

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

Abner Hideo Kagueyama Miyamoto
Marlon Massatoshi Nakasato Tsuruda
Victor Jooji Muto Yoshiga

ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS EM MOTORES CICLO OTTO

Santo André
2021

Abner Hideo Kagueyama Miyamoto
Marlon Massatoshi Nakasato Tsuruda
Victor Jooji Muto Yoshiga

ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS EM MOTORES CICLO OTTO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva pela FATEC Santo André, orientado pelo Prof. Marco Aurélio Fróes, como requisito parcial para obtenção do título de tecnólogo em Eletrônica Automotiva.

Santo André
2021

FICHA CATALOGRÁFICA

M685a

Miyamoto, Abner Hideo Kagueyama

Análise das tecnologias em motores Ciclo Otto / Abner Hideo Kagueyama Miyamoto, Marlon Massatoshi Nakasato Tsuruda, Victor Jooji Muto Yoshiga. - Santo André, 2021. – 139f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2021.

Orientador: Prof. Marco Aurélio Fróes

1. Eletrônica. 2. Downsizing. 3. Energia térmica. 4. Energia mecânica. 5. Tecnologia. 6. Motores. 7. Ciclo Otto. 8. Eficiência energética. 9. Taxa de compressão. 10. Emissão de poluentes. 11. Desenvolvimento. 12. MCI. I. Tsuruda, Marlon Massatoshi Nakasato. II. Yoshiga, Victor Jooji Muto. III. Análise das tecnologias em motores Ciclo Otto.

Abner Hideo Kagueyama Miyamoto

Marlon Massatoshi Nakasato Tsuruda

Victor Jooji Muto Yoshiga

ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS EM MOTORES CICLO OTTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a FATEC SANTO ANDRÉ como requisito parcial à obtenção de título de Tecnólogo em Eletrônica Automotiva

Professor Orientador
Prof. Marco Aurélio Fróes

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA

Presidente da Banca
Prof. Marco Aurélio Fróes
Fatec Santo André

Primeiro Membro da Banca
Prof. Msc. Adriano Ribolla
Fatec Santo André

Segundo Membro da Banca
Prof. Dr. Orlando de Salvo Júnior
Fatec Santo André

Local: Fatec Santo André
Horário: 18:30
Data: 06/12/2021

SANTO ANDRÉ

2021

DEDICATÓRIA

Dedicamos esta monografia às nossas famílias, professores e amigos que nos apoiaram nos em todos os momentos dessa grande jornada, que está apenas começando.

AGRADECIMENTO

Agradecemos primeiramente ao Prof. Dr. Marco Aurelio Fróes, que nos auxiliou na realização do nosso trabalho de conclusão de curso, às nossas famílias que sempre nos apoiaram, mesmo nos momentos difíceis, a disponibilidade da faculdade e de todos os professores que nos ensinaram durante esses 3 anos.

“No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem-feita ou não faz.”

Ayrton Senna

RESUMO

O MCI é uma máquina térmica, composto por diversas peças fixas e móveis, capaz de transformar a energia térmica em energia mecânica. Essa visão de que o calor poderia ser transformado em energia, foi o grande passo para que surgissem os motores a vapor. Anos depois, por volta de 1866, Nikolaus August Otto construiu, o que é conhecido hoje como o motor de ciclo Otto, mudando a indústria automotiva. Ao longo dos anos, com a criação de leis ambientais, surgiu a necessidade de desenvolver novas tecnologias para atender aos requisitos de controle de emissões de poluentes que são expelidos no meio ambiente. Diversas tecnologias são criadas a cada ano e, dentre elas, podem ser citados os sistemas de gerenciamento de motores, turbocompressores, comando de válvulas variável, injeção direta, desenvolvido utilizando os recursos da eletrônica e informática. Atualmente, trabalha-se com o conceito de downsizing, que é a redução do tamanho volumétrico dos motores, empregando mais tecnologia e aumentando a eficiência energética. A taxa de compressão variável surgiu para contribuir como uma nova tecnologia do downsizing, com ela, é possível ter um controle da relação (de compressão) da mistura A/F e do processo de combustão.

Palavras-chave: *Downsizing*. Motores de ciclo Otto. Eficiência energética. Taxa de compressão.

ABSTRACT

The ICE is a thermal machine, made of several fixed and mobile parts, capable of transforming thermal energy into mechanical energy. This vision that heat could be transformed into energy was the big step towards the emergence of steam engines. Years later, around 1866, Nikolaus August Otto built what is known today as the Otto cycle engine, changing the automotive industry. Over the years, with the creation of environmental laws, the need arose to develop new technologies to meet the requirements for controlling emissions of pollutants that are expelled into the environment. Several technologies are created each year, and, among them, we can mention the engine management systems, turbochargers, variable valve command, direct injection, developed using the resources of electronics and information technology. Currently, the concept of downsizing is being used, which is the reduction of the volumetric size of engines, employing more technology and increasing energy efficiency. The variable compression ratio appeared to contribute as a new downsizing technology, with it, it is possible to control the (compression) ratio of the A/F mixture and the combustion process.

Keywords: Downsizing. Otto cycle engines. Energy efficiency. Compression ratio.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Primeiro motor de Combustão Interna	20
Figura 2 - Bloco do motor	24
Figura 3 - Brunimento dos cilindros	25
Figura 4 - Cárter de óleo	25
Figura 5 - Cabeçote	26
Figura 6 - Pistões	27
Figura 7 - Biela	27
Figura 8 - Árvore de manivelas	28
Figura 9 - Anéis de segmento	29
Figura 10 - Pino do pistão	30
Figura 11 - Árvore de cames	30
Figura 12 - Válvulas	31
Figura 13 - Mancal do motor	32
Figura 14 - Bronzina	33
Figura 15 - Volante do motor	33
Figura 16 - Componentes do motor	34
Figura 17 - Ciclo do MCI	35
Figura 18 - Ciclo real e teórico	36
Figura 19 - Volume do cilindro	37
Figura 20 - Cruzamento de válvulas	40
Figura 21 - Overlap	41
Figura 22 - Sistema de arrefecimento a ar	43
Figura 23 - Sistema de arrefecimento por circulação de água	44
Figura 24 - Aditivo do líquido de arrefecimento	45
Figura 25 - Carburador Brosol	46
Figura 26 - Sistema de injeção eletrônica	47
Figura 27 - Diagrama do sistema de injeção eletrônica	49
Figura 28 - Configurações de injeção multiponto	51
Figura 29 - Injetor de injeção direta	52
Figura 30 - Comparação entre a injeção indireta e direta	53
Figura 31 - Comparativo entre os sistemas de injeção	54

Figura 32 - Formação da mistura estratificada e homogênea	55
Figura 33 - Sistema de resfriamento do ar pressurizado.....	59
Figura 34 - Como é instalado o turbocompressor	59
Figura 35 - Turbocompressor Twin-Scroll	61
Figura 36 - Turbocompressor de Geometria Variável	62
Figura 37 - Turbocompressor BorgWarner Biturbo	63
Figura 38 - 3.9 L twin-turbocharged Ferrari F154CB V8	64
Figura 39 - Diagrama de equilíbrio.....	68
Figura 40 - Gerenciamento do motor	73
Figura 41 - Mapa para avanço de ignição	74
Figura 42 - Diagrama de abertura das válvulas de admissão e exaustão.....	75
Figura 43 - Modos de operação do motor ciclo Otto	76
Figura 44 - Avanço de ignição.....	77
Figura 45 - Bobinas de ignição individuais.....	78
Figura 46 - Válvula EGR	80
Figura 47 - Esquema de instalação da válvula EGR.....	81
Figura 48 - Sensor de posicionamento da árvore de manivelas.....	82
Figura 49 - Sensor de posicionamento da árvore de manivelas.....	83
Figura 50 - Ligação do sensor de relutância magnética.....	83
Figura 51 - Roda fônica.....	84
Figura 52 - Sensor MAP.....	85
Figura 53 - Funcionamento do sensor MAP.....	85
Figura 54 - Sensor MAF	86
Figura 55 - Sensor de temperatura de água	87
Figura 56 - Sensor TPS.....	88
Figura 57 - Sensor TPS (Componentes internos)	89
Figura 58 - Sensor de oxigênio	89
Figura 59 - Esquema de funcionamento do sensor de oxigênio.....	90
Figura 60 - Ligação do sensor de oxigênio	91
Figura 61 - Sensor de detonação e cabo	92
Figura 62 - Sensor de detonação (instalação).....	92
Figura 63 - Válvula injetora de combustível	93
Figura 64 - Composição da válvula injetora de combustível	94
Figura 65 - Bobina de ignição.....	94

Figura 66 - Ligação da bobina de ignição	95
Figura 67 - Atuador de marcha lenta	96
Figura 68 - Funcionamento do atuador de marcha lenta.....	96
Figura 69 - Controle em malha aberta.....	97
Figura 70 - Controle em malha fechada	99
Figura 71 - Esquema do sistema de injeção	101
Figura 72 - Esquema da variação do comando de válvulas.....	103
Figura 73 - Variador de fase.....	104
Figura 74 - Variação das fases do VVT.....	105
Figura 75 - Cavidades de óleo do variador de fase.....	106
Figura 76 - Estágios do perfil do came.....	107
Figura 77 - Atuador de variação do comando de válvulas	108
Figura 78 - Componentes do sistema VVT	109
Figura 79 - Efeito knocking.....	111
Figura 80 - Nissan KR20DDET VC-T	113
Figura 81 - Demonstrativo da taxa de compressão.....	114
Figura 82 - Diferenças entre um motor convencional e o VC-T.....	115
Figura 83 - Componentes do sistema	116
Figura 84 - Funcionamento do sistema VC-T.....	117
Figura 85 - Control Shaft	118
Figura 86 - Control Link.....	119
Figura 87 - Multi-link.....	120
Figura 88 - Comparação de desperdício de energia na parede do cilindro.....	121
Figura 89 - Atuador elétrico do sistema de variação	122

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- A/F – *Air Fuel*
- A/D – Analógico/Digital
- A/R – Área/Raio
- APMI – Antes do Ponto Morto Inferior
- APMS – Antes do Ponto Morto Superior
- CARB – *California Air Resources Board*
- cc – Cilindrada
- CO – Monóxido de Carbono
- DFI – *Diesel Fuel Injection*
- ECU – *Engine Control Unit*
- EGR – *Exhaust Gas Recirculation*
- F – Força
- GDI – *Gasoline Direct Injection*
- HC – Hidrocarboneto
- Hp – *Horse Power*
- kgfm – Quilograma-Força-Metro
- MAP – *Manifold Absolute Pressure*
- μm – Micrómetro
- MCI – Motor de Combustão Interna
- NO_x – Óxidos de Nitrogênio
- NTC – *Negative Temperature Coefficient*
- NVO – *Negative Valve Overlap*
- PFI – *Port Fuel Injection*
- PID – *Proportional Integral Derivative*
- PMI – Ponto Morto Inferior
- PMS – Ponto Morto Superior
- PTC – *Positive Temperature Coefficient*
- PVO – *Positive Valve Overlap*
- PWM – *Pulse Width Modulation*
- RPM – Rotações Por Minuto

- SMD – *Sauter Mean Diameter*
- Tc – Taxa de Compressão
- TCV – Taxa de Compressão Variável
- T-MAP – *Temperature Manifold Air Pressure*
- TPS – *Throttle Position Sensor*
- TGV – Turbocompressor de Geometria Variável
- Vc – Volume do Cilindro
- Vcc – Volume da Câmara de Combustão
- VTEC – *Variable Valve Timing and Lift Eletronic Control*
- VVT – *Variable Valve Timing*
- VVT-i – *Variable Valve Timing with Intelligence*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	20
1.1 Objetivo	22
1.2 Justificativa	22
2 MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA DE CICLO OTTO	23
2.1 Peças fixas	23
2.1.1 Bloco do motor	23
2.1.2 Cilindro	24
2.1.3 Cáster	25
2.1.4 Cabeçote	26
2.2 Peças móveis	26
2.2.1 Pistões ou Êmbolos	26
2.2.2 Biela	27
2.2.3 Árvore de manivelas	28
2.2.4 Anéis de segmento.....	28
2.2.5 Pino do Pistão.....	29
2.2.6 Árvore de cames (Comando de válvulas).....	30
2.2.6 Válvulas	31
2.2.7 Mancal	32
2.2.8 Bronzina (casquilho).....	32
2.2.9 Volante do motor	33
3 CONCEITO DE FUNCIONAMENTO DO CICLO OTTO.....	34
3.1 CICLO REAL E TEÓRICO.....	35
4 VOLUME DO MOTOR	36
4.1 Relação entre Diâmetro x Curso.....	38
5 COMPRESSÃO DO MOTOR.....	38
6 DIAGRAMA DE VÁLVULAS	39
7 SISTEMA DE ARREFECIMENTO	42
7.1 Arrefecimento por circulação de ar.....	42
7.2 Arrefecimento por circulação de água.....	43

7.3 Aditivos	44
8 SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO	45
8.1 Carburador	45
8.2 Injeção eletrônica	47
8.3 Injeção direta de combustível	52
9 SISTEMA DE IGNIÇÃO	56
10 A ADMISSÃO DE AR NOS MOTORES	57
11 TURBOCOMPRESSORES	58
11.1 MODELOS DE TURBOCOMPRESSORES	60
11.1.1 Twin-Scroll	60
11.1.2 Turbocompressor de Geometria Variável (TGV).....	61
11.2 Quanto a instalação do turbocompressor.....	62
11.2.1 Biturbo sequencial	62
11.2.2 Biturbo paralelo	63
12 SISTEMA DE EXAUSTÃO	64
13 COMANDO DE VÁLVULAS VARIÁVEL.....	65
14 MOTORES FLEX	66
15 EMISSÕES.....	68
15.1 Monóxido de carbono (CO)	69
15.2 Óxido de nitrogênio (NO _x).....	69
15.3 Aldeídos	69
15.4 Hidrocarbonetos (HC).....	70
15.5 Material Particulado	70
15.6 Dióxido de enxofre (SO ₂).....	70
15.7 Controle de emissões	71
15.8 Fases do PROCONVE	71
16 SISTEMA DE GERENCIAMENTO ELETRÔNICO DO MOTOR.....	72
16.1 Sistema de admissão de ar	74
16.2 Sistema de injeção de combustível.....	75
16.3 Sistema de ignição.....	76
16.3.1 Ignição mapeada	77

16.3.2	Ignição sem distribuidor	78
16.3.3	Ignição por centelha perdida	78
16.3.4	Ignição sincronizada.....	79
16.4	Sistema EGR.....	79
17	Sensores	81
17.1	Sensor de relutância e roda fônica	81
17.2	Sensor de pressão no coletor de admissão (MAP)	84
17.3	Sensor de massa de ar admitida (MAF).....	86
17.4	Sensores de temperatura	87
17.5	Sensor de posição da válvula borboleta (TPS).....	88
17.6	Sensor de oxigênio	89
17.7	Sensor de detonação	91
18	ATUADORES.....	93
18.1	Válvula eletro-injetora de combustível	93
18.2	Bobina de ignição	94
18.3	Atuador de marcha lenta	95
19	Controle de malhas	97
19.1	Controle de malha aberta	97
19.2	Controle de malha fechada	99
20	ESTRATÉGIA DE CONTROLE DE INJEÇÃO DE COMBUSTÍVEL	100
21	GERENCIAMENTO DO CONTROLE ELETRÔNICO DA VARIAÇÃO DO COMANDO DE VÁLVULAS VARIÁVEL.....	102
21.1	VVT com variação na fase do came	103
21.2	VVT com troca de perfil de came.....	106
21.3	VVT com variação na fase do came + VVT com troca de perfil do came	107
21.3.1	Estratégia de cruzamento positivo de válvulas (PVO).....	109
21.3.2	Estratégia de cruzamento negativo de válvulas (NVO).....	110
22	TAXA DE COMPRESSÃO VARIÁVEL	110
22.1	Funcionamento.....	112
22.2	Mecanismo	116
22.3	Operação	116
22.4	Componentes	117

22.4.1 Control shaft	117
22.4.2 Control link	118
22.4.3 Multi-link	119
22.4.4 Upper link	121
22.4.5 Atuador elétrico de variação da taxa de compressão	122
23 CONCLUSÃO	123
23.1 Propostas futuras	124
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	125
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS DE FIGURAS	131

1 INTRODUÇÃO

A história dos Motores de Combustão Interna (MCI) começou em 1673 com Christiaan Huygens, com a idealização de uma máquina térmica que utilizava pólvora como combustível para elevar a temperatura dos gases contidos no interior do cilindro, promovendo a expansão dos gases, deslocando o pistão e transformando em energia mecânica (Silva e Souza, 2014).

