar no coletor de admissão chamada de by-pass, conforme o regime de funcionamento do motor.



By pass aberto



By pass fechado

IMAGEM 31 – ATUADOR DE MARCHA LENTA. (VDO, 2014)

5.2.4.4 Bomba de combustível

A bomba de combustível tem a função de pressurizar a linha de combustível, garantindo uma pressão constante, consequentemente uma vazão constante das válvulas injetoras para o bom funcionamento do veículo. O combustível é enviado ao tubo distribuidor onde estão fixadas as válvulas injetoras, a bomba fornece mais combustível do que o necessário, a fim de manter no sistema a pressão necessária para todos os regimes de funcionamento do motor, o excedente retorna ao tanque

5.2.4.4.1 Características

O princípio da injeção eletrônica baseia-se em variar o volume de combustível injetado mantendo-se a pressão diferencial de combustível constante, variando o tempo de abertura das válvulas injetoras a cada rotação. (Froes, 2014)

Para o dimensionamento da bomba de combustível, é necessário, assim como nos injetores, saber a potência estimada do motor para que seja feito o cálculo através da fórmula abaixo:

$$Lb/s = (P \cdot BSFC) \cdot (1 + S)$$

Onde:

- P = Potência do motor (HP)
- BSFC = Break specific fuel consumption – Consumo específico do motor.
- S = Margem de segurança

O BSFC é um parâmetro verificado em testes do motor, que expressa em Lb/s a quantidade necessária de combustível que o motor necessita por HP. A margem de segurança é calculada para o ciclo máximo de trabalho do motor, geralmente 20% a mais do que o valor calculado.

5.2.4.4.2 Tipos

Existem dois tipos de bombas de combustível:

A interna, ou seja, fica imersa no combustível, dentro do tanque. Evitando a perda de pressão caso o nível do tanque esteja baixo, além de manter a pressão constante em aclave ou declive por causa da fácil captação do líquido carburante.



IMAGEM 32 - BOMBA INTERNA. (WEB)

A externa, fixada no chassi do veículo, e aspira o combustível através de um tubo coletor dentro do tanque. Esse tipo de bomba é pouco utilizada atualmente, pois não é eficiente na captura do combustível, ocasionando perdas de pressão na linha.

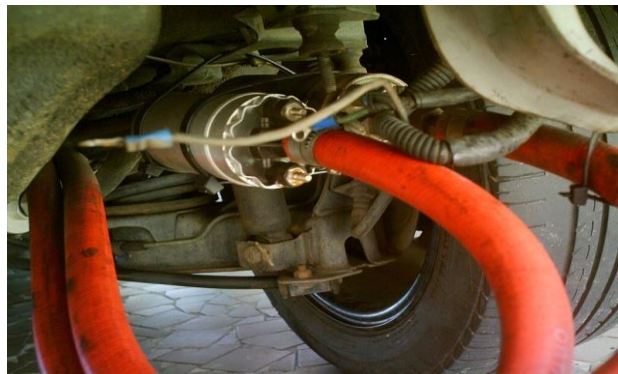


IMAGEM 33 - BOMBA EXTERNA (FRÓES, 2014)

5.3 Sistema de ignição

A combustão da mistura ar e combustível nos cilindros resulta em energia, para produzir a combustão é necessária uma faísca elétrica para inflamar essa mistura. (Bíblia do Carro)

O sistema de ignição, com platinado ou eletrônico, tem a função de produzir faísca com potência suficiente para realizar uma combustão adequada. (Bosch – 2004)

Cada cilindro possui uma vela de ignição que está fixada no cabeçote do motor e sua extremidade está posicionada dentro da câmara de compressão. Quando a tensão elétrica é fornecida às velas, há um rompimento do dielétrico, onde a tensão salta através do espaço entre os eletrodos em forma de faísca, gerando uma energia suficiente para inflamar o combustível.

5.3.1 Sistema de ignição com platinado

O sistema representado pela figura abaixo, a distribuição da centelha é feita através do distribuidor. O eixo do distribuidor está ligado ao eixo do comando de válvulas, entrando em sincronismo com o motor. O platinado é basicamente uma chave, que fecha contado com o cabo de vela liberando a centelha para o cilindro.

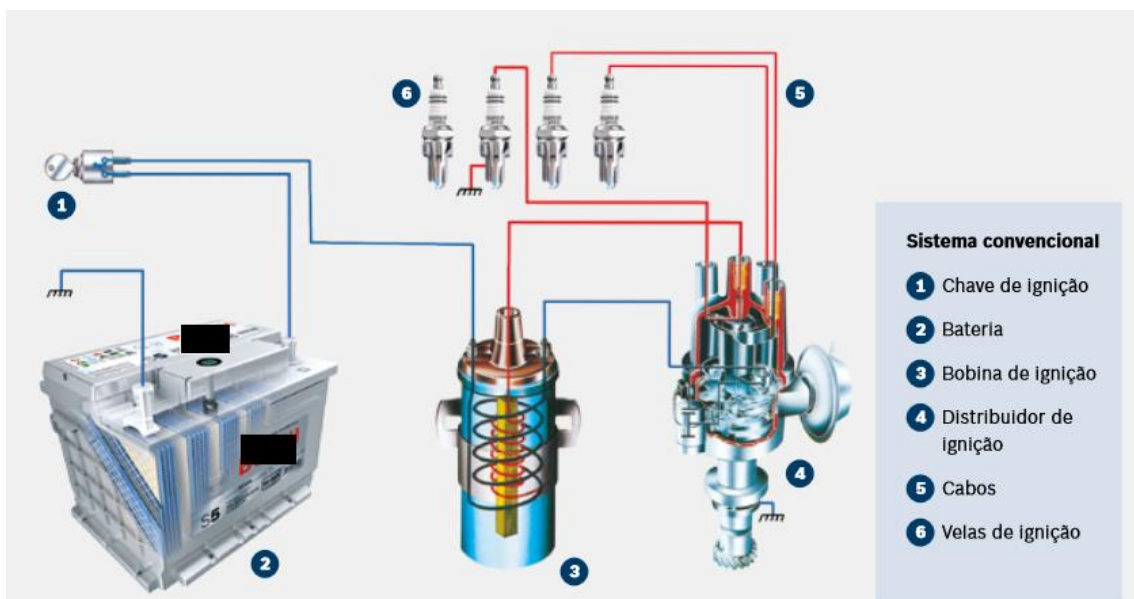


IMAGEM 34 - SISTEMA DE IGNIÇÃO COM PLATINADO. (BOSCH)

5.3.2 Sistema de ignição eletrônica

Neste sistema o módulo eletrônico aciona a bobina de ignição ajustando o avanço de ignição de acordo com a rotação. Uma outra vantagem deste sistema é que ele não utiliza platinado e condensador que são os principais causadores do desajuste do sistema de ignição.

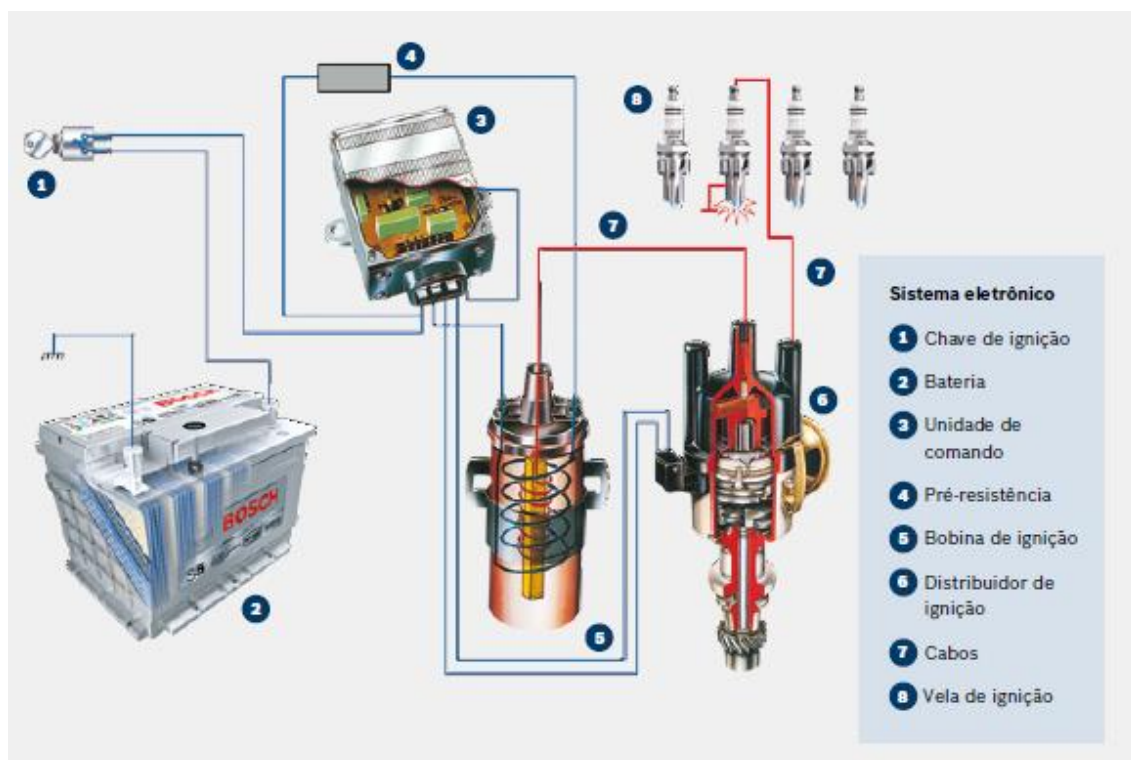


IMAGEM 35 - SISTEMA DE IGNIÇÃO ELETRÔNICA. (BOSCH)

5.3.3 Bobina de ignição

A bobina de ignição é o componente responsável pela geração da alta tensão que produza a faísca na vela. Seu funcionamento é igual a de um transformador elevador, composto internamente de um enrolamento primário, com menos espiras e o enrolamento secundário com mais espiras, essa relação entre os números dos enrolamentos pode elevar a tensão em alguns casos para 20kv.

O sistema da imagem (36) demonstra um sistema acionado por um interruptor mecânico, chamado de platinado, chaveando o acionamento da bobina. Já nos sistemas atuais o tempo de carga da bobina é controlado pela ECU de forma transistorizada, permitindo o ajuste do tempo de carga da bobina (Dwell Time).

Existem três tipos de bobinas de ignição:

- Asfáltica – possui somente um conjunto primário e secundário.

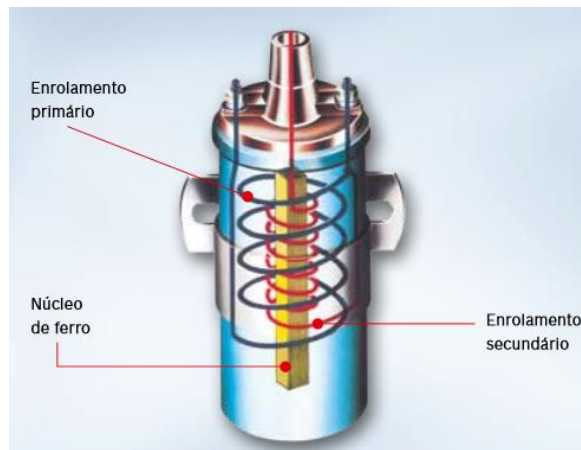


IMAGEM 36 - BOBINA DE IGNIÇÃO ASFÁLTICA. (BOSCH)

- Multifásica – possui dois ou mais conjuntos de primário e secundário. Gera centelha para dois cilindros simultaneamente.



IMAGEM 37 - BOBINA DE IGNIÇÃO MULTIFAÍSCA. (BOSCH)

- Tipo caneta – Individual para cada cilindro.

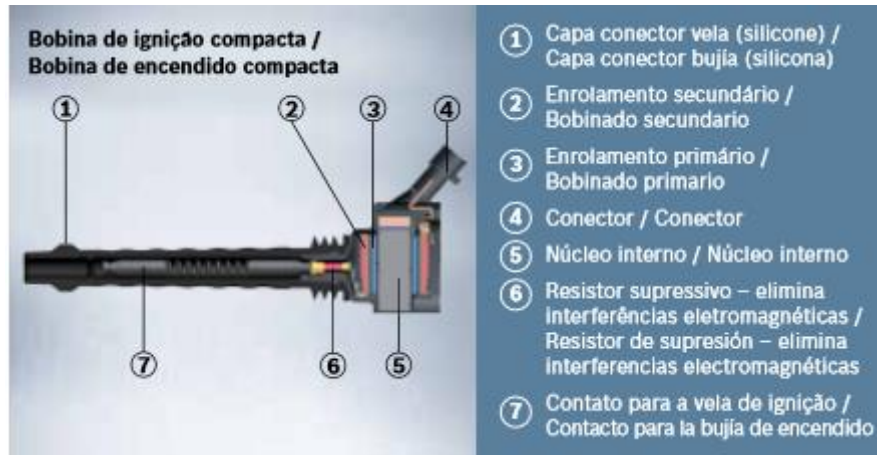


IMAGEM 38 - BOBINA DE IGNIÇÃO TIPO CANETA. (BOSCH)

5.3.4 Vela de ignição

Componente responsável por levar a alta tensão gerada pela bobina até a câmara de combustão, onde a diferença de potencial produzida entre seus eletrodos causa uma centelha, gerando a combustão. Composta por um corpo de aço e uma cerâmica isoladora.

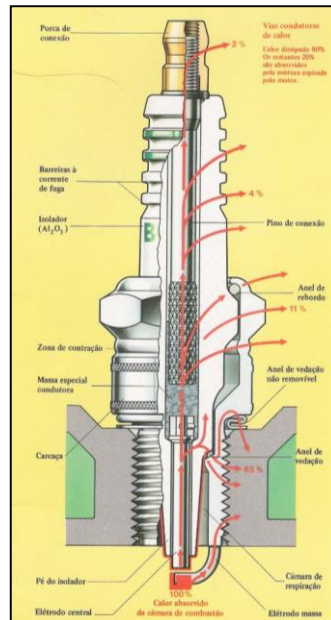


IMAGEM 39 – VELA DE IGNIÇÃO.

5.3.5 Bateria de chumbo ácido

A bateria fornece a eletricidade para o sistema de ignição, ao motor de arranque, às luzes, ao painel e ao restante dos equipamentos eletrônicos do automóvel.

A bateria é composta por placas de chumbo que reagem com o ácido, separadas por módulos, onde cada um fornece uma tensão em torno de 2 volts. A bateria automotiva possui 6 módulos ligados em série resultando na tensão de 12v.

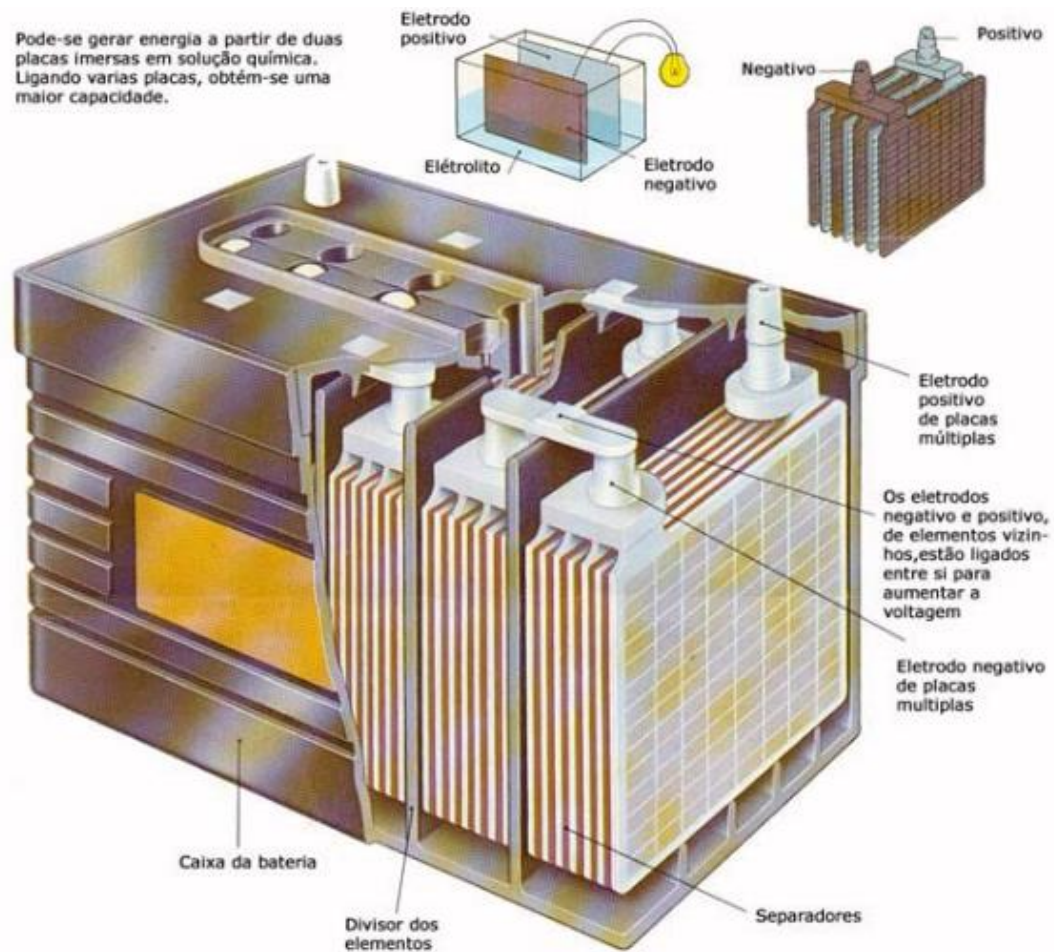


IMAGEM 40 – BATERIA DE CHUMBO ÁCIDO.