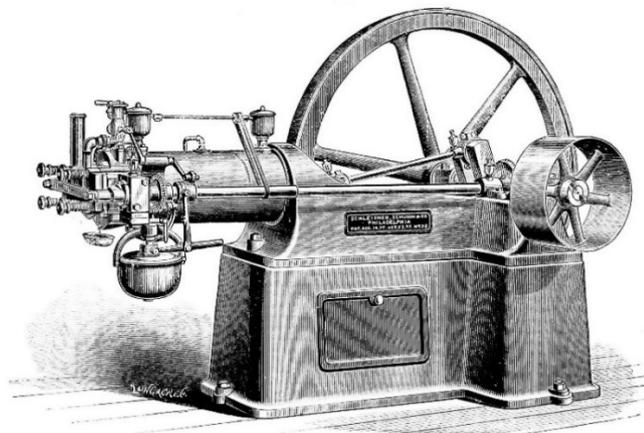
Em 1712, Thomas Newcomen foi o primeiro a desenvolver um motor de combustão externa a vapor para elevar cargas e retirar água das minas de carvão.

No ano de 1824, Nicolas Léonard Sadi Carnot teve um papel importante na história por introduzir a ideia de transformações cíclicas da Termodinâmica (Tillman, 2013).

Beau De Rochás em 1862 propôs e patenteou os princípios de funcionamento dos motores de 4 tempos de combustão interna com êmbolos, porém nunca obteve sucesso na aplicação de suas teorias não conseguindo montar seu motor (Tillman, 2013).

Já em 1876, quase 50 anos depois, Nikolaus Otto foi o primeiro a construir o Motor de Combustão Interna de 4 tempos. Otto em parceria com o engenheiro alemão Eugen Langen, fundou a N.A OTTO & CIA, que foi a primeira fábrica de motores a combustão no mundo. A figura 1 representa o primeiro motor de combustão interna. (Varella).

Figura 1 - Primeiro motor de Combustão Interna



Fonte: A história dos motores de combustão interna (2017)

Karl Friedrich Michael Benz e Gottlieb Daimler criaram o primeiro automóvel que utilizava um MCI e possuía três rodas, em 1885. Era um motor de 4 cilindros com um volume de 958 cilindradas (cc), produzindo 0,75 hp e chegando a uma velocidade máxima de 15 km/h.

Rudolf Diesel, em 1897, cria o motor a Diesel, batizado com seu nome. Em 1912 o primeiro motor Diesel teve aplicação em um navio. A principal diferença dos motores diesel e ciclo Otto é como ocorre a ignição da mistura ar/combustível (A/F – *Air/Fuel*) (Silva e Souza, 2014).

No início do século XX, nos Estados Unidos, Henry Ford fundou a Ford Company, sendo responsável pela produção em massa de veículos, tornando os automóveis mais acessíveis para a população.

Em 1915, o primeiro tanque de guerra foi projetado na Inglaterra. O Mark I estreou em combate em 1916 na batalha de Somme. Utilizando um motor Daimler de seis cilindros e 13 litros, com modestos 105 cv, que ficava no mesmo compartimento da tripulação (Meditsch, 2014).

Após 19 anos, em 1934, o contrato de produção do Fusca foi fechado pelo projetista Ferdinand Porsche com o governo alemão. Foi desenvolvido um desenho funcional de um motor traseiro de quatro cilindros (boxer oposto dois a dois) refrigerado a ar. Ironicamente baseado em um motor de avião, desenvolvido pelo próprio Porsche anos antes (1909), este motor se provou mais confiável, silencioso, econômico e barato do que todos os outros da época (Sodré, 2018).

Em 1967 foi criado o *California Air Resources Board* (CARB) que é um departamento da Agência De Proteção Ambiental da Califórnia, e tinha o objetivo de atingir e manter a qualidade do ar dentro das normas, devido aos elevados níveis de emissões.

Na década de 70, o embargo dos países árabes produtores de petróleo atingiu em cheio os Estados Unidos com a crise do petróleo. Com a alta dos preços do combustível, grandes automóveis, conhecidos como os *muscle cars* que utilizavam motores de alta capacidade volumétrica, onde o consumo de combustível não era uma preocupação, houve a necessidade da aceleração tecnológica dos veículos priorizando um menor consumo, estes modelos acabaram perdendo espaço para os

veículos menores de empresas japonesas, em especial o Toyota Corolla (Mahar, 2016).

Após esta data, foram introduzidas novas tecnologias que contribuíram na melhoria da eficiência energética dos motores, promovendo a redução de poluentes e melhorando o desempenho.

Para que este avanço tecnológico fosse possível, foi implementado o carburador eletrônico, posteriormente, a injeção eletrônica, turbocompressor, comando de válvula variável, sensor de relutância magnética, roda fônica, sensor lambda, sistema de estratificação do ar admitido e/ou combustível injetado.

1.1 Objetivo

Desenvolver um material de pesquisa sobre as principais tecnologias utilizadas nos Motores de Combustão Interna de ciclo Otto, desde os primórdios do desenvolvimento até os dias atuais (2021), com a finalidade do estudo de um sistema de taxa de compressão variável para melhorar a eficiência energética dos motores.

1.2 Justificativa

A motivação desse trabalho é desenvolver um material de estudo, para ser utilizado como material de apoio, explicando de forma clara, objetiva, técnica e informativa. O trabalho abordará a ordem cronológica tecnológica desde os primórdios dos MCI de ciclo Otto até o *downsizing* e, analisando uma nova tendência tecnológica automotiva, a taxa de compressão variável.

2 MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA DE CICLO OTTO

Os motores de combustão interna são máquinas térmicas compostas por peças fixas e peças móveis que têm por objetivo transformar energia química do combustível em energia térmica e, depois em energia mecânica, diretamente utilizável. Após a mistura combustível/ar ser comprimida na câmara de combustão de cada cilindro, inicia-se uma queima, a qual libera uma força contra a cabeça do pistão, forçando este a deslocar-se na direção da árvore de manivelas.

A biela, elemento de ligação entre o pistão e a árvore de manivelas, transmite a força atuante na cabeça do pistão (resultante da expansão dos gases) ao colo da árvore de manivelas (moente), fazendo com que este gire. Converte assim o movimento retilíneo alternado do pistão em movimento rotativo da árvore de manivelas (MAHLE, 2019, p10).

2.1 Peças fixas

Denomina-se peças fixas os componentes que majoritariamente possuem a função estrutural e de comportar outras peças fixas e móveis do motor.

2.1.1 Bloco do motor

Sendo a parte mais robusta do motor, é utilizado para suportar e integrar alguns dos componentes fixos e móveis do motor. Conforme a figura 2 é possível visualizar o bloco do motor e os alojamentos das galerias de fluido de arrefecimento e condutos de óleo lubrificante. Sua construção é capaz de aguentar altas temperaturas e a pressão de trabalho do motor (Tillman, 2013).

Figura 2 - Bloco do motor



Fonte: Educação automotiva (2017)

2.1.2 Cilindro

É um componente estrutural do bloco, que tem o objetivo de suportar a pressão de combustão e a pressão de compressão, realizar a troca térmica entre a camisa e o bloco (Tillman, 2013).

A figura 3 ilustra o cilindro e o brunimento na camisa, sendo necessário para que seja removido os riscos que permanecem logo após a sua usinagem. Este ângulo pode variar entre 90° e 120° graus e tem como objetivo reter uma camada fina de óleo em toda parede interna da camisa e auxiliar na rotação dos anéis de vedação (Contagem, 2018).

Uma nova tecnologia surgiu com um revestimento de plasma, permitindo ter menos atrito entre o pistão e a camisa, com um poder de resfriamento maior.

Figura 3 - Brunimento dos cilindros



Fonte: O MECÂNICO (2020)

2.1.3 Cárter

O Cárter como exibido na figura 4, é uma peça instalada na parte inferior do bloco do motor, tem como objetivo armazenar o óleo utilizado na lubrificação das partes fixas e móveis do motor. O cárter possui um parafuso para drenagem do líquido de lubrificação, quando for necessário realizar a troca (Tillman, 2013).

Em carros esportivos ou de competição é utilizado o “cárter seco”. Nesse sistema, a sua função é apenas retirar o óleo lubrificante, a partir disso o óleo será bombeado para outro reservatório que fica localizado na parte superior.

Figura 4 - Cárter de óleo



Fonte: Blog da JOCAR (2019)

2.1.4 Cabeçote

Conforme figura 5, o cabeçote é uma peça construída de ligas de alumínio, devido ao seu fácil manuseio e por garantir uma boa condutibilidade térmica. Tem o papel de vedar hermeticamente o cilindro, formando a câmara de combustão, local onde ocorre a compressão da mistura carburante. Em geral, este componente possui locais destinados a fixação das velas de ignição, eletro injetores e as sedes de válvulas (Tillman, 2013).

Figura 5 - Cabeçote



Fonte: Retífica e mecânica Fortcar (2021)

2.2 Peças móveis

As peças móveis são componentes que realizam algum tipo de movimento dentro do motor.

2.2.1 Pistões ou Êmbolos

Possui o papel de transmitir o movimento de expansão e compressão dos gases. Através do deslocamento linear, transfere a energia térmica gerada pela combustão, em trabalho. Este componente também ajuda a garantir a estanqueidade da câmara de combustão.

O pistão (Figura 6) é um dos componentes que mais necessita de reforço estrutural, devido as altas temperaturas e pressões, resultantes do processo de combustão (Tillman, 2013).

Figura 6 - Pistões



Fonte: SINTECH DO BRASIL (2021)

2.2.2 Biela

Conduz o movimento linear realizado pelo êmbolo para a árvore de manivelas. Este componente (Figura 7) é fabricado por meio de estampagem em ligas de alumínio, aços de alta resistência ou até mesmo em titânio (Tillman, 2013).

Figura 7 - Biela



Fonte: Allparts (2021)

2.2.3 Árvore de manivelas

Tem a função de converter o movimento linear do êmbolo em movimento rotativo. Este componente pode ser fabricado por forja ou fundição.

A árvore de manivelas (Figura 8) geralmente é o componente que comanda alguns sistemas do motor, como: sistema de ignição, injeção e refrigeração. Durante o seu funcionamento, esta peça sofre de esforços de flexão e torção. Para reduzir estes efeitos de flexão, são utilizados apoios entre cada cilindro (Tillman, 2013).

Figura 8 - Árvore de manivelas



Fonte: Allparts (2021)

2.2.4 Anéis de segmento

Os anéis de segmento (Figura 9) tem como finalidade de proporcionar uma vedação dos gases provenientes do processo de combustão, realizar o controle da fina camada de óleo lubrificante na parede do cilindro, proporcionar a transferência de calor do pistão para o cilindro e minimizar a área de contato da parede do cilindro com o êmbolo. São compostos por três segmentos de anéis, contendo dois anéis de compressão, sendo um deles o anel raspador e o terceiro anel realiza o controle do filme de óleo (Tillman, 2013).

O anel de compressão tem a função de vedar a câmara de combustão, fazendo com que evite a passagem dos gases de combustão para o cárter e transfere o calor do pistão para a parede do cilindro.

Anel raspador irá retirar a camada excessiva de óleo lubrificante na parede do cilindro e auxiliar na troca do calor.

Anel de óleo é encarregado da manutenção do filme de óleo lubrificante na parede do cilindro, reenviando o excesso para o cárter.

Figura 9 - Anéis de segmento



Fonte: Contagem motorpeças (2021)

2.2.5 Pino do Pistão

O pino do pistão (Figura 10) é um componente utilizado para unir e transmitir a força gerada pela combustão do êmbolo para a biela. Este componente é feito de um aço muito resistente para suportar as forças geradas pelo processo de combustão (Tillman, 2013).

Figura 10 - Pino do pistão



Fonte: REGIS RACING (2021)

2.2.6 Árvore de cames (Comando de válvulas)

O comando de válvulas (Figura 11) realiza a abertura das válvulas de admissão e escape, o curso de abertura das válvulas e a permanência de abertura, determinarão as características de operação do motor. Este eixo é operado pela árvore de manivelas por meio de uma correia dentada, corrente ou engrenagem (Tillman, 2013).

Figura 11 - Árvore de cames



Fonte: 4WheelsLovers

No final dos anos 90, o comando de válvulas variável foi introduzido. É um sistema que por meio de atuadores hidráulicos que são ligados a engrenagem do comando, sensores de posição e eletroválvulas de controle hidráulico. Com todos

esses elementos, é possível controlar a defasagem dos eixos em relação as engrenagens (Tillman, 2013).

Por meio do eixo da eletroválvula controlado por um sinal com modulação de largura de pulso (PWM - *Pulse Width Modulation*), é possível permitir uma maior ou menor passagem de óleo para as cavidades do atuador do comando, tornando possível alterar a defasagem do comando no ângulo desejado.

2.2.6 Válvulas

O motor é composto por dois tipos de válvulas, as de admissão e as de exaustão. São responsáveis por permitir as trocas gasosas do cilindro com o ambiente externo e garantem a vedação do cilindro durante a fase de compressão e combustão para que não vaze pressão nem mistura ar combustível. A válvula de admissão permite a entrada de ar (injeção direta) ou ar e combustível (injeção indireta) para o interior do cilindro. A válvula de escape tem como finalidade, expelir os gases gerados após o ciclo de combustão do motor. As válvulas (Figura 12) são comandadas pela árvore de cames, suportam altas temperaturas e são responsáveis por dissipar o calor da combustão. Sendo assim, é necessário terem uma alta precisão (Tillman, 2013)

Figura 12 - Válvulas

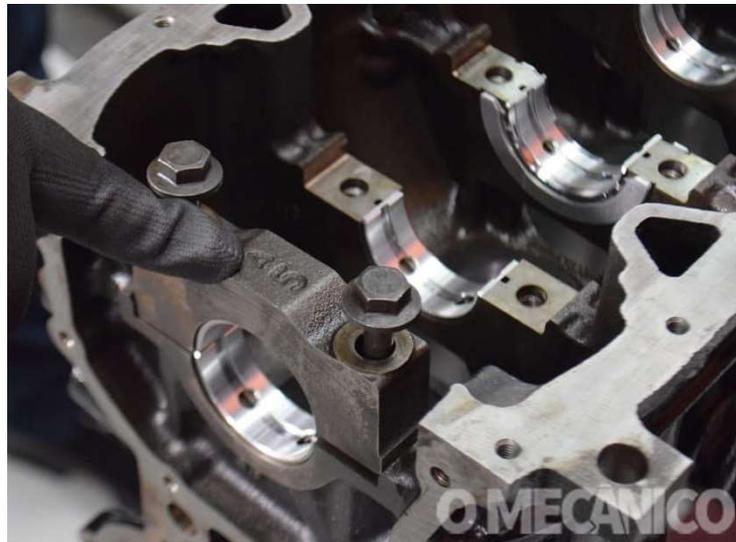


Fonte: Hangamma (2021)

2.2.7 Mancal

Este componente (Figura 13) tem a função de servir como apoio fixo e suportar as cargas que são aplicadas em um eixo que realiza o movimento rotacional, reduzindo o atrito entre as peças. São separados em dois principais tipos, os fixos (deslizamento) e os de rolamento. O material utilizado em sua composição tem que ser específico para que haja um fácil deslizamento e seja silencioso em seu funcionamento (Tillman, 2013).

Figura 13 - Mancal do motor

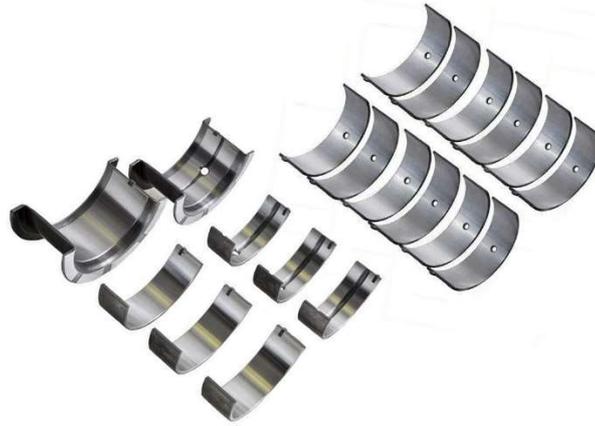


Fonte: O MECÂNICO (2020)

2.2.8 Bronzina (casquilho)

As bronzinas (Figura 14) são os elementos intermediários que ficam em contato com os moentes da árvore de manivelas e as bielas. São projetadas para reduzir o atrito e suportar altas cargas de trabalho, evitando um desgaste prematuro. Por meio de uma cavidade em seu corpo, permite a passagem de óleo garantindo a lubrificação (Tillman, 2013).

Figura 14 - Bronzina



Fonte: Fusion AUTOPARTS (2021)

2.2.9 Volante do motor

Tem a função de armazenar a energia cinética rotacional gerada pela combustão e transmitida pelo sistema de biela manivela. O volante do motor (Figura 15), também atua como o ponto de contato com a embreagem para que seja transmitida a força gerada do motor para a transmissão. Controla e equilibra a rotação da árvore de manivelas.