5.4 Avanço de ignição

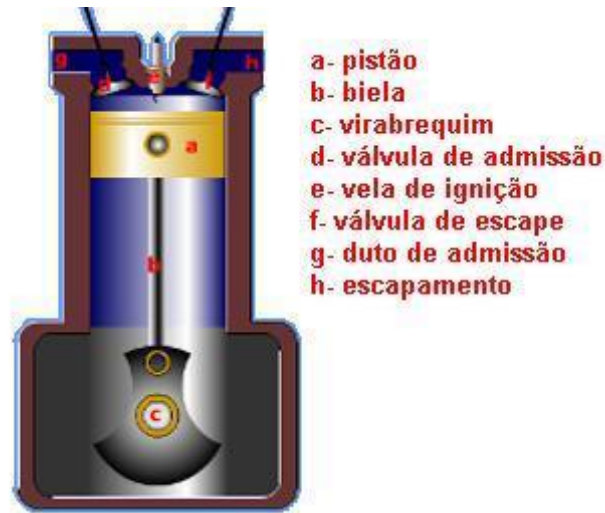


IMAGEM 41 – MOTOR EM CORTE -

(FONTE: [HTTP://WWW.IF.UFRGS.BR/~LEILA/MOTOR4T.HTM](http://www.if.ufrgs.br/~leila/motor4t.htm))

O ponto máximo da compressão ocorre quando o pistão atinge o ponto mais alto de seu curso. Nesse breve momento, a velocidade do pistão é igual a 0 (zero) e dizemos que ele está no Ponto Morto Superior (PMS). Para que se obtenha o máximo de eficiência da combustão, e consequentemente maior potência do motor, a pressão causada pela queima do combustível deve atingir seu máximo logo após esse ponto.

No entanto, a centelha gerada pela vela leva um pequeno tempo para se propagar por toda a mistura e, portanto, ela deve ocorrer um pouco antes do pistão chegar no Ponto Morto Superior. Esse pouco é medido em graus (considerando o movimento de rotação do eixo virabrequim) e assim temos que a centelha na vela é iniciada Antes do Ponto Morto Superior (APMS).

A velocidade de propagação da chama depende da composição da mistura e, para uma mesma composição, quanto maior a velocidade de rotação do motor (RPM), maior deve ser o grau de antecipação da centelha para que o momento de máxima pressão coincida com a passagem do pistão pelo Ponto Morto Superior. Quando a centelha ocorre após a passagem do pistão pelo Ponto Morto Superior a eficiência da combustão é menor e a força transmitida pela Biela ao Virabrequim diminui em relação ao máximo possível.

Esse controle, que é extremamente delicado para o funcionamento do motor, é geralmente feito pela Unidade de Controle do Motor (ECU, do Inglês Engine Control Unit , ou PCM - Powertrain Control Module) e é baseado em mapas que são construídos durante o seu desenvolvimento. Para cada condição de Rotação (RPM) e composição da Mistura (geralmente obtida a partir da informação da carga a que o motor está submetido) se obtém um valor de ângulo (chamado de avanço da ignição). Esse ângulo sofre ainda diversos ajustes para que se tenha a melhor condição de utilização, sem a ocorrência de efeitos que possam danificar o motor, tais como a ocorrência de pré-detonação da mistura.

A figura a seguir ilustra um mapa de ignição, com os valores de ângulos dependendo da rotação do motor (RPM) e da carga a que ele está sujeito. Trata-se de um exemplo obtido na internet e não se refere a um modelo específico.

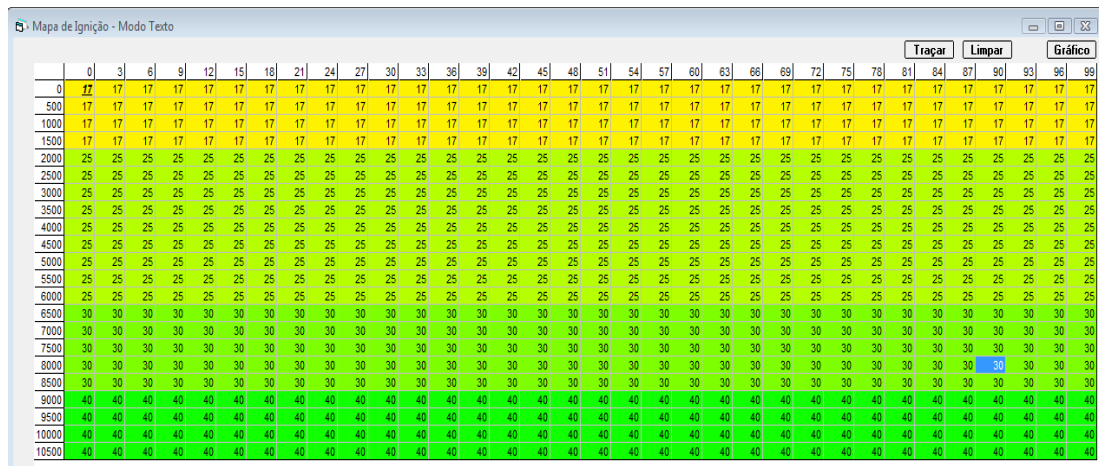


IMAGEM 42 - EXEMPLO DE MAPA DE IGNIÇÃO HIS

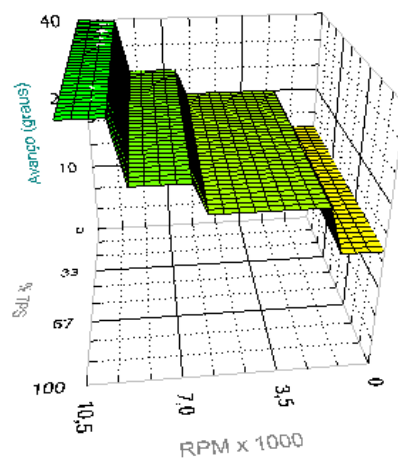


IMAGEM 43 - EXEMPLO DE MAPA DE IGNIÇÃO HIS MODO 3D

5.4.1 Influência do Ângulo da Ignição na pressão Interna

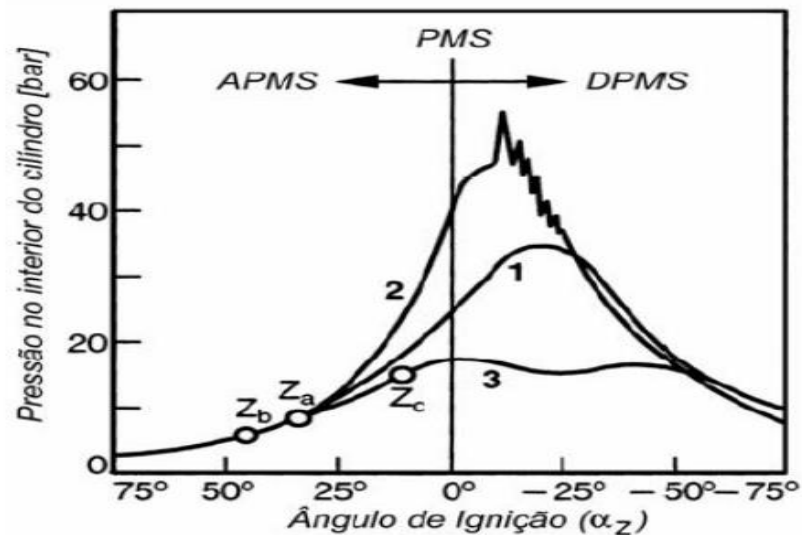


IMAGEM 44 – PRESSÃO EM RELAÇÃO AO DESLOCAMENTO ANGULAR - FONTE: BOSCH

Na curva 1 seria no ponto de ignição correto. Combustão controlada ocorre pela centelha da ignição, e se propaga até as paredes do cilindro. Na curva 2 Temos o efeito da pré-ignição, ou seja ocorre de forma adiantada. Na curva 3 temos a combustão de forma atrasada