Figura 15 - Volante do motor



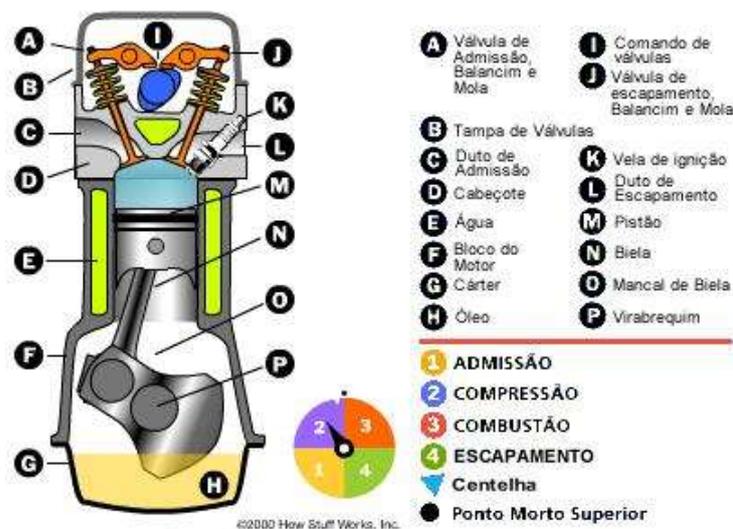
Fonte: PeçaWeb (2021)

3 CONCEITO DE FUNCIONAMENTO DO CICLO OTTO

O motor de combustão interna, com seus conjuntos de peças fixas e móveis cumprem o chamado ciclo de 4 tempos, sendo eles: admissão, compressão, combustão e exaustão. Os 4 tempos realizados completam o ciclo do motor.

O funcionamento (Figura 16) consiste na admissão da mistura ar/combustível, para o interior da câmara de combustão, assim que o ar e o combustível são admitidos, ocorre a compressão, para que se obtenha uma mistura homogênea, após comprimidos, através de uma centelha, causada pela vela de ignição, ocorre a combustão, esses gases por fim, são expelidos pela válvula de escape.

Figura 16 - Componentes do motor



Fonte: Carro de garagem (2019)

Na primeira fase (admissão), o ar é admitido para o interior do cilindro por meio da depressão causada pelo movimento descendente do êmbolo, do PMS ao PMI, assim o cilindro é preenchido com a mistura ar combustível.

Na segunda fase (compressão), o êmbolo será elevado para o topo do cilindro, comprimindo a mistura ar combustível na câmara de combustão, promovendo um aumento da temperatura e pressão.

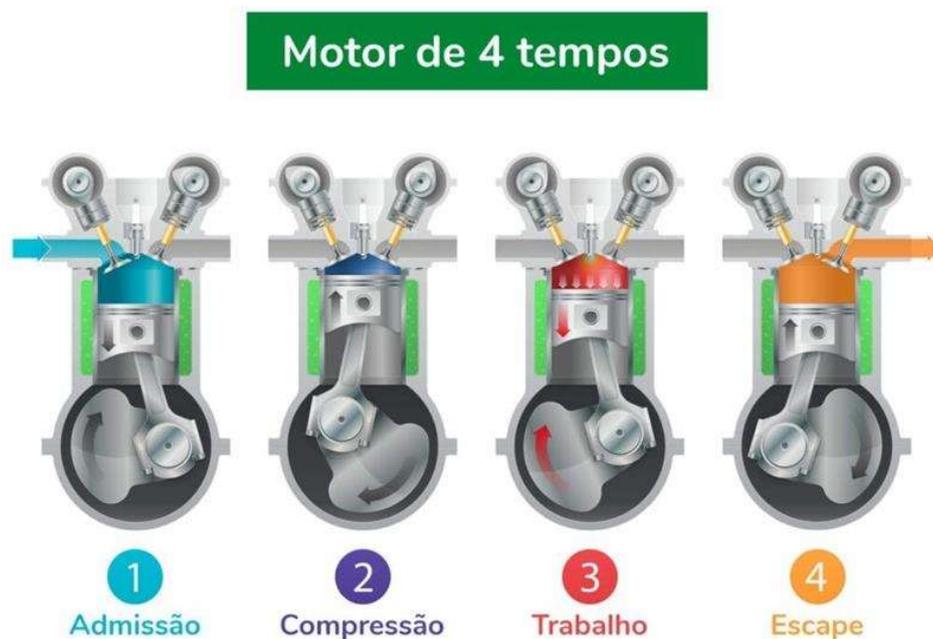
Na terceira fase (trabalho) ou também chamada de fase de combustão. Após a compressão da mistura A/F, o êmbolo irá do PMS para o PMI, sendo feito assim a combustão através de uma centelha comandada pela vela de ignição, promovendo o

aumento da temperatura do cilindro, gerando a expansão dos gases, resultando nos gases de escape. Nessa fase, as válvulas de admissão e escape estarão fechadas.

Na quarta fase (escape), o pistão sairá novamente do PMI ao PMS, com a combustão feita na terceira fase, os gases gerados serão expelidos pela válvula de escape, dando espaço para a repetição do ciclo. O pistão em um movimento ascendente, irá limpar os cilindros da queima dos gases.

Nota-se que em um motor de 4 tempos (Figura 17), há apenas um tempo motor, o que ocasiona que um motor monocilíndrico necessite de um grande volante de inércia, capaz de movimentar a árvore de manivelas durante 3 tempos (1.5 rotações) sem baixar demasiadamente a sua velocidade (Martins, 2006).

Figura 17 - Ciclo do MCI



Fonte: Insta carro (2018)

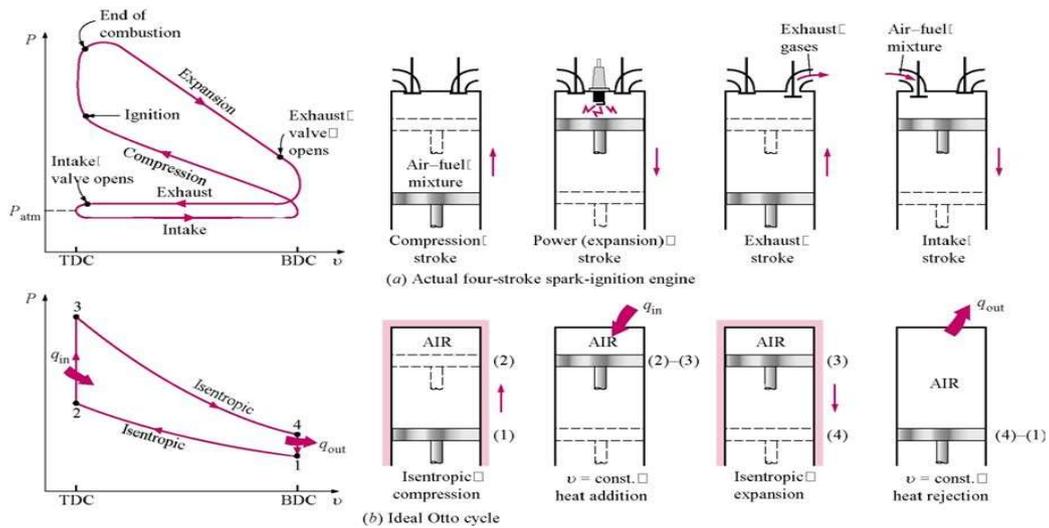
3.1 CICLO REAL E TEÓRICO

O processo do funcionamento de um motor ciclo Otto tem relação ao recurso da termodinâmica, que se refere a pressão e temperatura. (Martins, 2006)

O ciclo teórico é o ciclo ideal a ser seguido, mas, como bem sabemos, na prática não se aplica essa teoria. Os ciclos (Figura 18) se diferem pelas diferentes progressões das propriedades dos gases no cilindro (Martins, 2006). Alguns dos

tópicos que se associam a tais diferenças são: perdas de calor, combustão não instantânea e tempo de abertura da válvula de escape (Planas, 2018).

Figura 18 - Ciclo real e teórico



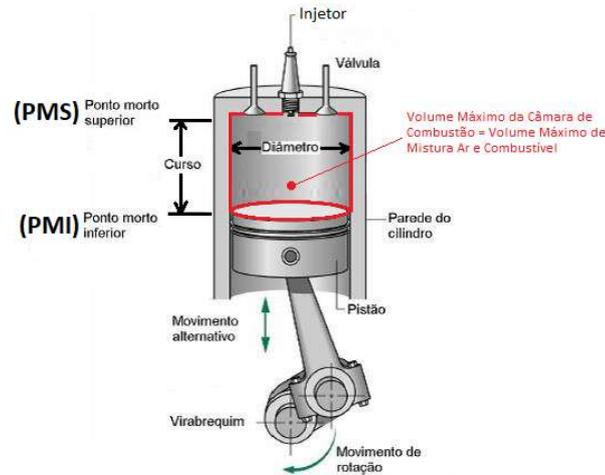
16

Fonte: Slide player (2018)

4 VOLUME DO MOTOR

O volume do motor (cilindrada total) é dado pelo volume do deslocamento do pistão do PMS ao PMI, multiplicado pela quantidade de cilindros no motor (MAHLE, 2019).

Figura 19 - Volume do cilindro



Fonte: Blog da FPT (2020)

O cálculo para obter a cilindrada do motor é dada pelas equações abaixo (Brunetti, 2014).

$$V_{\text{unitário}} = \left(\frac{\pi \times D^2}{4} \right) \times L \quad (1)$$

$V_{\text{unitário}}$ = Volume unitário do cilindro (cm³)

π (pi) = 3,14159265...

D = diâmetro do pistão (cm)

L = deslocamento do pistão do PMS ao PMI (cm)

4 = constante

O volume total do motor, pode ser calculado através da multiplicação do volume unitário do cilindro pelo número de cilindros, conforme a equação 2 (Brunetti, 2014).

$$V_{\text{total}} = V_{\text{unitário}} \times n \quad (2)$$

V_{total} = Volume total do motor (cm³)

n = número de cilindros

4.1 Relação entre Diâmetro x Curso

Essa relação é extremamente importante, pois, de acordo com o diâmetro e o curso dos pistões, é possível obter três diferentes características operacionais no motor.

Em um motor superquadrado, onde o diâmetro do êmbolo é maior que o curso, têm-se uma alta potência com um baixo deslocamento volumétrico. Estes motores têm a característica de atingir altas rotações. Comumente utilizado em motores de alta performance, como por exemplo na Fórmula 1, que atualmente utiliza um motor de 1600 cm³, onde o limite de rotações atualmente chega à 12.000 RPM (FLATOUT, 2020).

O motor quadrado possui o diâmetro e o curso com as mesmas medidas. Esta aplicação tenta manter um equilíbrio entre torque e potência, por sua vez não necessita da utilização de materiais caros e são flexíveis, onde o fabricante por exemplo pode alterar o deslocamento volumétrico do motor, substituindo apenas as bielas e realizando um novo mapeamento do motor (FLATOUT, 2020).

Nos motores subquadrados, o diâmetro do pistão é menor que o seu curso. Nesta concepção, o motor apresenta um elevado torque e devido a esta maior quantidade, os componentes do motor necessitam de maior robustez, sendo capaz de suportar altas cargas. A aplicação por sua vez fica destinada aos motores sobrealimentados de ciclo Otto e aos motores Diesel (FLATOUT, 2020).

5 COMPRESSÃO DO MOTOR

Ao analisar a fase de compressão, quando o pistão se desloca do PMI para o PMS, é notório a redução do volume total do cilindro que será resumido somente ao volume da câmara de combustão. Essa razão entre o volume total do cilindro e o volume da câmara de combustão, é denominada taxa de compressão, que expressa em quantas partes a mistura ar combustível será comprimida quando o êmbolo estiver no PMS.

Para calcular a taxa de compressão utiliza-se a fórmula: (Brunetti, 2014)

$$T_c = \frac{V_c + V_{cc}}{V_{cc}} \quad (3)$$

Sendo:

T_c = Taxa de compressão (Adimensional)

V_c = Volume do cilindro (cm^3)

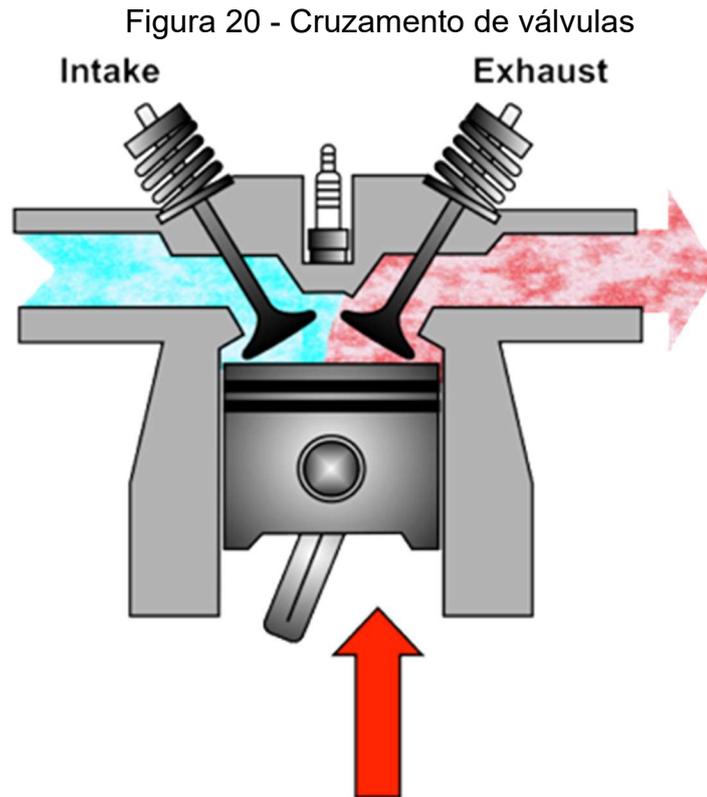
V_{cc} = Volume da câmara de combustão (cm^3)

A taxa de compressão adotada em um projeto, está diretamente ligada ao combustível no qual o motor foi projetado para trabalhar, pois cada combustível apresenta uma certa quantidade de octanagem, que representa a resistência à detonação por compressão. Em motores à gasolina, a taxa é de aproximadamente 10:1, ou seja, a mistura ar combustível será comprimida de 10 partes para 1 parte, nos motores à etanol a taxa é de 13:1. Como em motores flex há a possibilidade de escolha de qual combustível utilizar, adota-se uma taxa de compressão intermediária, que consiga atender ambos os combustíveis (Brunetti, 2014).

6 DIAGRAMA DE VÁLVULAS

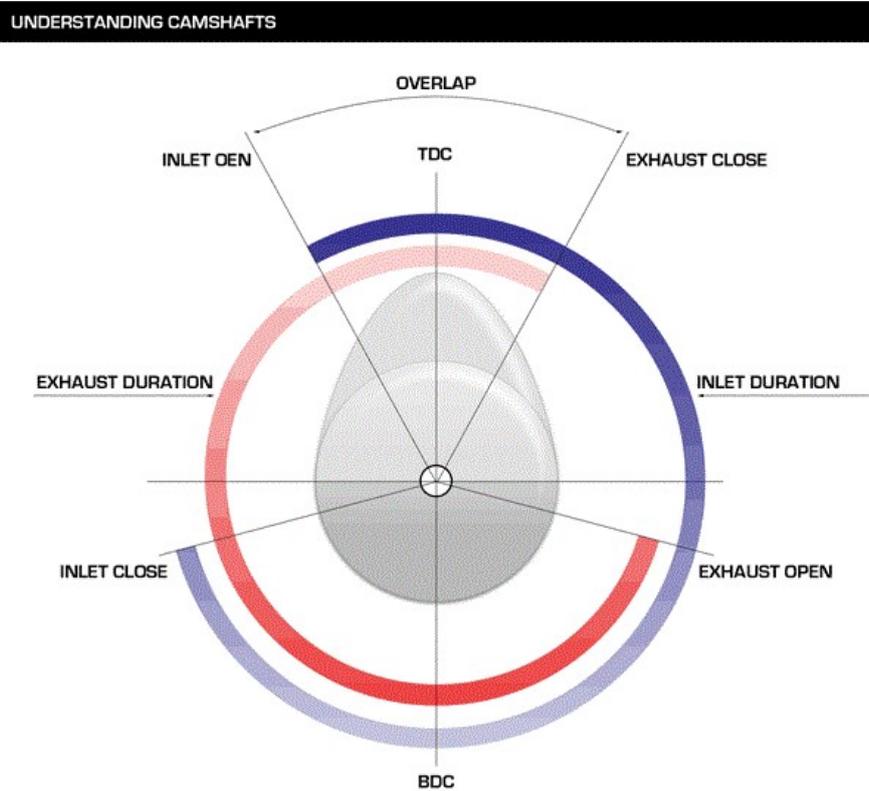
O diagrama de válvulas é um modelo teórico que demonstra o instante de abertura, fechamento e a permanência de abertura das válvulas de admissão e escape. Esse diagrama é construído com base nos 4 tempos do um motor de ciclo Otto e os valores irão variar de acordo com o projeto do motor utilizado e suas respectivas tecnologias (Martins, 2006).

Utilizando a Figura 20 para exemplificar esse conceito, é possível analisar 2 fases importantes relacionadas ao ciclo real de funcionamento de um MCI.



Fonte: PNG KEY (2019)

A primeira fase ocorre durante a fase de admissão, onde a válvula de admissão é aberta um pouco antes da válvula de escape fechar. A abertura ocorre de 10 até 15 graus APMS e esse tipo de estratégia é chamada de cruzamento de válvulas ou *overlap* (Figura 21), que acontece quando ambas as válvulas se encontram abertas durante a passagem do ciclo de exaustão para a admissão.

Figura 21 - *Overlap*

Fonte: Tuner nerd blogspot (2015)

Essa característica de abertura da válvula de admissão antes do PMS auxilia o motor a começar a admitir ar mais cedo para dentro do cilindro, tendo um período de admissão maior e otimizando o enchimento do motor. Além disso, há a otimização da dinâmica das trocas gasosas, pois o ar admitido irá contribuir para que os gases de escape sejam expelidos com mais facilidade (Heywood, 2018 apud. Muller, 2021).

O segundo evento de abertura de válvulas acontece na fase de exaustão, onde a válvula de escape abre em cerca de 40° a 60° APMI, condição na qual o motor começa a expelir os gases de escape por conta da diferença de pressão entre o cilindro e a descarga do veículo. Nessa fase, o interior do cilindro estará com uma pressão maior em comparação com a descarga e isso promoverá o escoamento dos gases de escape para a descarga (Heywood, 2018 apud. Muller, 2021).

Essa fase auxilia o motor a realizar a exaustão dos gases de escape prematuramente, reduzindo a energia gasta para expelir os gases remanescentes no cilindro, condição que é denominada de *blowdown* (Heywood, 2018 apud. Muller, 2021).

Durante a fase de compressão e combustão, ambas as válvulas de admissão e escape devem permanecer fechadas para garantir a vedação do cilindro, não permitindo que a pressão do interior do cilindro vaze para o ambiente externo (Heywood, 2018 apud. Muller, 2021).

7 SISTEMA DE ARREFECIMENTO

O sistema de arrefecimento é constituído por diversos dispositivos, que por sua vez têm o papel de manter os componentes do motor em temperaturas que sejam compatíveis com as características dos materiais que foram desenvolvidas para aquele projeto.

Mesmo o motor sendo uma máquina que trabalha a quente, é necessário ter um sistema que resfrie, para que não haja sobreaquecimento das peças. Um fato importante de se manter o motor em uma certa temperatura de funcionamento, é para que o óleo de lubrificação tenha uma baixa viscosidade, para ter menos folgas e, para que a frente de chama não se extinga perto das paredes (Martins, 2006).

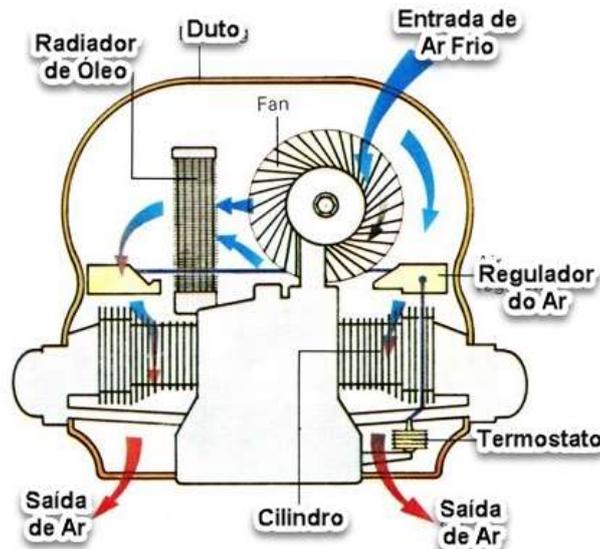
7.1 Arrefecimento por circulação de ar

Este resfriamento pode ser feito por circulação de ar, tornando o projeto mais simples e leve, pois não existem reservatórios e tubulações para a condução do líquido refrigerante. Este sistema permite a utilização em condições adversas, pois como não utiliza líquido, não existe a possibilidade de evaporar ou congelar. A circulação de óleo interna no motor auxilia no resfriamento do motor, servindo como um complemento ao sistema de arrefecimento por circulação a ar. Com o auxílio de um eletro ventilador, que pode ser acionado por meio da árvore de manivelas ou um sistema de correias e polias, este é capaz de produzir uma corrente de ar que é direcionada as palhetas presentes na parte externa dos cilindros, onde irá ocorrer a troca térmica (Brunetti, 2012).

Um ponto negativo deste sistema é devido ao ar possuir um baixo calor específico, assim, possui baixa capacidade de transferência do calor gerado pelo motor para o meio externo, necessitando de um volume de ar muito maior para conseguir resfriar o motor do veículo. O controle de temperatura deste sistema não

existe, o que leva a uma concentração de calor maior em certas áreas do motor, o que pode levar a detonação da mistura (Brunetti, 2012).

Figura 22 - Sistema de arrefecimento a ar



Fonte: Blog SIMPLO (2020)

7.2 Arrefecimento por circulação de água

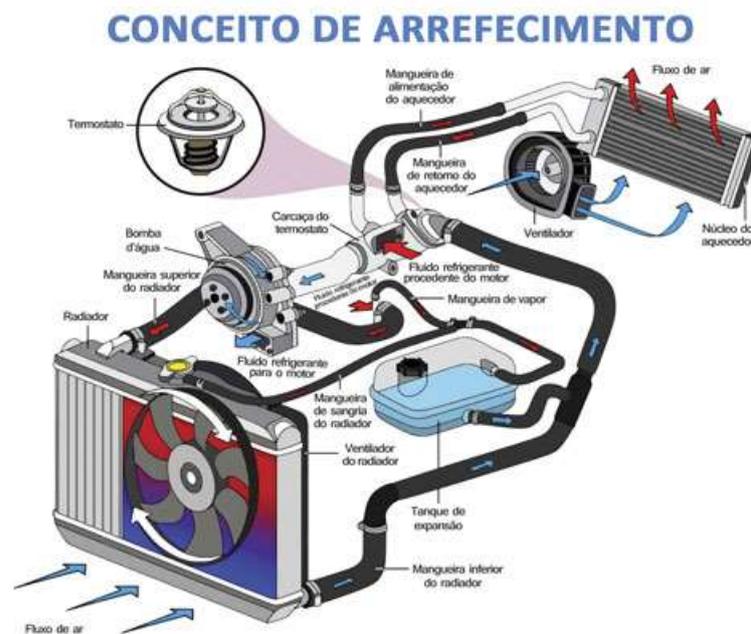
Este método, sendo o mais utilizado, permite um melhor controle da temperatura evitando o fenômeno de detonação, pois, a temperatura média dos componentes se mantém praticamente iguais, diferente do sistema de arrefecimento por circulação de ar (Brunetti, 2012).

O controle deste sistema é exercido pela válvula termostática, que fica localizada entre a saída do líquido de arrefecimento do cabeçote e o radiador. Ela é capaz de controlar o fluxo do líquido que circula no interior do radiador. Por meio deste controle, quando o motor está na fase fria de funcionamento, esta válvula se mantém fechada para que seja possível um aquecimento mais rápido do motor (Brunetti, 2012).

Como dito anteriormente a válvula se mantém fechada para que o motor aqueça mais rapidamente, e caso o motor funcione em uma temperatura muito baixa por um período longo isto levará a algumas implicações, como por exemplo gerar vapor de combustível condensado, por causa da baixa temperatura nas paredes das câmaras de combustão. (Brunetti, 2012)

Este combustível condensado acaba retirando o filme de óleo lubrificante das paredes do cilindro, o que leva um desgaste prematuro do motor. Também promove a formação de vernizes e gomas que prendem os anéis do pistão, atrapalhando-os de realizar sua função. Não obstante a combustão acaba sendo incompleta, o que eleva o consumo de combustível. E por fim, ocorre a contaminação do óleo lubrificante, que gera uma perda de suas propriedades, implicando diretamente na vida útil do motor. (Brunetti, 2012)

Figura 23 - Sistema de arrefecimento por circulação de água



Fonte: Revista Mercado e Tecnologia (2019)

7.3 Aditivos

Este líquido refrigerante que circula no interior das canalizações do motor necessita resistir a temperaturas abaixo de zero sem que ocorra o fenômeno de congelamento, como também suportar temperaturas de até 120°C sem que este líquido ferva. Nestes aditivos também devem conter inibidores de ferrugem e lubrificantes (Brunetti, 2014).

Um anticongelante, chamando de etilenoglicol reduz o ponto de congelamento e aumenta o ponto de ebulição. A mistura utilizada para o líquido de arrefecimento é feita com um anticongelante e água. A proporção mais usual é 50% etilenoglicol e

50% água. Em locais onde o veículo irá trabalhar com temperaturas negativas, pode-se utilizar até 75% etilenoglicol e 25% água (Brunetti, 2014).

Outro aditivo utilizado é o propileno glicol, este por sua vez apresenta uma menor proteção em baixas e altas temperaturas, porém, é menos tóxico.

Figura 24 - Aditivo do líquido de arrefecimento



Fonte: Blog Jocar (2019)

8 SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO

O sistema de alimentação possui fundamental importância para o funcionamento do conjunto, pois por meio dele o motor será alimentado com a quantidade correta de combustível para atender à solicitação de cada regime.

8.1 Carburador

Para que a combustão ocorra, é necessário que haja um sistema de alimentação que forneça combustível para o motor conseguir funcionar. Um dos sistemas primordiais que se tornou popular foi o carburador (Brunetti, 2014).

O carburador é um componente que é acionado mecanicamente e tem o objetivo de controlar a mistura ar combustível que será admitida pelo motor.

Essa peça é constituída por 4 sistemas:

Sistema de partida a frio: é acionado pelo afogador e utilizado para enriquecer a mistura para facilitar a partida dos motores.

Sistema de marcha lenta e progressão: sistema utilizado para manter o motor ligado em marcha lenta ou quando há pouquíssima solicitação de carga.

Sistema principal: utilizado quando há solicitação de carga do motor.

Sistema de aceleração rápida: utilizado quando há total solicitação do regime de carga do motor, fazendo com que o motor receba uma quantidade adicional de combustível.

Apesar do carburador ter sido uma peça revolucionária, ainda assim, não havia um controle preciso da mistura ar combustível que era admitido pelo motor, o que trazia diversas desvantagens na utilização desse sistema. Podemos citar como exemplo, o alto consumo de combustível, altos índices de poluição, necessidade de manutenções regulares etc.

Figura 25 - Carburador Brosol

Carburador **BROSOL** tipo H-34 SEIE

- 1 – Borboleta do afogador
- 2 – Tampa
- 3 – Tubo de entrada de combustível
- 4 – Cuba
- 5 – Válvula de máxima
- 6 – “Gicleur” da marcha lenta do 2º corpo
- 7 – Parafuso de encosto da borboleta do 2º corpo
- 8 – Mola de retorno da borboleta do 2º corpo
- 9 – Alavanca de comando do afogador

- 10 – Alavanca de acionamento da borboleta do 2º corpo
- 11 – Parafuso de regulagem da marcha lenta
- 12 – Alavanca do acelerador
- 13 – Alavanca intermediária
- 14 – Haste de ligação do afogador
- 15 – Parafuso de regulagem da mistura da marcha lenta
- 16 – Tubo de tomada de vácuo
- 17 – Bomba de aceleração
- 18 – “Gicleur” da marcha lenta do 1º corpo

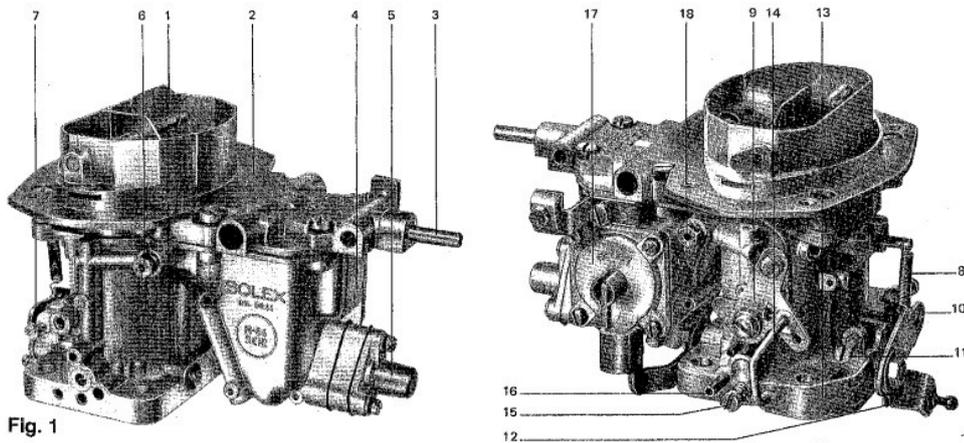


Fig. 1

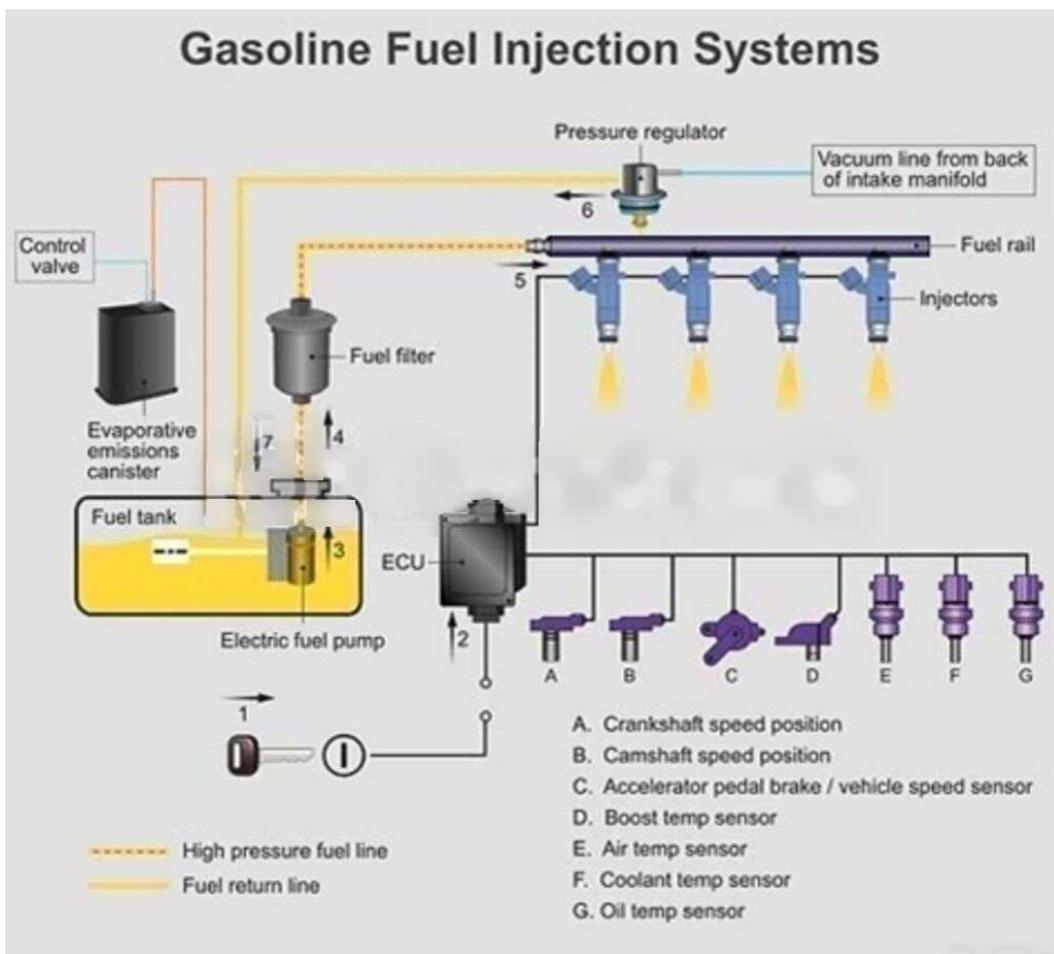
Fonte: Canal da peça (2018)

8.2 Injeção eletrônica

Os carburadores no Brasil foram largamente utilizados até o início da década de 90, porém, com os diversos tratados e acordos exigindo a redução da emissão de gases poluentes, novos sistemas tiveram que ser criados para atender leis e fazer o uso mais consciente dos combustíveis fósseis, contribuindo na preservação do meio ambiente.

Para minimizar a maioria dos problemas gerados pela utilização dos carburadores nos veículos e atender as exigências impostas pelos governos, foram desenvolvidos sistemas de injeção controladas eletronicamente, tendo como objetivo reduzir a quantidade de poluentes gerados, o consumo de combustível e aumentar a eficiência energética.