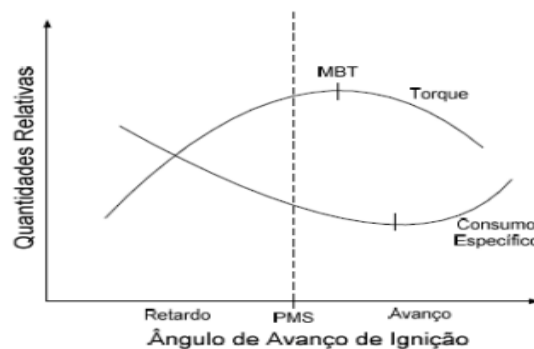


IMAGEM 45 – RELAÇÃO DO RETARDO E AVANÇO DE IGNIÇÃO COM CONSUMO E POTÊNCIA - FONTE: NOTAS DE AULA - DR.PROF. EDSON KITANI

Com mais ar que combustível, ou seja, mistura pobre, o combustível tem um tempo maior para queimar, sendo assim, com baixa carga é necessário adiantar a ignição. Mas quando temos a situação reversa, mais combustível que a ar, este leva menos tempo para queimar, e com carga alta é preciso reduzir o avanço da ignição

5.4.2 Knocking - Ignição espontânea

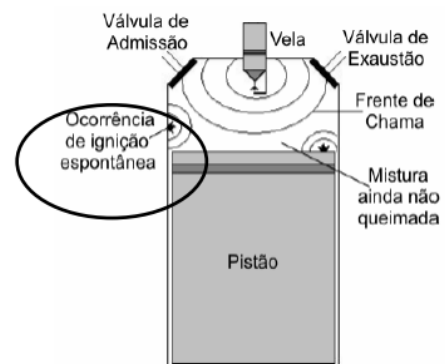
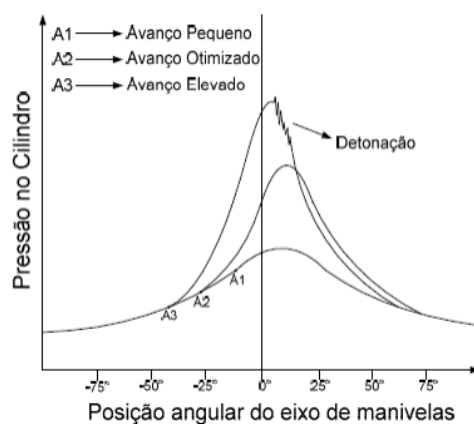


IMAGEM 46 – IGNIÇÃO ESPONTÂNEA - FONTE: NOTAS DE AULA - DR.PROF. EDSON KITANI

O avanço excessivo da ignição, gera uma frente de chama na direção das paredes do cilindro, sendo assim elevando a pressão e a temperatura, este feito pode ocasionar uma ignição espontânea se existir combustível não queimado na câmara de combustão.



IMAGEM 47– EFEITOS DA IGNIÇÃO ESPONTÂNEA - FONTE: NOTAS DE AULA - DR.PROF. EDSON KITANI

Com isso podemos perceber que é de grande importância que o avanço de ignição seja bem feito, pois podem ocasionar no empenamento e derretimento do êmbolo, erosão do cabeçote, deterioração da junta do cabeçote, quebra dos anéis.

6 Projeto prático



IMAGEM 48 – KART

6.1 Metodologia

A partir deste ponto do trabalho, vamos apresentar as análises do funcionamento do veículo com o seu sistema original de alimentação (carburado) e após a implementação do módulo de gerenciamento e adaptação dos sensores e atuadores.

6.2 Modulo programável HIS PW6X

Para o desenvolvimento do trabalho, foi utilizado o módulo HIS – PW6X com a função de gerenciar o motor GX390, este componente é indicado para aplicações profissionais onde a flexibilidade, precisão e confiabilidade e alto desempenho são requisitos imprescindíveis, porém, através deste trabalho, conhecendo dos os itens do motor, todas suas estratégias, torna-se uma tarefa fácil sua instalação, além de trazer benefícios ao meio ambiente, o que será o foco desde trabalho.

Este componente é dotado de uma interface serial RS232 que conectada a um computador, possibilita o controle on-line e de forma gráfica todas as suas funções graças ao software “HISwinXV” disponibilizado pelo fabricante, que pode ser facilmente instalado em qualquer plataforma Windows. O software possibilita a visão completa de todos os parâmetro sob controle do módulo PW6X, através dele, podemos fazer alterações nos mapas on-line, salvar as calibrações em arquivos e ler a programação armazenada no módulo. (HIS, 2014).

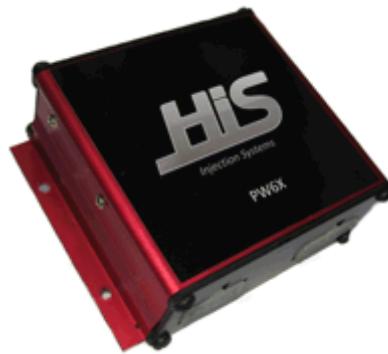


IMAGEM 49 – MÓDULO HIS PW6X

O módulo pode ser aplicado para sistemas com captação de rotação por roda fônica com “leitura” feita por sensor de rotação indutivo ou do tipo Hall, possui mapas de ajuste por rotação, TPS e MAP simultâneos, correções por temperatura de água e ar, uma saída para controle da ventoinha e uma saída para atuador de marcha lenta, controle de ignição, podendo trabalhar com modo de injeção monoponto ou multiponto (HIS, 2014). Na imagem abaixo podemos observar as entradas e saídas do componente.

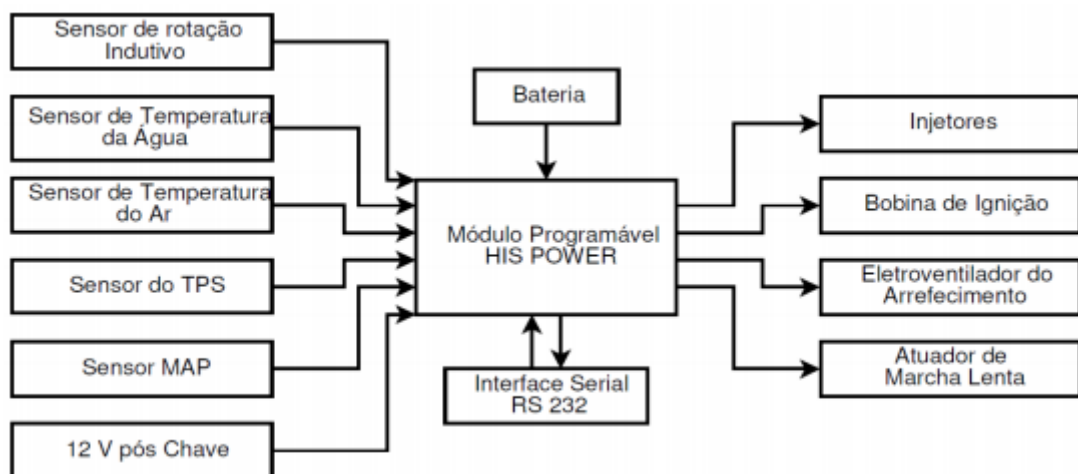


IMAGEM 50 – DIAGRAMA DE BLOCOS DO HIS PW6X

Porém o motor onde será empregado não irá usar o fator de correção obtido através da temperatura da água, pois o motor GX390 é um motor refrigerado a ar, por esse fato, a saída da ventoinha não será usada.