Figura 26 – Sistema de injeção eletrônica



Fonte: Quimiweb (2016)

O primeiro sistema de injeção foi desenvolvido por Leon Levavasseur, que criou um sistema puramente mecânico, capaz de injetar combustível no interior dos cilindros dos motores dos aviões, o modelo Antoinette VII (FLATOUT, 2020).

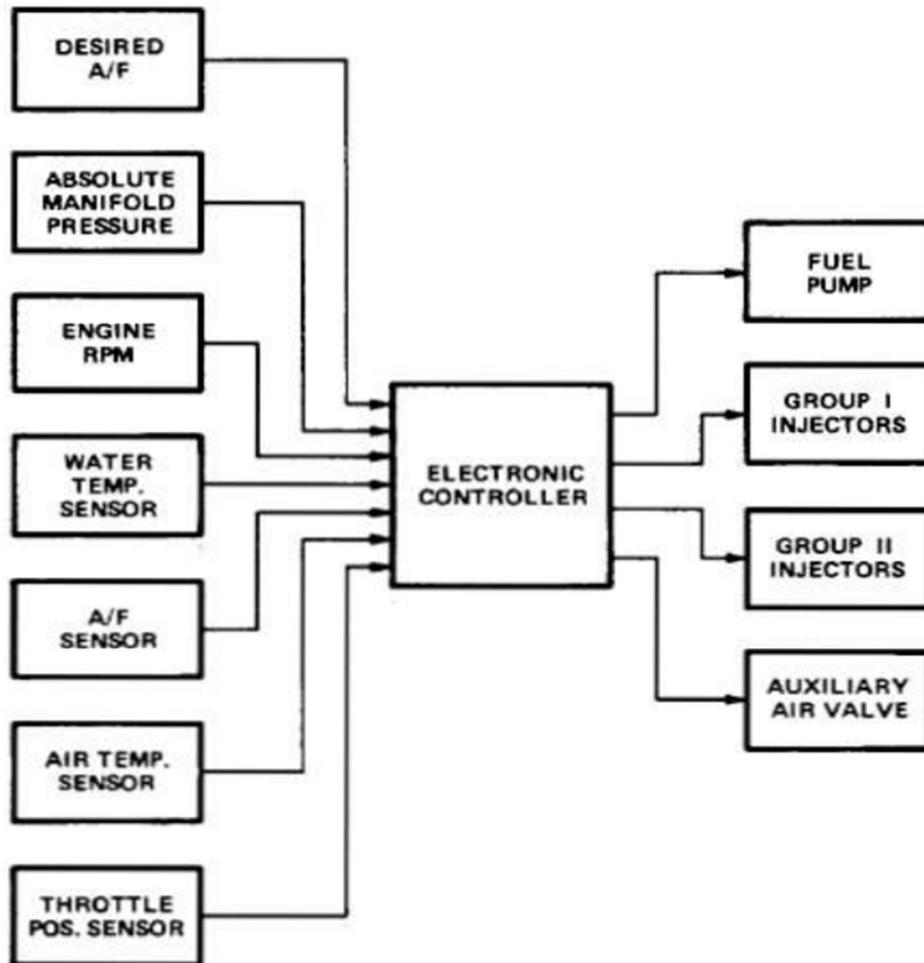
Os sistemas de injeção controlados eletronicamente que são utilizados atualmente, tiveram início no desenvolvimento em meados da década de 60, quando a Bendix desenvolveu o primeiro sistema de injeção eletrônica, que posteriormente em conjunto com a Chrysler, foi instalado em alguns veículos. Apesar de inovador, o novo sistema ainda apresentava certa limitação na capacidade de processamento de dados, pois a microeletrônica ainda era recente no mercado (FLATOUT, 2020).

Diante do fracasso do sistema, a Bendix vendeu suas patentes para a Bosch, que fez bom proveito dos projetos, tornando-os mais robustos e confiáveis. Após o término do desenvolvimento, a Bosch lançou o sistema conhecido como D-jetronic aplicado no veículo Volkswagen 1600 TL/E, que fez muito sucesso e ficou conhecido por ser o primeiro veículo a utilizar um sistema de injeção eletrônica confiável (FLATOUT, 2020).

Esses sistemas utilizam uma unidade de gerenciamento do motor que através dos dados obtidos pelos sensores, podem aplicar nos métodos das estratégias de gerenciamento do motor, um controle de malha aberta ou fechada, e depois acionar os atuadores no momento correto (FLATOUT, 2020).

Para que esse sistema funcione corretamente, é necessário a utilização de bons sensores, que sejam capazes de transformar os fenômenos físicos em grandezas elétricas, com a maior fidelidade possível de detalhes. Assim como os sensores, os atuadores devem seguir diversos requisitos para que quando acionados, cumpram a sua função com a menor taxa de variação possível (FLATOUT, 2020).

Figura 27 - Diagrama do sistema de injeção eletrônica



Fonte: Automotive electronic fuel Injection (1974)

Em sua configuração analógica, não conseguindo realizar a correção da mistura, por não possuir o sensor de oxigênio, perdeu espaço para o sistema monoponto digital (Overcar, 2008, apud Hurtado, Diego e Souza, Alfeu 2008).

Atualmente, a ECU de controle do motor utiliza o controle de malha fechada, que faz necessário a utilização de uma maior quantidade de sensores para garantir que a ECU processe mais dados e tenham um maior domínio sobre o gerenciamento do motor.

Os sistemas de injeção podem ser divididos basicamente em dois grupos: os sistemas de injeção direta e os sistemas de injeção indireta.

Os sistemas de injeção indireta são construídos de forma que o combustível seja injetado no coletor de admissão para quando ocorrer a fase de admissão, a mistura ar combustível seja puxada para dentro do cilindro. Esse sistema pode

apresentar diversas configurações de montagem e de aplicações, que necessitam de projetos e controles diferentes.

A configuração mais simples do sistema de injeção indireta é conhecida como injeção monoponto, nessa configuração, é utilizado um injetor para alimentar todos os cilindros, o que dificulta o controle fino do combustível injetado, pois não há um direcionamento específico do jato e os cilindros recebem uma quantidade não homogênea de combustível.

O aprimoramento da tecnologia aliada a necessidade de um melhor desempenho dos motores e o nível de emissões mais controlada, foi criado o sistema multiponto. Sua tecnologia utiliza um injetor para cada cilindro, tendo a possibilidade de ter uma das seguintes configurações: injeção simultânea, injeção semi sequencial, injeção sequencial e injeção sequencial fasada (Martins, 2006).

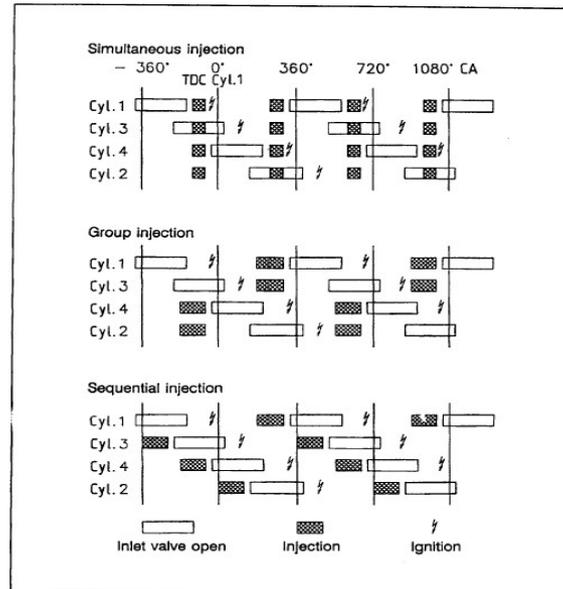
Injeção simultânea: Neste tipo de injeção, os injetores ficam conectados em paralelo, injetando o combustível de forma simultânea, não importando em qual fase que se encontra o cilindro, havendo dois períodos de injeção por ciclo. Desta maneira é fornecido a metade de combustível necessário em cada período de injeção (BOSCH, Barkhimer, SENAI, Ribbens & Lenz apud Barbosa, 1997).

Semi sequencial: Nesse modo, o combustível será injetado por bancos do motor, ou seja, nos cilindros que estão na fase de admissão e combustão.

Injeção sequencial: O combustível é injetado de forma sequencial no cilindro que está na fase de admissão, ou seja, somente um injetor atua por vez.

Injeção sequencial fasada: Nesse modo, o combustível é injetado no começo e no final da fase de admissão, ou seja, há 2 momentos em que o combustível é injetado.

Figura 28 - Configurações de injeção multiponto



Fonte: Barbosa (1997)

Atualmente o sistema utilizado é a injeção multiponto (PFI – *Port Fuel Injection*), o combustível é injetado junto à válvula de admissão ou no coletor de admissão. Este combustível é admitido por meio de sucção, devido o fluxo de ar durante a fase em que a válvula de admissão está aberta. A homogeneização neste sistema é realizada no coletor de admissão e se torna completa no interior do cilindro durante as fases de admissão e compressão.

A relação ar/combustível têm influência direta no comportamento do motor e pode ser classificada da seguinte forma, pelo fator Lambda (λ):

Quando $\lambda < 1$ a mistura denomina-se-pobre.

Quando $\lambda = 1$ a mistura denomina-se estequiométrica.

Quando $\lambda > 1$ a mistura denomina-se rica.

Quando a estratégia do motor está com uma mistura extremamente pobre, a frente de chama se propaga de uma forma muito lenta, o que provoca um superaquecimento da câmara de combustão e ligeiro aumento de HC nas emissões, podendo gerar também o fenômeno de retorno de chama (*back fire*). O limite pobre determina até onde a mistura ar/combustível pode chegar, mantendo o motor estável e operante (Brunetti, 2014).

Uma mistura levemente pobre visa a economia de combustível, onde o excesso de ar ocasiona uma combustão completa, queimando todo o combustível presente na câmara de combustão, conseqüentemente reduzindo a emissão de monóxido de carbono (CO) e podendo elevar as emissões de NO_x (Brunetti, 2014).

A mistura levemente rica tem como objetivo a máxima potência do motor em uma determinada rotação, onde a combustão deste combustível seja completa para a quantidade máxima de ar que o motor pode admitir (Brunetti, 2014).

O excesso de combustível denomina-se limite rico, elevando as emissões de CO e HC. Esta condição dificulta a propagação da frente de chama devido a vaporização em excesso, o que provoca uma quantidade de combustível sobressalente, diminuindo a temperatura da câmara de combustão, devido à falta de ar e excesso de combustível, levando a perda da frente de chama (Brunetti, 2014).

8.3 Injeção direta de combustível

A injeção direta começou a ficar mais popular atualmente entre os veículos com motor de ciclo Otto, porém, não é uma tecnologia tão recente assim, o primeiro motor que utilizou esse tipo de injeção foi aproximadamente no ano de 1910, desenvolvidos para aviões (FLATOUT, 2020).

Figura 29 - Injetor de injeção direta



Fonte: Ebay (2021)

Em 1955, o Mercedes-Benz 300 SL foi o primeiro veículo produzido em série a utilizar o sistema de injeção direta de combustível, que era produzido pela Bosch (FLATOUT, 2021).

No início, com o objetivo de atingir uma eficiência térmica que fosse próxima aos motores de ciclo Diesel, porém, não se tornou viável. As primeiras aplicações apresentaram dificuldades no seu desenvolvimento, junto ao seu alto custo, tanto nos sistemas de tratamento de emissões de poluentes, como na durabilidade dos componentes utilizados (Brunetti, 2014).

Este sistema entrou em desuso na década de 60, e o seu retorno em veículos de passeio foi realizado aproximadamente 30 anos depois, com o Mitsubishi Galant, este sendo o primeiro modelo de fabricação em massa a utilizar o sistema de injeção direta.

Figura 30 - Comparação entre a injeção indireta e direta



Fonte: AUTO PORTAL (2016)

A grande diferença em relação ao sistema de injeção indireta de combustível PFI (*Port Fuel Injection*) está no injetor, que necessita suportar uma grande pressão, altas temperaturas na câmara de combustão e a capacidade de atomizar o combustível. Assim como o injetor, o tubo de distribuição do combustível após a bomba secundária também necessita suportar essa alta pressão, sendo geralmente fabricado em aço inox.

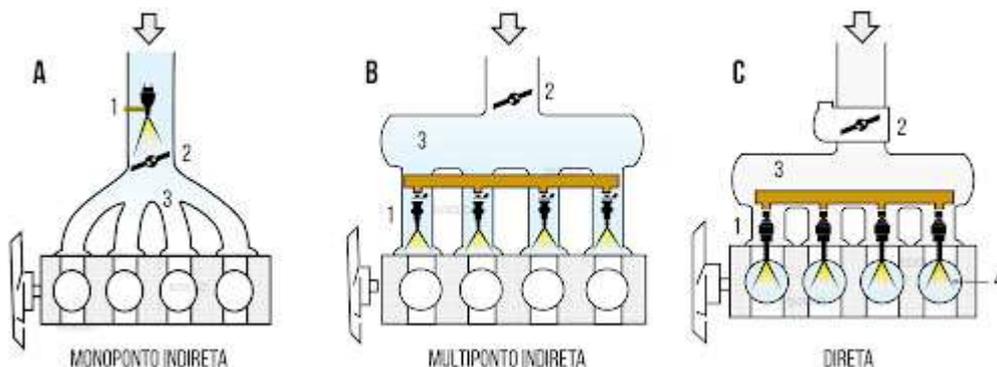
A pressão de trabalho destes injetores chega a ser até 40 vezes maior se comparado com o sistema de injeção indireta, sendo essa pressão gerada por meio de uma bomba mecânica secundária, que é acionada pelo motor do veículo e recebe o combustível proveniente da bomba elétrica, que está instalada no interior do tanque

de combustível, gerando uma pressão aproximada de 4 bar. Após o combustível percorrer a linha de alimentação e chegar à bomba mecânica secundária, essa pressão é elevada em até 200 bar dependendo do projeto (Brunetti, 2014).

Com a adoção da injeção direta de combustível foi possível com que houvessem mais de uma injeção de combustível no mesmo ciclo de combustão, assim, gerando uma maior resistência à detonação, o que permitiu que fosse empregada uma taxa de compressão mais elevada (Brunetti, 2014).

O controle da mistura ar/combustível ficou mais preciso pois, não há resquícios de combustível nas paredes do coletor de admissão ou dutos do cabeçote. Com essa melhor administração do controle da relação ar/combustível, é possível ter um melhor controle de emissões de poluentes, menor consumo de combustível e uma melhor dirigibilidade (Brunetti, 2014).

Figura 31 - Comparativo entre os sistemas de injeção



Fonte: Blog Ciclo Engenharia (2017)

A mistura ar/combustível e sua formação são importantes para a propagação da combustão e uma melhor eficiência, o que garante um melhor aproveitamento da energia química do combustível. Com a injeção direta, o menor tempo de formação de mistura garante uma melhor atomização do combustível, o que possibilita que o combustível injetado tenha uma área superficial maior em contato com o ar (Brunetti, 2014).

Segundo Brunetti (2014, p.491), o cálculo da atomização do combustível é dado principalmente pelo tamanho médio da gota de combustível injetado (SMD – *sauter mean diameter*). O tamanho médio da gota é inversamente proporcional ao delta da pressão de injeção.

$$SMD \approx \frac{1}{\sqrt{P_{inj} - P_{cyl}}}$$

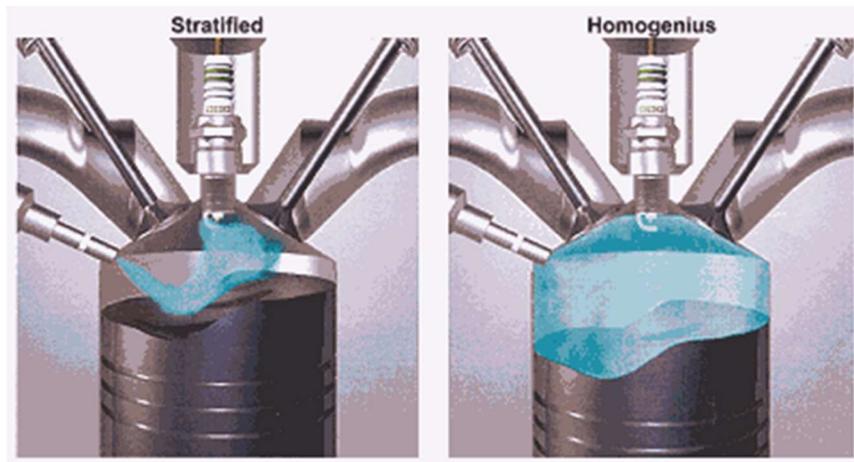
SMD: tamanho médio da gota. (μm)

P_{inj} : pressão de combustível à montante do injetor. (bar)

P_{cyl} : pressão na câmara de combustão durante a injeção. (bar)

De acordo com Bruneti (2014), o sistema de injeção direta de combustível permite a queima estratificada, ou seja, relação ar/combustível global da câmara de combustão extremamente pobre (acima de 20% de excesso de ar). Entretanto, a ignição do combustível e a evolução da frente de chama se tornam muito mais comprometidas em misturas extremamente pobres. Para garantir a ignição e a evolução da frente de chama, é necessário garantir relação ar/combustível próxima da estequiométrica, ao menos no entorno dos eletrodos da vela de ignição.

Figura 32 - Formação da mistura estratificada e homogênea



Fonte: Automag (2014)

Sendo um dos sistemas mais atuais que temos, pode trabalhar em uma alta pressão, onde o combustível é injetado diretamente na câmara de combustão e é possível ter até oito tipos de misturas (BOSCH, 2006).

Mistura homogênea: Procura manter a sua mistura estequiométrica, e quando se procura mais desempenho, pode trabalhar levemente rica (Faggi, 2012).

Mistura estratificada: Geralmente se trabalha em baixas rotações, funcionando em uma mistura mais pobre e não necessitando da operação da válvula borboleta (Faggi, 2012).

Mistura homogênea pobre: Trabalha na transição entre mistura homogênea e estratificada (Faggi, 2012).

Mistura homogênea estratificada: Nesse modo é feito uma injeção em dois intervalos, uma quantidade na admissão do ar e a outra durante a compressão, tornando uma mistura pobre homogênea (Faggi, 2012).

Mistura homogênea dividida: Muito utilizado após o motor partir a frio, é uma mistura estratificada com um atraso de avanço maior, seu objetivo é poder aquecer o conversor catalítico mais rápido (Faggi, 2012).

Mistura homogênea com proteção de detonação: O ponto do avanço de ignição correto leva a um torque maior no eixo do motor, porém, o potencial nesse modo é limitado (BOSCH, 2006) (Faggi, 2012).

Mistura estratificada para aquecer o conversor catalítico: Nesse modo, temos a ignição sendo acionada atrasada entre as duas injeções (Faggi, 2012).

Mistura estratificada para a partida: Trabalha com uma mistura um pouco mais pobre que a mistura estratificada normal, emitindo menos poluição durante a partida e operação a frio (Faggi, 2012).

9 SISTEMA DE IGNIÇÃO

A ignição é o início da combustão. Esse processo, através de uma centelha elétrica gerada pela vela de ignição, irá inflamar a mistura ar-combustível (BOSCH, 2005).

Uma tensão entre 5kV até 20kV é enviada para a vela de ignição para que seja possível a geração da centelha, porém, como a bateria do veículo utilizada para alimentar este sistema é de apenas 12V, um sistema secundário entra em ação, chamado de bobina de ignição. Essa bobina irá elevar a tensão, recebida pela bateria de forma alternada, para a tensão necessária para as velas de ignição.

Nas tecnologias mais antigas, um distribuidor de ignição fica acoplado diretamente no comando de válvulas e tem o papel de disponibilizar esta tensão para cada uma das velas (BOSCH, 2005).

O controle é realizado pelo platinado, permitindo com que a centelha seja gerada apenas no momento correto. Este controle é realizado de maneira mecânica por meio de um chaveamento da tensão que foi gerada pela bobina de ignição.

Esta tensão elevada pela bobina pode ser distribuída para cada vela de ignição no momento correto e na ordem de ignição correta, de acordo com a rotação do motor, devido a combinação entre o distribuidor de ignição e platinado.

Atualmente os veículos utilizam um gerenciamento eletrônico, que é capaz de determinar em qual o instante exato que será fornecido o sinal de ignição. Neste sistema, é eliminado a bobina de ignição central e o distribuidor, sendo substituído por bobinas independentes, uma bobina para cada vela de ignição.

Com a adoção deste método, a fuga de energia nos cabos de ignição é inexistente, assim, o sistema é capaz de obter uma maior tensão para as velas de ignição, resultando em uma melhor queima da mistura ar/combustível, otimizando a potência do motor e reduzindo a emissão de poluentes.

10 A ADMISSÃO DE AR NOS MOTORES

O ciclo Otto necessita que a etapa de admissão de ar ocorra corretamente, para o ciclo ser realizado por completo. Os motores podem apresentar as seguintes configurações de admissão de ar: aspirado ou sobrealimentado.

Na configuração aspirada, o rendimento do motor terá variações de acordo com o nível da pressão atmosférica do ambiente em que veículo se encontra, isto se aplica principalmente aos motores de aspiração natural (Brunetti, 2014).

Um motor aspirado admite o ar através da depressão gerada quando o pistão se desloca do PMS para o PMI, onde essa depressão gera uma diferença de pressão entre o interior do cilindro e o ambiente externo, possibilitando que o ar seja puxado e entre facilmente para o interior do cilindro. Nessa configuração, o motor apresenta uma faixa de aceleração mais linear e a potência máxima é alcançada no limite do RPM do motor, em contrapartida, o torque máximo estará presente em regimes de rotação intermediários. (Brunetti, 2014)

Nos motores, a potência pode variar dependendo da vazão de massa de ar, e conseqüentemente ocorre uma variação na pressão de admissão no motor. Diferente do motor Diesel, esta potência irá variar de acordo com a mistura de ar/combustível, o que resulta na variação da eficiência térmica.

Apesar desta configuração estar presente em grande parte dos veículos no mercado brasileiro, com uma concepção de projeto e mercado mais antigos, há diversas diferenças perceptíveis em relação aos sistemas sobrealimentados. Em

locais próximos ao nível do mar, a densidade do ar será maior e a concentração de oxigênio será maior, promovendo um maior rendimento do motor, e em locais mais distantes do mar, como em montanhas, o rendimento será menor devido ao ar mais rarefeito. (Brunetti, 2012)

11 TURBOCOMPRESSORES

Nos motores sobrealimentados, o obstáculo da diminuição do rendimento do motor conforme a altura do local que este veículo trafega é sanado, pois existe um componente que irá induzir ar comprimido de forma forçada na admissão do motor. Basicamente, há dois principais sistemas de sobrealimentação para motores, o primeiro e mais utilizado, é o turbocompressor e o outro sistema, conhecido como *supercharger* (Brunetti, 2012).

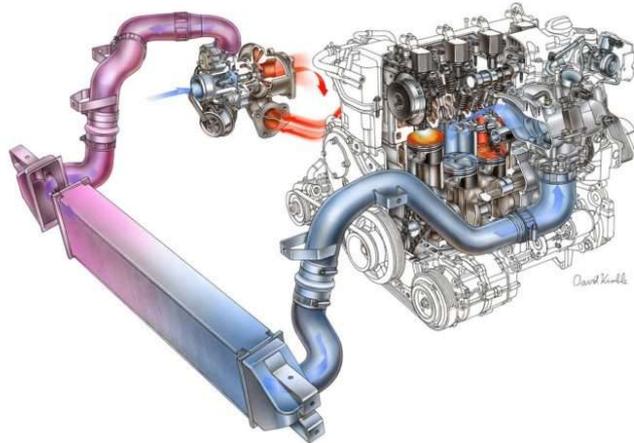
Ao contrário do turbocompressor, o *supercharger* é um compressor mecânico, acionado por uma correia ou corrente ligada à árvore de manivelas, ou seja, por conta de sua construção e configuração utilizar parte da potência disponível do motor, a eficiência total do conjunto terá uma pequena redução.

Com a busca crescente por uma maior eficiência energética, as montadoras começaram a aplicar o conceito de *Downsizing*, onde o turbocompressor teve papel fundamental para o desenvolvimento de novos motores. Este conceito substitui motores de concepção com maior cilindrada por motores menores e sobrealimentados, tendo assim um motor com o mesmo torque e potência, porém com um menor consumo de combustível (Brunetti, 2012).

No interior da carcaça, o rotor da turbina utilizará os gases provenientes do processo de exaustão do motor, assim é possível realizar seu movimento rotacional e pressurizar o sistema.

Durante o ciclo de compressão, existe um grande aumento na temperatura do ar pressurizado, e por isto é instalado entre o compressor e o sistema de admissão um *Intercooler* ou *Water cooler*, que é um trocador de calor visando reduzir a temperatura do ar admitido em relação aos valores na saída da carcaça do compressor, aumentando a densidade do ar e conseqüentemente tendo um acréscimo de potência (Brunetti, 2012).

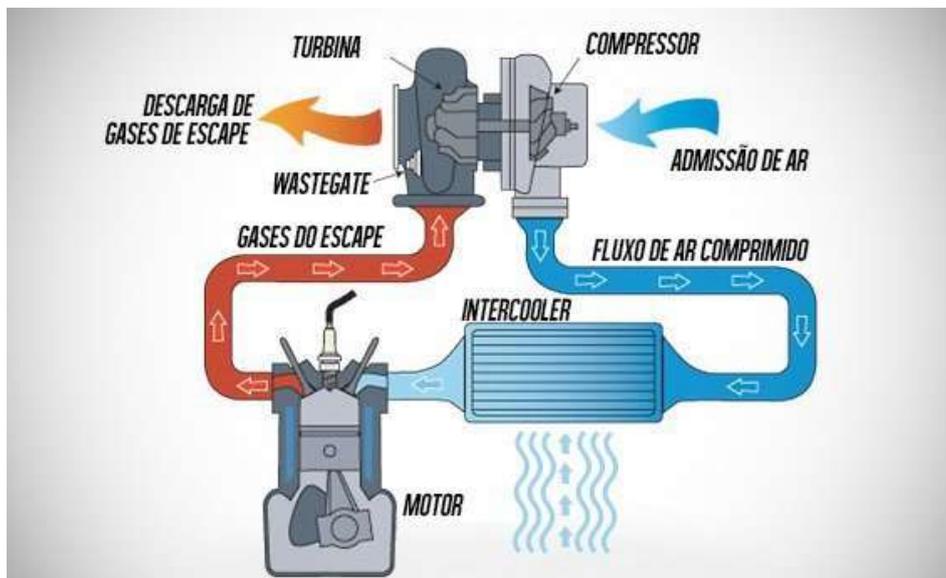
Figura 33 - Sistema de resfriamento do ar pressurizado



Fonte: Coches (2019)

Para um controle preciso de pressão é necessário que um dispositivo chamado *Válvula Wastegate* evite que a pressão atinja valores altos e ocasione uma quebra do sistema. Esta válvula é constituída por um atuador pneumático ou elétrico e uma haste que realiza a liberação dos gases. A válvula pode ser interna ou externa com atuador pneumático ou eletrônico (Brunetti, 2012).

Figura 34 - Como é instalado o turbocompressor



Fonte: APS DISTRIBUIDORA (2021)

A estratégia empregada pelo *Downsizing* busca realizar a substituição de motores de 6 cilindros por 4 cilindros sobrealimentados, por exemplo. Uma prática muito comum atualmente empregada em veículos de produção é a diminuição da

capacidade volumétrica do motor e sobrealimentado. Os motores de 1000 cm³ sobrealimentados poderão atingir o mesmo nível de torque e potência de um de 2.000 cm³ aspirado (FLATOUT, 2016).

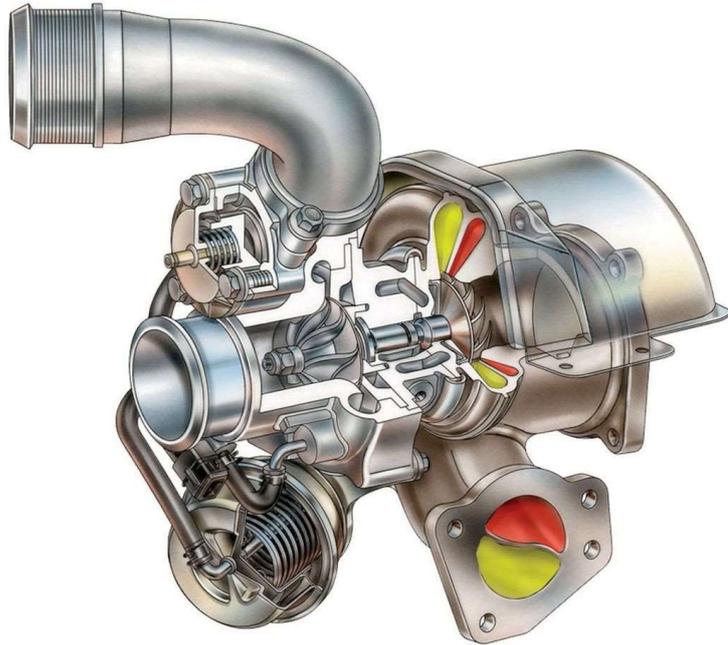
11.1 MODELOS DE TURBOCOMPRESSORES

Além do modelo tradicional existem dois diferentes tipos de turbocompressores, sendo eles o *Twin-Scroll* e o Turbocompressor de Geometria Variável (TGV), que hoje em dia é o mais utilizado quando se busca uma maior eficiência (FLATOUT, 2020).

11.1.1 Twin-Scroll

O modelo *Twin-Scroll* possui a carcaça da turbina dividida em duas partes iguais dividindo os gases provenientes do processo de exaustão.

São exatamente duas volutas divididas para os cilindros gêmeos, desta forma é possível obter respostas melhores aos pulsos dos gases de exaustão pois a relação área/raio de cada um dos dutos acaba sendo menor, desta forma, a velocidade dos gases será muito maior melhorando a resposta da turbina. Em carros que utilizam coletor de escapamento, existe a necessidade de que os dutos do coletor sejam divididos igualmente aos cilindros gêmeos. Atualmente a maior parte dos modelos utilizam o coletor de escapamento integrado ao bloco do motor (FLATOUT, 2020).

Figura 35 - Turbocompressor *Twin-Scroll*

Fonte: MotorTrend (2009)

O turbocompressor do tipo *Twin-Scroll* possui vantagens como a redução do consumo de combustível, aumento do desempenho em todas as faixas de rotação, melhor eficiência da turbina e melhor aproveitamento da energia contida nos pulsos dos gases de exaustão.

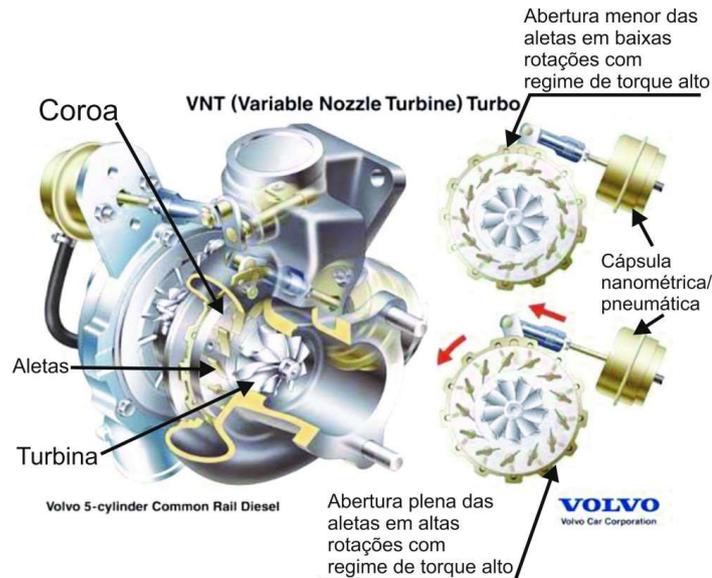
11.1.2 Turbocompressor de Geometria Variável (TGV)

Um TGV utiliza aletas que se movem para ajustar o fluxo de ar direcionado para o rotor da turbina, sendo possível simular turbocompressores de diferentes tamanhos, apenas abrindo ou fechando as aletas, assim, otimizando a curva de potência e torque. O ângulo é ajustado por um atuador para aumentar ou diminuir o fluxo de ar que é direcionado para o rotor da turbina, por meio desta variação é possível manter a velocidade de descarga e contrapressão ao longo das faixas de rotação do motor (FLATOUT, 2020).

Fazendo o uso deste sistema, existe a possibilidade de controlar o fluxo dos gases, para que opere como um turbo pequeno em baixas rotações, devido o fluxo dos gases ainda ser muito baixo, sendo assim possível fornecer maiores níveis de

torque ao motor. Em rotações mais elevadas onde o fluxo dos gases de escape é muito maior, o turbo se dimensiona automaticamente para aproveitar melhor os gases e apresentar características de um turbo de maiores dimensões proporcionando também um alto torque em altas rotações (FLATOUT, 2020).

Figura 36 - Turbocompressor de Geometria Variável



Fonte: Blog Simplo (2019)

11.2 Quanto a instalação do turbocompressor

Existem dois modos de instalação mais utilizados pelos turbocompressores sendo eles o biturbo sequencial, que é a montagem de dois turbocompressores de tamanhos diferentes conectados em sequência. O outro modelo é chamado de *Twin-Turbo* ou Biturbo paralelo, onde as duas turbinas são do mesmo tamanho e não possuem interação entre elas, sendo uma turbina para cada bancada do motor.