6.2.1 Chicote do módulo de gerenciamento eletrônico

O chicote do módulo HIS PW6X é dividido em duas partes, como demonstrado na figura abaixo:

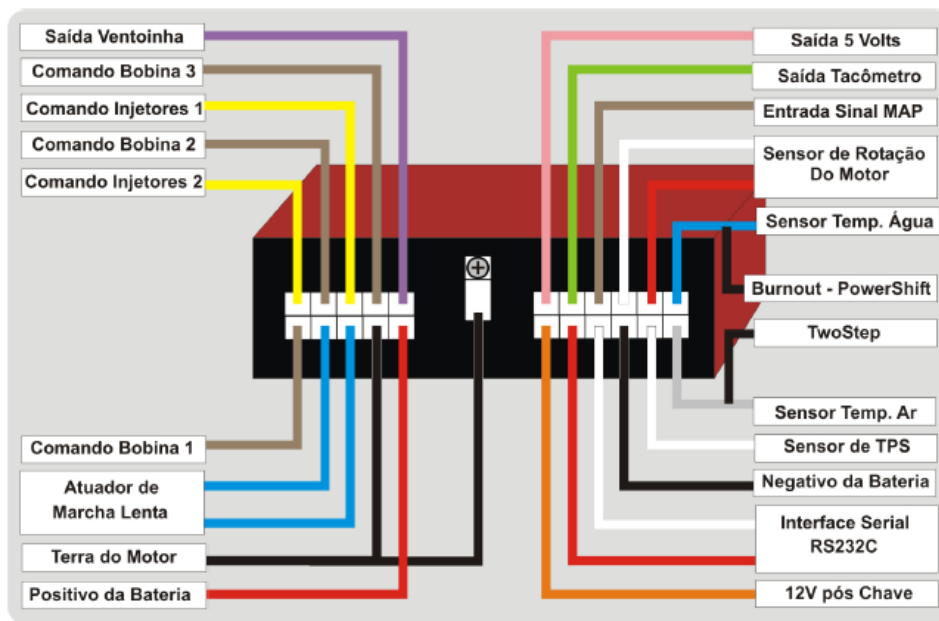


IMAGEM 51 – ESQUEMA ELÉTRICO DO MÓDULO HIS PW6X

Onde podemos identificar que do lado direito, foi designado para os atuadores, ou seja, a parte de potência, onde os sinais de saídas controlaram todos os atuadores necessários da injeção eletrônica. Já o lado esquerdo foi designado para ler os sinais produzidos pelos sensores necessários para a injeção eletrônica.

No projeto descrito nessa monografia, algumas saídas não foram ligadas, por se tratar de um motor monocilindro e refrigerado a ar, a imagem abaixo representa as saídas que foram utilizadas no motor GX390.

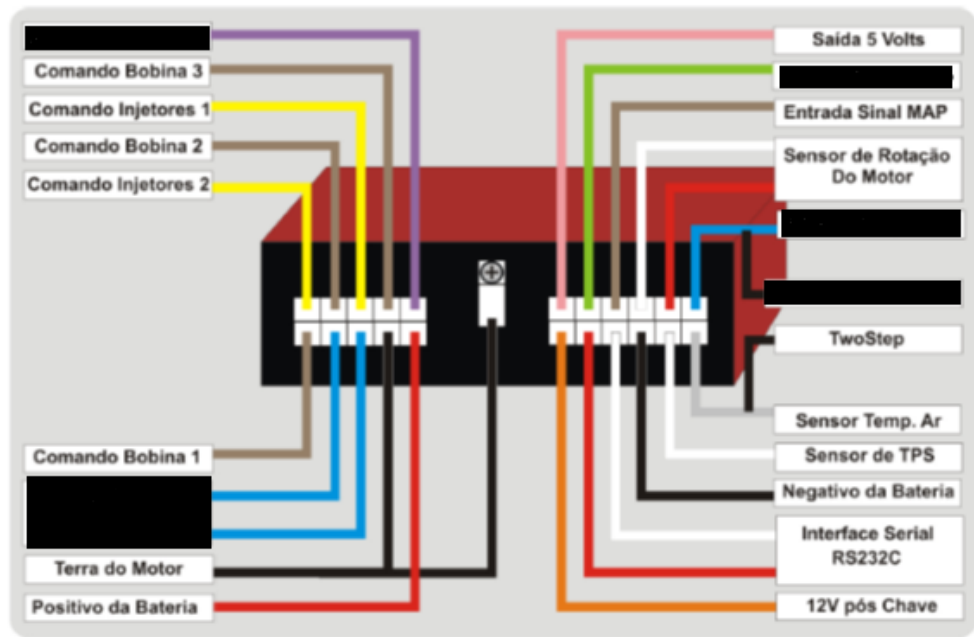


IMAGEM 52 – ESQUEMA ELÉTRICO DO MÓDULO HIS PW6X EDITADO

6.3 Estudo do Hardware

6.3.1 Motor GX390



IMAGEM 53 – MOTOR HONDA GX390 - (FONTE: [HTTP://WWW.HONDA.COM.BR/PRODUTOS-DE-FORCA/HONDA-PRODUTO-DE-FORCA/PAGINAS/MOTOR-ESTACIONARIO-GX390.ASPX](http://www.honda.com.br/produtos-de-forca/honda-produto-de-forca/paginas/motor-estacionario-gx390.aspx))

Em nosso Projeto estamos utilizando um motor originalmente desenvolvido para gerador ou em equipamentos agrícolas, utilizados na construção civil, como propulsores de pequenas embarcações e em miniveículos (kart). Na que apresenta as seguintes características:

6.3.1.1 Características

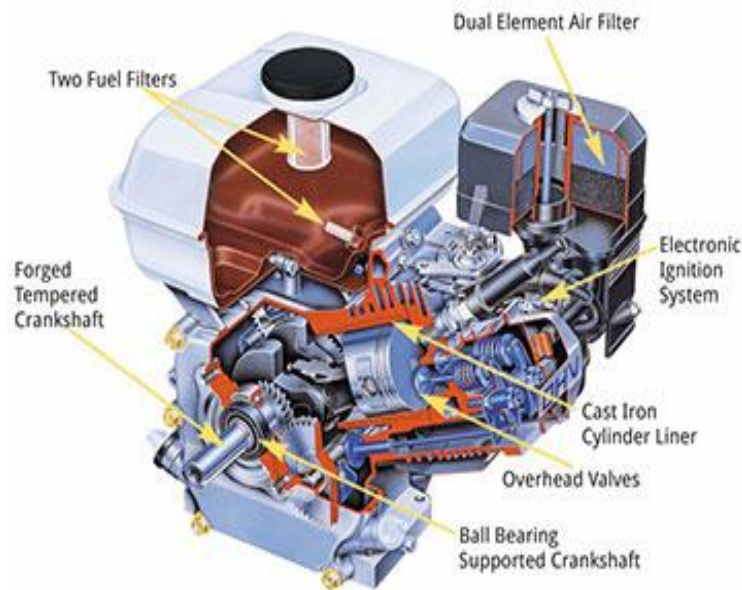


IMAGEM 54 – VISTA EXPLODIDA DO MOTOR GX390 - (FONTE: MANUAL HONDA)

- Motor 4 tempos, Monocilíndrico.
- Sistema de refrigeração a ar
- Volume de 389cc
- Sistema de partida manual
- Peso de 31,7 Kg
- Capacidade de óleo 1,1l
- Potência/rotação original: 13cv/3600
- Torque/rotação original: 11,7/3600
- Sistema de alimentação: Carburador

6.3.1.2 Sistema de Ignição



IMAGEM 55 – SISTEMA DE IGNIÇÃO DO MOTOR GX390 - (FONTE: [HTTP://BRASCREEN.WEBSTORELW.COM.BR/PRODUCTS/VOLANTE-ORIGINAL-31100-ZE3-701](http://BRASCREEN.WEBSTORELW.COM.BR/PRODUCTS/VOLANTE-ORIGINAL-31100-ZE3-701))

O sistema de ignição utilizado é o magneto transistorizado. Este sistema funciona da seguinte forma: A bobina de ignição é instalada próxima ao volante, e nesse volante existe um ímã que ao passar pela bobina gera uma tensão que será amplificada pela bobina e levada para a vela através dos cabos e assim gerando a centelha.

6.4 Alterações necessárias para o sistema de injeção eletrônicas

O sistema de injeção eletrônica é composto por uma unidade de controle para receber os sinais dos sensores e comandar os atuadores. Nesse projeto foi utilizado uma injeção eletrônica programável como unidade de controle, como sensores usamos o corpo de borboleta eletrônico (TBI), sensor MAP e de rotação. Esse sistema pode ser visualizado no esquemático abaixo:

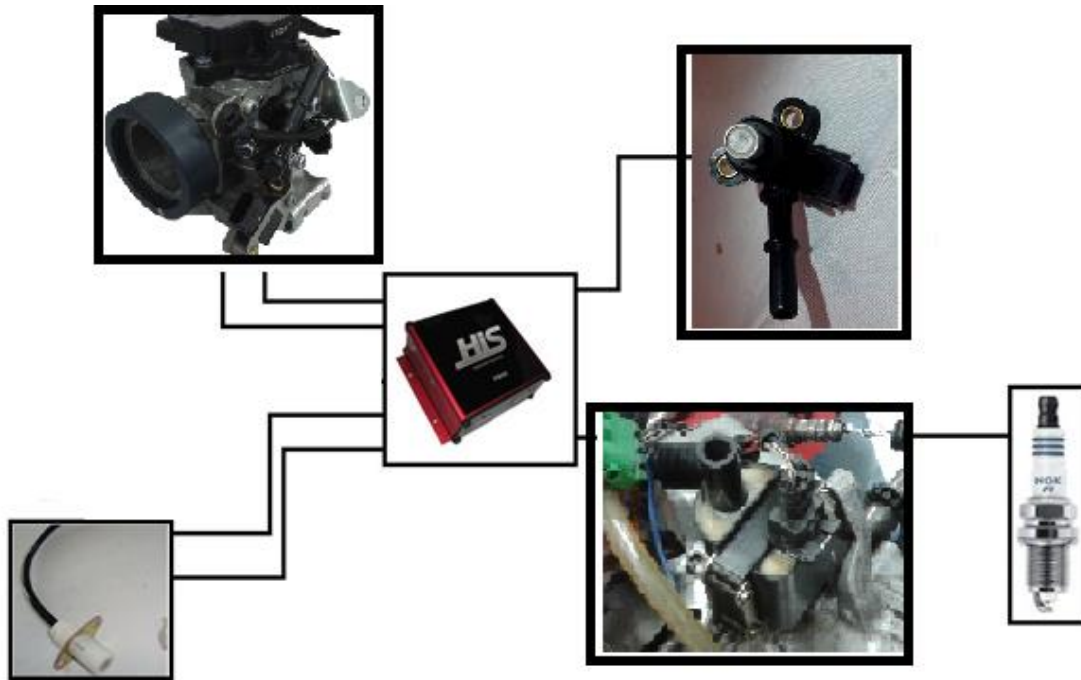


IMAGEM 56 – ESQUEMA ELÉTRICO ADAPTADO NO MOTOR

6.5 Componentes e Adaptações:

TBI (Throttle Body Injection): Para substituir o carburador foi utilizada o corpo de borboleta eletrônico da moto Honda CB 300, uma vez que o motor em projeto se trata de 390cc, onde foi preciso fazer uma peça de adaptação da TBI ao cabeçote e também para adaptar o filtro ao corpo de borboleta. A TBI é composta por 3 sensores integrados sendo eles: (MAP, TPS e temperatura do ar) e uma válvula injetora. Apesar do sensor MAP já estar integrado ao corpo de borboleta, foi preciso usar um sensor MAP a parte, pois o módulo não reconhece o MAP da TBI.



IMAGEM 57 - TBI INSTALADA AO CABEÇOTE

Sensor de rotação + Roda fônica: Como sensor de rotação foi utilizado o de tipo indutivo lendo uma roda fônica de 60-2 dentes. A roda fônica foi instalada com 15 dentes após a falha, sendo assim o décimo quinto dente em logo abaixo ao sensor de rotação, uma vez que é indicação do fabricante do módulo.



IMAGEM 58 - SENSOR DE ROTAÇÃO E RODA FÔNICA

Bomba elétrica de combustível externa: Para pressurizar a linha de combustível, adaptamos em nosso projeto uma bomba elétrica de combustível externa, gerando uma pressão de 2bar constante ajustada com o regulador de pressão. Este componente foi empregado pois oferecia uma maior facilidade na instalação, pois para adaptar uma bomba elétrica interna ao combustível traria grandes dificuldades, uma vez que o tanque de combustível possui um espaço muito pequeno e por não ter um apoio para que a bomba fica-se fixa, já a que foi adaptada ficou fixa no chassi do veículo, não oferecendo riscos ocorrentes por vibração ou deslocamento.

A bomba elétrica foi empregada pois a bomba original do sistema não fornece pressão o suficiente para pulverizar eficientemente o combustível através da válvula injetora, o que ocasionaria perda de potência e elevados níveis de poluição.



IMAGEM 59 – BOMBA ELÉTRICA – REGULADOR DE PRESSÃO – FILTRO DE COMBUSTÍVEL

Bobina de ignição: a bobina de ignição empregado no projeto é do tipo multifásica do tipo simples, ou seja, não possui o drive de potência interno. Essa bobina foi utilizada pois o módulo HIS PW6X já possui internamente o módulo de potência para bobina de ignição.



Imagem 60-Bobina utilizada

Injetor utilizado: Possui um leque de forma cônica, seu formato é próprio para motores que possuem uma válvula de admissão, o formato do seu leque evita que o combustível entre em contato com as paredes do coletor de admissão, evitando que o mesmo condense. As imagens abaixo representam o injetor utilizado, a distribuição dos furos e o uma representação do leque formado com a passagem de combustível.

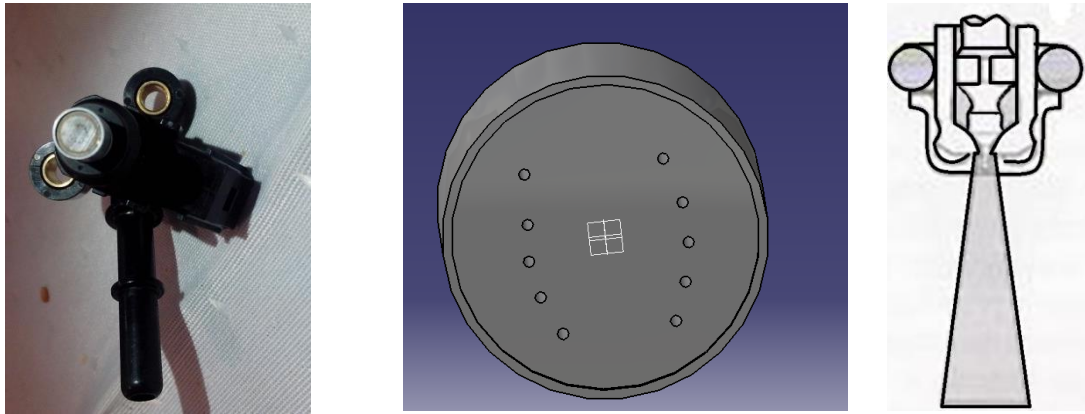


IMAGEM 61 – INJETOR – FUROS DO INJETOR – REPRESENTAÇÃO DO LEQUE.

Chicote elétrico: algumas saídas do módulo HIS PW6X não foram utilizadas para adaptação da injeção eletrônica no motor GX390, pois se trata de um motor de monocilindro e que possui uma refrigeração a ar. O chicote foi dimensionando para ficar preso no chassi do veículo (Kart) e isolado, a fim de garantir a integridade do chicote, evitar interferências e possíveis curtos-circuitos. As imagens abaixo representam a disposição das saídas e o esquema elétrico empregado no veículo.