11.2.1 Biturbo sequencial

Nesse sistema, a montagem feita é sequencial dos turbocompressores. Um turbocompressor de menor área/raio (A/R) opera em baixas rotações e um turbocompressor de maior A/R é utilizado para maiores rotações (FLATOUT, 2020).

Em rotações mais baixas, se mantém fechada uma das válvulas de saída, permitindo que os gases de escape percorram a primeira turbina, que por ser menor

chega em sua eficiência máxima mais rapidamente, reduzindo o turbolag. À proporção que a rotação do motor se eleva, as duas válvulas se fecham, permitindo que os gases passem primeiro pelo turbocompressor menor e depois seguem para o maior, possibilitando o sistema de comprimir uma maior quantidade de ar (FLATOUT, 2020).

Figura 37 - Turbocompressor BorgWarner Biturbo



Fonte: Turbo Centras (2021)

11.2.2 Biturbo paralelo

Nesse sistema, dois turbos idênticos são montados um para cada conjunto de cilindros, em um motor 4 cilindros por exemplo, um turbo funciona para os cilindros 1 e 3, o outro turbo funciona para os cilindros 2 e 4. Assim cada unidade opera com a metade do fluxo dos gases de exaustão, podendo utilizar a carcaça da turbina menor sem prejudicar o sistema causando restrições ao fluxo em altas rotações, pois a quantidade de ar será menor devido aos gases estarem sendo divididos entre os dois turbocompressores. Com a carcaça da turbina sendo menor isso implica em um menor turbolag (FLATOUT, 2020).

Figura 38 - 3.9 L *twin-turbocharged* Ferrari F154CB V8



Fonte: You Wheel (2015)

12 SISTEMA DE EXAUSTÃO

O sistema de exaustão é necessário para que os gases gerados na fase de combustão sejam coletados e descarregados de forma adequada. Este sistema visa reduzir o ruído que é causado pelo motor, gerar uma perda mínima de potência, ter uma boa durabilidade, ser compacto e ter um baixo custo para a montadora. Segundo o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), Resolução nº252 de 1999, deve-se haver limites de ruídos nas proximidades do escapamento.

Quando se expelle o gás gerado pela combustão, é necessário ter um sistema que diminua os níveis de poluentes e por esta razão foram implantados os conhecidos “catalisadores”, que modificam a composição dos gases tornando-os menos prejudiciais ao meio ambiente (Martins, 2019).

Outra função do sistema de exaustão, é a capacidade de aumentar a massa de ar aspirada para dentro dos cilindros, podendo gerar mais potência e torque para o motor (Martins, 2019).

A velocidade de escoamento destes gases é superior a velocidade do som e necessitam ser expelidos rapidamente, devido a contrapressão. Caso essa liberação não ocorra de forma rápida, existirá a contrapressão no sistema de escape, gerando um aumento dos gases residuais no interior da câmara de combustão, o que influenciará diretamente na eficiência volumétrica do motor.

13 COMANDO DE VÁLVULAS VARIÁVEL

Na década de 60, as fabricantes de automóveis deram início ao desenvolvimento dos sistemas da variação do comando de válvulas, onde era possível adiantar ou atrasar a abertura das válvulas do motor, visando aperfeiçoar a eficiência volumétrica do motor e reduzir as emissões de poluentes (Brunetti, 2014).

As válvulas do motor conseguem se abrir devido aos cames, parte que integra o comando de válvulas, como é conhecido popularmente. Os primeiros sistemas tinham suas válvulas de admissão e escape que se abriam de uma determinada forma em um determinado tempo, porém, a tecnologia do comando de válvulas variável chegou para mudar esse conceito.

A maior parte dos motores atualmente no mercado, apresentam a tecnologia do comando de válvulas variável, que irá contribuir na redução do consumo de combustível e nas emissões de poluentes, devido ao seu funcionamento estar relacionado ao controle de ar admitido e dos gases de escape. A variação no eixo comando de válvulas pode ser dividida em duas atuações: a variação de fase (quando elas devem se abrir) e a variação da abertura das válvulas (o ângulo de abertura e o tempo que podem permanecer abertas) (Brunetti, 2014).

A variação de fase permite que um atuador hidráulico gire o comando em seu próprio eixo, alterando a abertura das válvulas, podendo ser adiantadas ou atrasadas, através da modificação no sincronismo entre o eixo e a árvore de manivelas, enquanto na variação de abertura, por meio da ECU um perfil de came é selecionado com base na velocidade em que o motor se encontra e a carga solicitada. Sensores são utilizados para monitorar a posição do comando de válvulas e da árvore de manivelas. Utilizando a informação destes sensores, a ECU consegue identificar a posição em que se encontra os pistões, válvulas de admissão e escape e saber a velocidade do motor (Brunetti, 2014).

O primeiro sistema de comando de válvulas variável era conhecido como VVT (*Variable Valve Timing*), criado pela Toyota em 1991. Esse sistema era capaz de abrir e fechar as válvulas de admissão em duas etapas, com base nas condições de trabalho do motor, a fim de conseguir um melhor desempenho no motor (Toyota, 1995).

Em 1996 foi lançado o VVT-i (*Variable Valve Timing with Intelligence*), que seria um comando de válvulas variável com sistema inteligente. Segundo o site da

Toyota (1995), o VVT-i é uma versão melhorada do VVT, capaz de alterar continuamente o tempo de abertura e fechamento das válvulas de admissão, proporcionando um maior torque de saída, melhoria na economia de combustível, e reduções de NOx e HC.

O VVT-i é composto de três componentes principais:

- (1) a unidade de controle eletrônico (ECU), que calcula a sincronização ideal da válvula de admissão com base nas condições de operação do motor;
- (2) a válvula de controle de óleo (OCV), que controla a pressão hidráulica de acordo com as instruções da ECU;
- (3) a polia WT, que muda continuamente o sincronismo da válvula de admissão usando pressão hidráulica. A polia WT não precisa de uma bomba adicional para funcionar porque usa a bomba de óleo do motor convencional (Toyota, 1995).

Em março de 2009 a Fiat lançou uma nova tecnologia de comando de válvulas variável conhecida como *MultAir*, introduzida nos motores FCA GSE 1.0 de 3 cilindros e o 1.3 de 4 cilindros. Um grande diferencial desse sistema é a possível versatilidade de motores em que pode ser instalado (Oliveira, 2021).

A criação do sistema de comando válvulas variáveis da Fiat, auxilia de forma semelhante em relação a outros sistemas de VVT, compensando uma das maiores ineficiências do motor, a perda de bombeamento. Essa ineficiência faz com que o motor chegue a ter uma perda de até 10% de energia, que poderia ser utilizada na propulsão (Oliveira, 2021).

14 MOTORES FLEX

Os motores flex foram uma alternativa para que houvesse uma flexibilidade na escolha do tipo de combustível utilizado.

Denomina-se veículos flex os automóveis equipados com motores capazes de trabalhar com mais de um tipo de combustível. Para que o sistema funcione corretamente, é adotado no projeto um motor que possua uma taxa de compressão intermediária e atenda ambos os combustíveis que foram projetados para alimentar o motor.

No Brasil, é comum a comercialização de veículos flex, principalmente de motores que são capazes de trabalhar tanto no etanol, quanto na gasolina. Para isto,

é utilizado a taxa de compressão intermediária de 11:1, uma mescla da taxa da gasolina pura (10:1) com o etanol (13:1) (BOSCH, 2005).

Para que os motores fossem capazes de trabalhar com os combustíveis etanol e gasolina em proporções diferentes, os fabricantes de motores tiveram de utilizar materiais diferentes para evitar a corrosão das peças internas, problema causado principalmente pela concentração mais elevada de água no etanol, em torno de 5% de etanol hidratado. Além da composição diferente das peças, outras mudanças foram feitas como, utilização de comando de válvulas com geometrias diferentes, modificando o tempo de abertura e fechamento das válvulas, velas de ignição diferentes, estratégia de gerenciamento do motor adaptativa, para atender ambos os combustíveis.

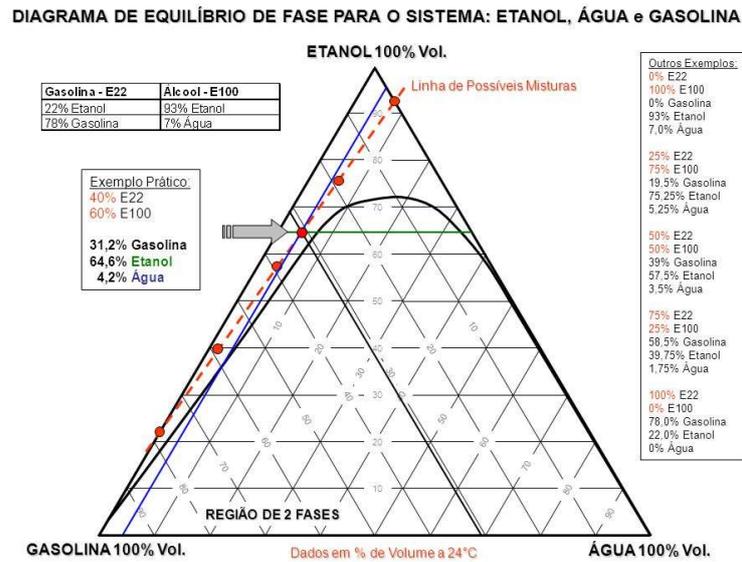
O benefício do poder de escolha entre um combustível de origem fóssil e um de origem vegetal trouxe conforto para os motoristas poderem escolher qual dos dois possui um melhor custo-benefício na hora do abastecimento do veículo. Por outro lado, as adaptações que tiveram de ser feitas no sistema, dificultaram o desenvolvimento de uma estratégia de gerenciamento otimizado para um só combustível, o que garantiria um motor com mais potência, torque e menor consumo de combustível e emissão de poluentes, pois a ECU de injeção de combustível eletrônica (EFI - *Electronic Fuel Injection*) trabalharia com mapas de controle do motor otimizados para determinado combustível, sem precisar fazer ajustes e correções de parâmetros relacionados ao combustível.

Sendo assim, a ECU de EFI dos veículos flex, tiveram de ser calibrados para atender as diversas misturas que o motorista pode abastecer o veículo, sendo necessário a utilização de uma calibração específica.

O gerenciamento do motor deve contar com um sensor de combustível para ter um pré-controle da mistura, assim, tendo um retorno da quantidade de álcool que contém na mistura. Com isso, é possível fazer um melhor gerenciamento da segurança do motor, calculando as correções da mistura e ignição de acordo com a qualidade do combustível (BOSCH, 2005).

A Figura 39 demonstra uma faixa de operação da mistura.

Figura 39 - Diagrama de equilíbrio



Fonte: Msc. Guilherme e Ebeling; Apud. SlidePlayer (2020)

15 EMISSÕES

Considerado os produtos nocivos para o homem e para o meio ambiente, gerados pelo processo de combustão nos motores de combustão interna são chamados de emissões.

O produto da combustão completa e estequiométrica é o dióxido de carbono (CO_2), água (H_2O) e o Nitrogênio (N_2), podendo ocorrer variações na proporção destes gases conforme a condição de operação do motor, qualidade do combustível e a qualidade da mistura. Em situações reais, raramente essa condição é alcançada. Nos motores de combustão interna, esse processo ocorre consecutivamente, gerando além de H_2O e CO_2 , componentes indesejáveis como, Óxidos de nitrogênio (NO_x), Monóxido de carbono (CO), Hidrocarboneto (HC), Materiais particulados (MP), dentre outras substâncias (Brunetti, 2012).

Todos esses componentes secundários provindos da queima incompleta da mistura, afetam negativamente o meio ambiente e a saúde das pessoas, pois são liberados diversos materiais tóxicos no ambiente, ocasionando um aumento na poluição, e conseqüentemente, um aumento na taxa de pessoas com doenças, principalmente por problemas respiratórios (Brunetti, 2012).

Diante da regulamentação ambiental para redução dos poluentes emitidos pelos motores, as montadoras tiveram de investir na área de pesquisa e

desenvolvimento para criar tecnologias que melhorassem o rendimento do motor, tornando-os menos poluentes e conseguindo atender as normas ambientais. A redução nas emissões só foi possível através da criação e utilização de diversos sistemas que promovem o aumento da eficiência do motor, redução do consumo de combustível, entre outras vantagens (Brunetti, 2012).

15.1 Monóxido de carbono (CO)

O monóxido de carbono (CO) é resultado de uma combustão incompleta de combustíveis que possuem em sua composição o carbono, sendo mais elevado com mistura rica. Este gás incolor, inodoro e tóxico, ao ser inalado se liga à hemoglobina reduzindo significativamente o transporte de oxigênio pelo sangue (BOSCH, 2005).

Se inalado em baixa concentração pode causar fraqueza, dores de cabeça, náuseas e tontura. Em altas concentrações pode causar a diminuição da frequência cardíaca, fortes dores de cabeça, desmaios e levar à morte (BOSCH, 2005).

15.2 Óxido de nitrogênio (NO_x)

NO_x ou óxido de nitrogênio é o termo utilizado para identificar a soma de monóxido de hidrogênio e dióxido de nitrogênio. Quando em contato com o oxigênio do ar, as moléculas de NO logo se convertem em NO₂. Este gás é emitido principalmente em motores Diesel e provém da reação química do nitrogênio, devido a elevada pressão e temperatura na câmara de combustão (BOSCH, 2005).

15.3 Aldeídos

Os aldeídos se formam principalmente em baixas temperaturas de combustão, quando o motor está em um regime de baixa carga nos motores Diesel, estes aldeídos se caracterizam pelo mau cheiro dos gases. Em um motor ciclo Otto, utilizando Etanol como combustível, ocorre a formação destes aldeídos na fase de aquecimento do motor (Brunetti, 2012).

15.4 Hidrocarbonetos (HC)

O hidrocarboneto é a fração de combustível que não obteve a queima completa ou ocorreu a queima parcial. É formado quando a temperatura não é suficiente para completar a reação química ou em locais onde a mistura é extremamente rica ou pobre (Brunetti, 2012).

O smog fotoquímico é um fenômeno causado quando parte destes hidrocarbonetos e o óxido de nitrogênio entram em contato com a luz solar, reagindo e formando oxidantes que causam irritações nasais, nos olhos e na garganta.

15.5 Material Particulado

Este material particulado é proveniente de indústrias e da combustão incompleta dos motores, principalmente dos motores Diesel e MCI ciclo Otto com *Diesel Fuel Injection* (DFI), gerando partículas de material líquido ou sólido. Seu tamanho pode variar de 0,05 μm até 10 μm , estas partículas ficam suspensas no ar em forma fuligem, fumaça e poeira (BOSCH, 2005).

O tamanho destas partículas está diretamente ligado ao seu potencial nocivo à saúde, pois, quanto menor for o seu tamanho, maior será o dano causado.

Para o meio ambiente, causa danos a vegetação, prejudica a visibilidade e promove a contaminação do solo (BOSCH, 2005).

15.6 Dióxido de enxofre (SO₂)

Os combustíveis fósseis (óleo diesel e gasolina) possuem uma quantidade de enxofre e quando esses combustíveis entram em combustão, além de produzir os poluentes da queima completa e incompleta como já mencionado anteriormente, ocorre a formação do dióxido de enxofre (BOSCH, 2005).

O dióxido de enxofre reage com o vapor de água, formando o ácido sulfúrico (H₂SO₄).

15.7 Controle de emissões

Com o aumento da tecnologia, havia a possibilidade do aumento de tais emissões, devido a este fato, foram criadas leis para controlar os níveis de poluentes que podem ser emitidos.

A mistura A/F tem influência direta quando falamos de emissões. No motor de ciclo Otto, a busca em controlar o monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos, além dos aldeídos que são emitidos pelo motor ao utilizar o etanol como combustível, já mencionado anteriormente.

O aumento do número de veículos tem intensificado a degradação ambiental, por causa da poluição do ar e sonora, sendo necessário o controle por meio da adesão de medidas que sejam eficazes.

Visando controlar e reduzir a emissão dos gases poluentes, foi criado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) em 1986, a resolução Conama nº18 conhecido como PROCONVE (Ibama, 2021).

O PROCONVE tem como objetivo (Ibama, 2021):

Reduzir os níveis das emissões de poluentes produzidos por veículos automotores para que seja possível atender os padrões mínimos de qualidade do ar, garantindo uma melhor qualidade de vida.

Criar programas para a inspeção e manutenção dos veículos que estão em utilização, promovendo a conscientização sobre a poluição gerada.

Possibilitar o desenvolvimento tecnológico nacional nos setores de engenharia automobilística como também, nos equipamentos e métodos utilizados para a inspeção de emissão de poluentes.

Incentivar a melhoria das características técnicas dos combustíveis, tendo em vista uma melhor eficiência e, conseqüentemente reduzindo a emissão de poluentes.