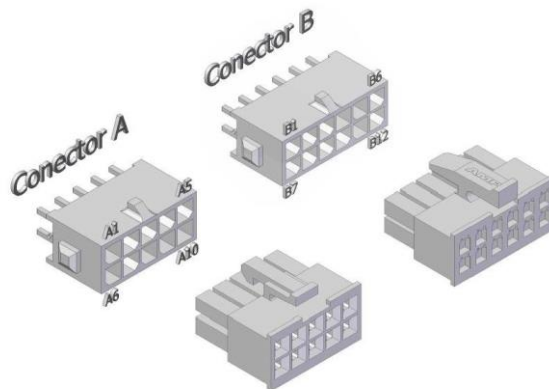


IMAGEM 62 – CONECTORES DO MÓDULO HIS PW6X

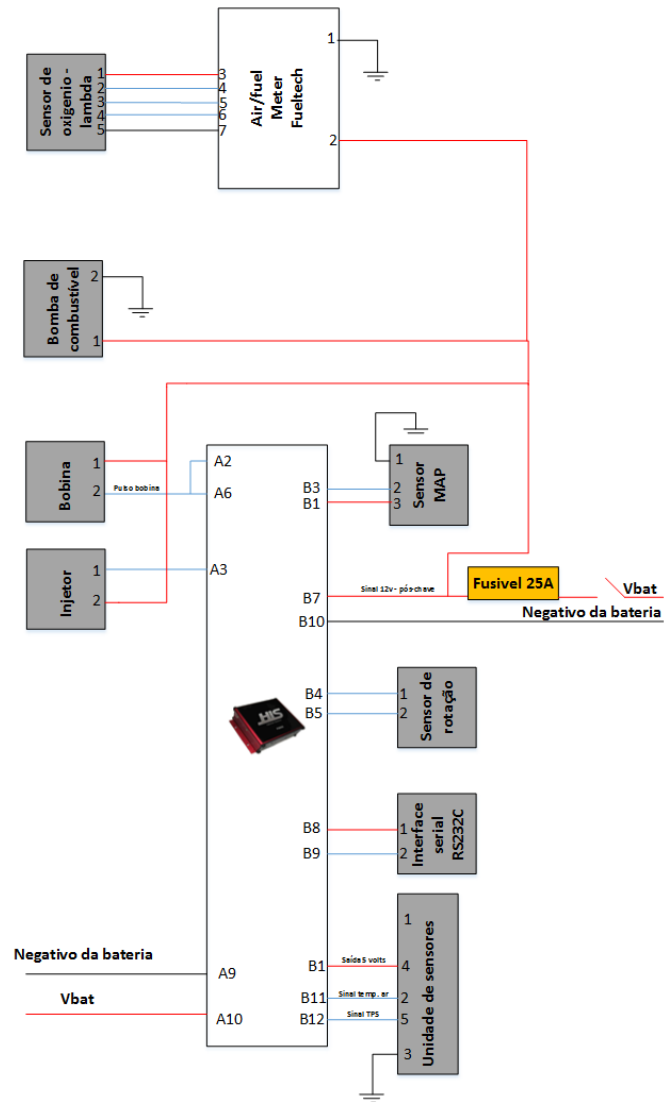


IMAGEM 63 – ESQUEMA ELÉTRICO DO VEÍCULO KART

Para que ocorra a centelha as saídas 1,2 de bobina foram curto-circuitada, onde esta informação não estava no manual, sendo assim, dificultando a instalação do sistema.

6.5.1 Gerenciamento eletrônico

O mapa gerenciamento do motor é gerado através do software HISwinXV 2.0 fornecido pelo próprio fabricante do módulo de gerenciamento programável HIS.

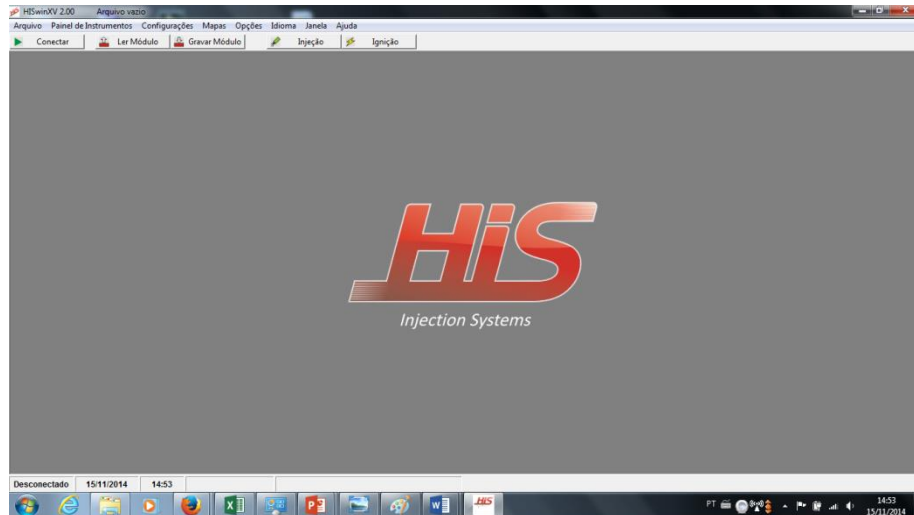


IMAGEM 64– SOFTWARE HISWINXV 2.0

O software é uma interface do calibrador com o motor, onde é possível fazer ajustes nos mapas de avanço de ignição e tempo de injeção em tempo real, com o motor ainda em funcionamento.

Os mapas de gerenciamento do motor GX390 foi desenvolvido com auxílio de um equipamento de análise de gases AVL Dicom, onde o fator lambda foi o ponto crítico para o processo de calibração, pois os valores dos mapas eram inseridos conforme o fator lambda apresentado, que para melhor eficiência da combustão situa-se em 1.

A imagem abaixo demonstra o mapa de injeção aplicado.

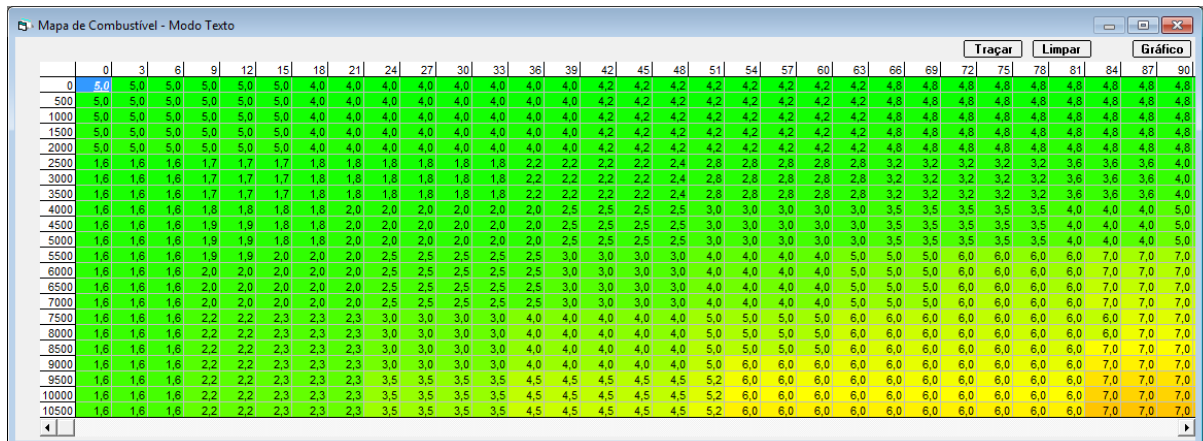


IMAGEM 65 – MAPA DE INJEÇÃO

Para o motor entrar em funcionamento, nas primeiras rotações foi adotado um tempo de injeção de 5 ms, assim a partida se tornou mais fácil, a partir do momento em que o motor já estava em funcionamento na marcha lenta, foi adotado um tempo de injeção de 1,6 ms, esse tempo foi adotado pois com avanço de 10° e corpo de borboleta fechado, obteve-se os

menores valores de emissões em comparação com outros valores e proporcionava um valor de lambda próximo de 1,4.

Após a identificação do melhor tempo de injeção para o motor, o mapa de ignição foi ajustado para melhorar a eficiência do sistema.

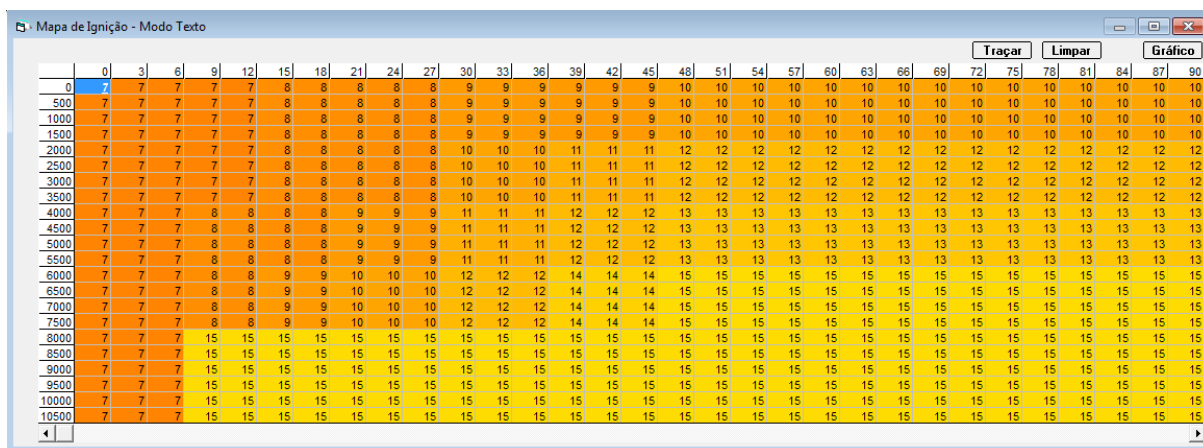


IMAGEM 66 – MAPA DE IGNIÇÃO

Para a calibração do tempo de injeção, o valor de avanço de ignição foi estipulado em 10°, pois não oferecia riscos de danos ao sistema. Porém o valor de lambda situava-se em 1,4, informando que a mistura de ar/combustível estava pobre, este fato ocorria pois a combustão da mistura estava ocorrendo antes do ponto de maior eficiência, abaixando o valor de avanço foi obtido melhores valores de emissões poluentes, até que foi definido 7° de avanço para obter o melhor rendimento do motor.

6.5.2 Resultados

Neste capítulo será apresentada os resultados dos testes de emissões feitos com o sistema carburado e injetado. A gasolina utilizada foi comum (Padrão E22), na qual apresenta 22% de álcool e a rotação para medição foi de 3500 RPM para os dois sistemas. O analisador de gases usado foi do modelo AVL DiCOM para ambas medições.

Segue Abaixo o resultado da análise com sistema carburado e injetado:



IMAGEM 67 - GERENCIAMENTO MECÂNICO (CARBURADOR)

Com o teste foi possível identificar as dificuldades e limitações do sistema carburado, notando-se uma alta concentração de poluentes como o CO e o HC, e baixo índice de CO₂ devido a uma mistura rica tem-se dificuldade de se obter uma relação estequiométrica e um bom funcionamento ao mesmo tempo. A grande concentração de HC e O₂ é justificada pela grande quantidade de combustível não queimado (HC) e a baixa eficiência da combustão.

Além de apresentar uma redução dos gases poluentes, o motor apresentou uma estabilidade de rotação, pois já não havia falta de combustível, sua partida ficou mais fácil, uma vez que não era necessário acionar o mecanismo de partida mais de 2 vezes e proporcionou ao motor uma aceleração rápida e continua pois a injeção de combustível não proporciona ao motor falha de combustível em acelerações rápidas como no carburador.



IMAGEM 68 - GERENCIAMENTO ELETRÔNICO (INJETADO)

O teste com o sistema Injetado nota-se facilmente a redução da emissão dos poluentes CO e HC e aumento do nível de CO₂ devido ao empobrecimento da mistura, com um domínio muito maior e preciso, o sistema eletrônico viabilizou um ajuste que com o sistema antigo seria impossível de se obter. O concentração de CO₂ aumentou devido a melhor eficiência de queima da mistura.

A tabela abaixo demonstra o percentual de redução de emissão dos resultados:

	Teste Carburado	Teste Injetado	
Lambda	0,644	1,187	redução de aproximadamente 54 % de combustível
CO	9,44 %vol	0,12 %vol	redução de aproximadamente 780% de CO
CO ₂	4,4 %vol	12,4 %vol	Aumento de aproximadamente 300% de CO ₂
O ₂	6,2% vol	4,3 %vol	redução de aproximadamente 44% de O ₂
HC	16101 ppm	417 ppm	redução de aproximadamente 380% HC

Tabela 4 - Comparação dos índices de emissões

7 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do projeto consiste na aplicação de um sistema de gerenciamento eletrônico em um motor com sistema de alimentação carburado, afim de otimizar a emissão de gases poluentes, reduzindo-os para atender emissões e proporcionar a países que enfrentam problemas de poluição causados por veículos carburados uma solução viável e simples independentes da economia local, podendo proporcionar reciclagens de frota ou ainda uma alternativa interessante para aqueles que possuem veículos com sistema de alimentação mecânica seja por hobby ou necessidade podendo melhorar desempenho e eficiência.

Com a aplicação do sistema de gerenciamento eletrônico, obtivemos grandes mudanças do comportamento do motor, onde ficou visível a superioridade de controle do motor com sistema eletrônico em comparação ao mecânico (carburador).

Com simples adaptações nos periféricos do motor foi possível aumentar sua eficiência e diminuiu consideravelmente os valores de gases poluentes. Essa solução poderia trazer grandes benefícios a proprietários de veículos antigos que precisam atender as legislações do seu país, prolongando a vida útil do motor e proporcionando uma melhora na qualidade do ar em países que enfrentam problemas de poluição provocados pela frota antiga de veículo.

Além de solucionar os problemas de emissão de poluentes, proporciona a melhoria da eficiência energética (redução de consumo) otimizando parâmetros como torque e potência do motor.

7.1 Propostas Futuras

Neste projeto ainda é possível aplicar algumas melhorias, tais como :

- Realizar sua própria ECU.
- Utilizar um catalizador
- Correção da mistura ar-combustível por malha fechada.
- Fazer testes do motor em dinamômetro para aferir dados de torque e potência.
- Alterar o sistema para que funcione com outro tipo de combustível.
- Implementar o sensor MAP e circuito para controle do motor de passo.
- Implementar o sistema em motocicletas.

7.2 Dificuldades encontradas

- Implementar o módulo HIS pw6x.
- Ajustar o sensor de rotação.
- Confecção do chicote.
- Calibrar o motor.
- Vedar o escapamento.
- Sincronizar a roda fônica com o motor.

8 Referências

Moisés William Oliveira Santin e Rodrigo Alejandro Fuentes Medrano – Plataforma de instalação de módulos Stand Alone – Faculdade de Tecnologia, FATEC Santo André, 2013.

Albaladejo, Felipe Serafim Albaladejo. Desenvolvimento de uma unidade de gerenciamento eletrônico para motores de combustão interna do ciclo Otto, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2012

PUJATTI, Fabrício José Pacheco. Desenvolvimento de um sistema de gerenciamento eletrônico para motores de ignição por centelha. 2007. 221 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.

Varella, Carlos Alberto Varella – Histórico e desenvolvimento dos motores de combustão interna.

BOSCH. Manual de tecnologia automotiva. 25. Ed. São Paulo. Edgard Blucher. 2004

Daniel Alvarez Businaro e Fabrício Cristiano Fróes Sforcin – Implementação de um sistema de gerenciamento eletrônico programável para motores de combustão interna – Faculdade de tecnologia, FATEC Santo André, 2011.

Brunetti, Franco Brunetti. Motores de Combustão Interna - Volume 1. 2013

CÂMARA, Julio César Chaves. Monitoramento eletrônico da mistura ar/combustível em motores de combustão interna ciclo Otto. 2006. 171 f. Dissertação (Mestrado em Mecatrônica) – Escola Politécnica, Universidade federal da Bahia, Salvador.

FRÓES, Marco Aurélio. Notas de aula de Motores I. FATEC Santo André. 2013

FRÓES, Marco Aurélio. Notas de aula de Motores II. FATEC Santo André. 2013

HIS POWER. Unidade de gerenciamento eletrônico programável. Disponível em: < www.his-power.com.br/ >. Acessado em 01/11/2014.

Catálogo de aplicação de tampas do distribuidor, rotores, bobinas e sistemas de ignição – Ignição – Sistemas convencionais. 2012/2013 – Bosch.

MANUAL TÉCNICO – Curso Mahle Metal leve – Motores de combustão interna – Mahle.

COSTA, Paulo G. Bíblia do Carro. 2002.

PROCONVE: PROGRAMA DE CONTROLE DE POLUIÇÃO DO AR POR VEÍCULOS AUTOMOTORES – proconve_163.

A VIABILIDADE DE COOPERATIVAS PARA A RENOVAÇÃO DA FROTA AUTÔNOMA DE CAMINHÕES – GRAZIELE ARAUJO MOURA – DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTS – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL – NOVEMBRO/2012.

UM ESTUDO SOBRE O IMPACTO AMBIENTAL DOS COMBÚSTIVEIS AUTOMOTIVOS NA QUALIDADE DO AR NA RMSP – REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO – Waldir Nunes dos Santos Junior – Universidade de Taubaté, 2006.

PCPV – Plano de Controle de Poluição Veicular do Estado de São Paulo, 2011/2013 – CETESB, Secretaria do Meio Ambiente, Governo do Estado de São Paulo.