15.8 Fases do PROCONVE

O Conama desde 1986 foi atualizando as resoluções, criando as fases para veículos leves de passageiros (Brasil, 2011):

Fase L-1: Nesta fase, houve a retirada de circulação os modelos que eram muito poluentes, isso forçou a indústria automobilística realizar melhoraria nos projetos que já estavam em produção. Foi implementado também a injeção de ar

secundário no coletor de admissão e a recirculação dos gases de escape, porém estas tecnologias não foram implementadas em veículos produzidos no Brasil (IBAMA, 2021).

Fase L-2: A fase L-2 teve um grande avanço. Neste período foi implementado o uso de carburadores eletrônicos para que em seguida fossem substituídos pela injeção eletrônica, que no começo era do tipo analógica e monoponto. O catalisador se tornou obrigatório nesta fase, possibilitando a redução na emissão de poluentes (Ibama, 2021).

Fase L-3: Na fase L-3 a tecnologia nas injeções eletrônicas foi aperfeiçoada, reduzindo ainda mais a emissão de poluentes. O ponto mais importante foi que com a utilização do sensor de oxigênio, que foi implementada em 1997, posteriormente a isso, a tecnologia flex foi introduzida em 2003 (Ibama, 2021).

Fase L-4: Nesta fase, a redução de hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio eram a prioridade para atender as exigências da Resolução CONAMA nº 315 de 2002. A tecnologia Flex nesta etapa se popularizou e teve um grande avanço (Ibama, 2021).

Fase L-5: As fabricantes necessitaram aprimorar as tecnologias utilizadas nos motores para que fosse possível uma redução ainda maior dos poluentes. Nesta fase foi possível notar uma redução significativa das emissões de hidrocarbonetos, óxido de nitrogênio e aldeídos, por serem precursores do ozônio troposféricos (Ibama, 2021).

Fase L-6: Esta por sua vez entrou em vigor com a aprovação da Resolução CONAMA nº 415 de 2009, e segue até os dias atuais (2021). A prioridade nesta fase ainda segue os mesmos parâmetros de fases anteriores implementadas, visando a melhoria contínua da tecnologia dos propulsores de combustão interna para torná-los menos poluentes (Ibama, 2021).

Fase L-7: Conforme a resolução do CONAMA nº 492 de 2018, a fase L-7 do PROCONVE entrará em vigor em primeiro de janeiro de 2022.

16 SISTEMA DE GERENCIAMENTO ELETRÔNICO DO MOTOR

Para controlar o Motor de Combustão Interna, a ECU de EFI recebe, interpreta e utiliza os sinais elétricos dos sensores em diversos métodos presentes na estratégia de gerenciamento do motor. Depois dessa etapa, a ECU utilizará esses métodos para

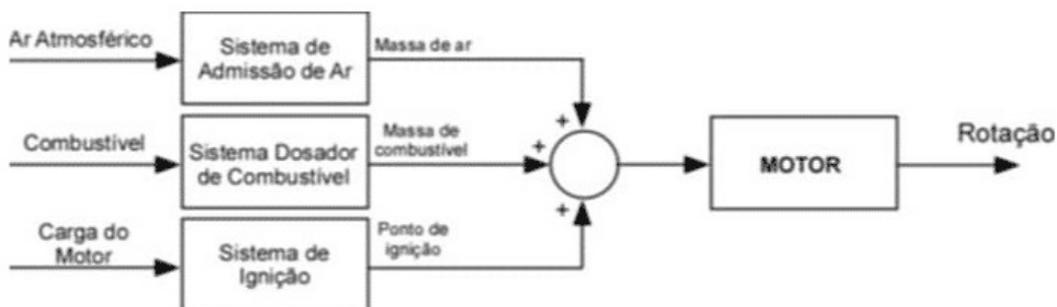
tomar decisões baseadas nos sinais dos sensores, depois acionar os atuadores para fazer o controle correto do sistema.

Durante o desenvolvimento de uma unidade de gerenciamento de controle do motor, diversos requisitos devem ser obedecidos para que o veículo consiga atender as normas legais e técnicas, e satisfazer o padrão de qualidade dos clientes. Os principais requisitos a serem observados são a redução do consumo de combustível, consequentemente reduzindo a emissão de gases poluentes, o aumento da potência e torque, melhor resposta das solicitações do motorista, melhor desempenho na partida a frio e a quente, aumento da durabilidade do motor e menor custo de operação.

O método mais comum em que a ECU se baseia para realizar o controle do motor é o *Speed-Density*, que consiste no cálculo de um valor estimado da quantidade de massa de ar admitido pelo motor, baseado nos sensores de temperatura de ar admitido, pressão absoluta, rotação do motor e posição da borboleta. Para chegar a essa estimativa, a ECU recebe o sinal do sensor de posição da borboleta para identificar o regime de carga solicitado pelo motorista, com base nesses dados, a central irá utilizar o sinal dos sensores de temperatura e pressão do ar no coletor de admissão para calcular a densidade do ar admitido, e em conjunto com o sensor de rotação para verificar em qual posição se encontra o êmbolo que fará a admissão (Dias, 2015).

O sistema de gerenciamento pode trabalhar em malha aberta ou fechada e funcionar em três subsistemas (admissão, ignição e injeção), essa estratégia comanda as funções dos atuadores para que operem de acordo com o mapeamento do motor (Dias, 2015).

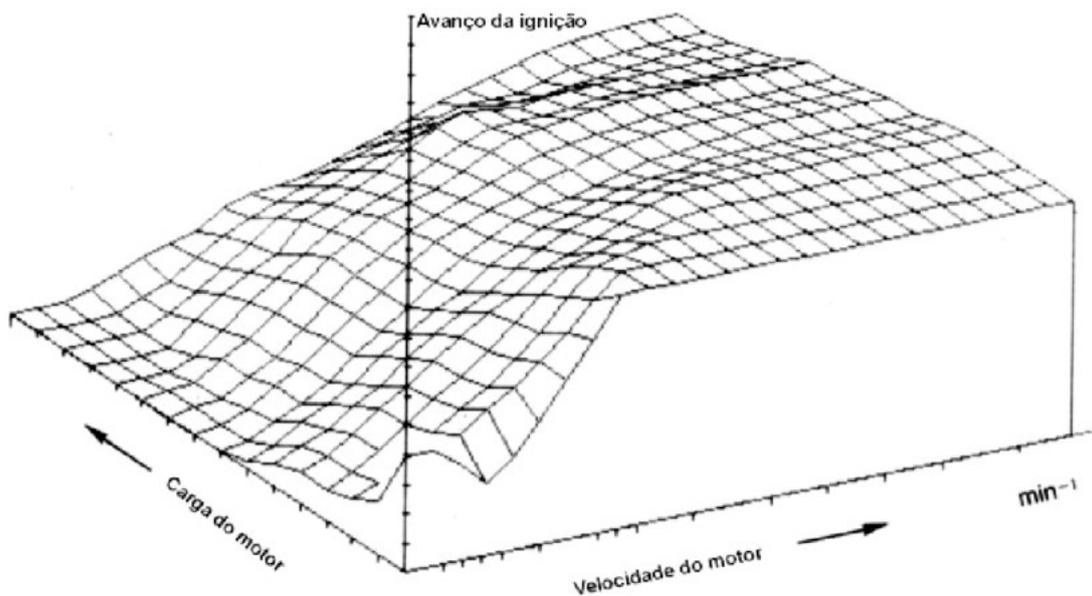
Figura 40 - Gerenciamento do motor



Fonte: Embarcados (2017)

O sistema necessita conhecer como o controle deve ser feito. Esse controle, vem a partir de dados coletados pelos sensores e avaliados através de mapas de controle. O mapeamento é feito através de dados coletados em uma bancada dinamométrica, com informações de curvas de torque, potência, consumo específico e níveis de emissões desejadas e com esses valores, são montadas tabelas de (carga x rotação x ponto de ignição), (carga x rotação x tempo de injeção), (temperatura do motor x tempo de injeção), todas essas tabelas são responsáveis por comandar e corrigir fatores como tempo de injeção, ponto de ignição etc. Os valores dessas tabelas são armazenados na memória da ECU e são utilizadas de acordo com as condições de funcionamento do motor (Milhor, 2002).

Figura 41 - Mapa para avanço de ignição



Fonte: Bosch (1988), p.291, fig. 46

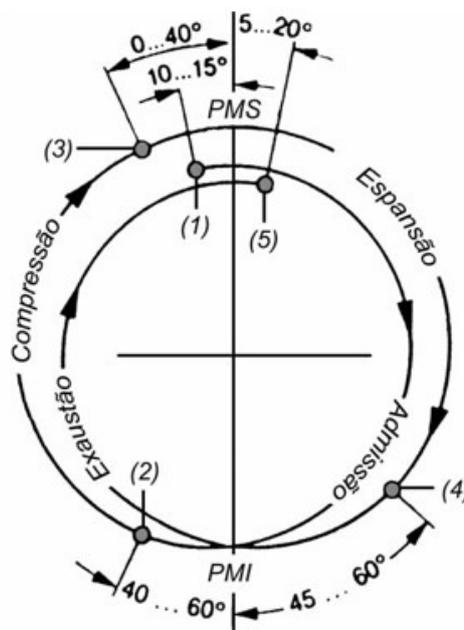
16.1 Sistema de admissão de ar

O ar é de grande importância para o funcionamento e na determinação das características de combustão e eficiência do motor. O sistema tem como principais características, determinar a massa de ar admitida e facilitar a homogeneização da mistura carburante (Dias, 2015).

Esse sistema é basicamente composto por um filtro de ar, que possibilita filtrar impurezas indesejadas, pelos dutos de admissão, pela válvula borboleta e pelo coletor de admissão (Dias, 2015).

A quantidade de massa de ar varia de acordo com o ângulo da válvula borboleta. No sistema mecânico, a admissão de ar da válvula borboleta é controlada por um cabo diretamente ligado ao pedal do acelerador, já no sistema eletrônico, a válvula borboleta é controlada diretamente pela unidade de gerenciamento eletrônico (Dias, 2015).

Figura 42 – Diagrama de abertura das válvulas de admissão e exaustão



Fonte: Pujatti (2007), p. 23, fig. 3.4

16.2 Sistema de injeção de combustível

O sistema de injeção do combustível tem a função de realizar a dosagem da quantidade de combustível de acordo com a atual operação do motor. A quantidade de injeção, do ponto de vista mecânico, é controlada por uma válvula eletromagnética, e analisando a parte eletrônica, segue a estratégia do mapeamento feito pela ECU (Milhor, 2002).

Como visto no tópico [8.2](#), foi possível analisar que há três tipos de sistemas diferentes: injeção monoponto (uma única válvula injetora para todos os cilindros), injeção multiponto (cada cilindro possui um injetor) e injeção direta (cada cilindro possui um injetor instalado diretamente no cabeçote), como visto na Figura 31.

Segundo Ribbens e Mansour (1993 apud Milhor, 2002, pág.21), existem seis tipos de condições do motor que afetam o sistema na hora da injeção, segue imagem abaixo.

Figura 43 - Modos de operação do motor ciclo Otto

MODOS DE OPERAÇÃO	CARACTERÍSTICAS					
	Mistura A/C	Sensor de O2	Ignição	EGR	Economia de combustível	Emissão de poluentes
Partida do Motor	Rica	Não utilizado	Atrasada	Desativado	Não controlada	Não controlada
Aquecimento	Rica	Não utilizado	Controlada	Desativado	Não controlada	Não controlada
Controle em malha aberta	Estequiométrica	Não utilizado	Controlada	Controlado	Controlada	Controlada
Controle em malha fechada	Estequiométrica	Utilizado	Controlada	Controlado	Controlada	Controlada
Aceleração	Rica	Não utilizado	Controlada	Desativado	Não controlada	Não controlada
Desaceleração	Pobre	Não utilizado	Controlada	Controlado	Controlada	Controlada
Marcha lenta	Rica	Não utilizado	Controlada	Desativado	Não controlada	Não controlada

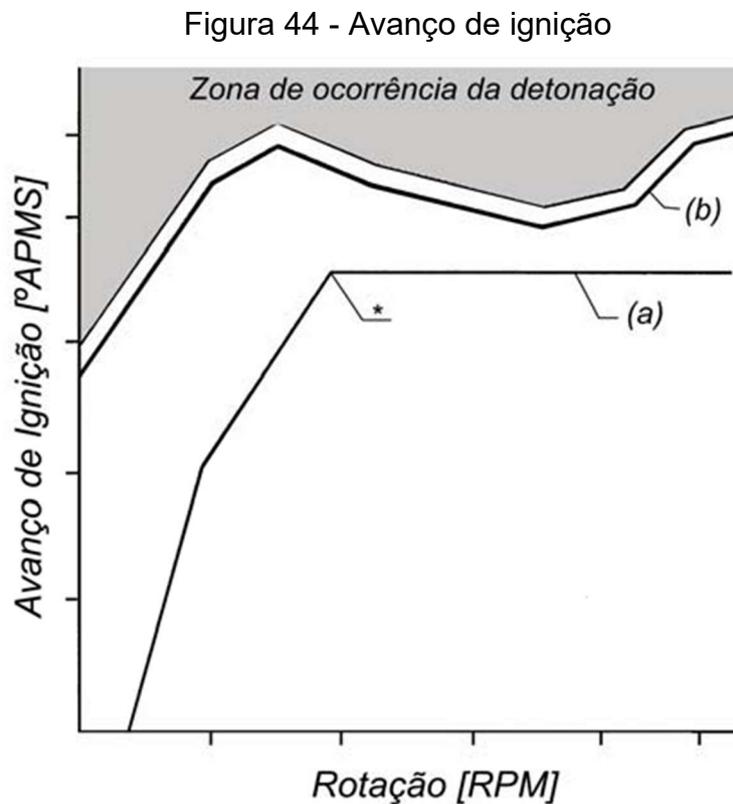
Fonte: Milhor (2002), p. 74.

16.3 Sistema de ignição

Esse sistema controla o avanço de ignição de acordo com as condições de funcionamento do motor. O sistema de ignição também possibilita o controle de ocorrência de *knocking* ou conhecido também como detonação (Milhor, 2002).

16.3.1 Ignição mapeada

No sistema de ignição mapeada o controle do avanço de ignição é feito por um sistema eletrônico, que possibilita reconhecer as condições instantâneas de funcionamento do motor e, em função de dados obtidos durante a calibração do motor, conseguem-se as melhores faixas do ângulo de ignição. Desta forma garante também uma otimização do ângulo de avanço, trabalhando numa faixa próxima a faixa de detonação e tirando maior proveito do torque. A Figura 44 apresenta as curvas de avanço de ignição obtidas a plena carga.



Fonte: Pujatti (2007), p.49, fig. 3.17

Analisando a Figura 44 pode-se observar os seguintes pontos:

- (a) Sistema de ignição convencional
- (b) Sistema de ignição mapeada

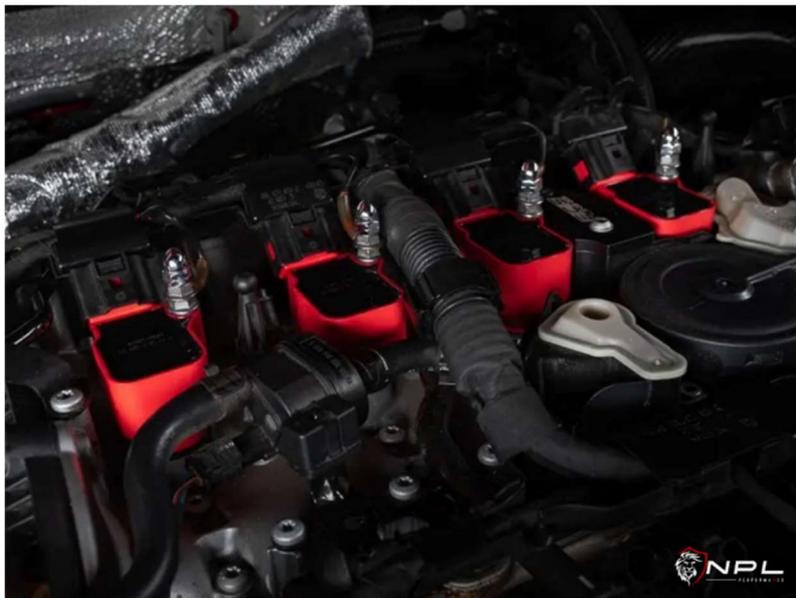
Segundo Pujatti (2007), para otimizar o funcionamento do sistema, existem mapas que auxiliam e complementam na correção do avanço de ignição, também possibilitando o sistema trabalhar em malha fechada para identificar as detonações.

Através do sensor de detonação, a central eletrônica recebe as frequências captadas e adota estratégias para a redução do avanço, procurando extinguir tal fenômeno.

16.3.2 Ignição sem distribuidor

Segundo Pujatti (2007), com o avanço da tecnologia e a chegada do sistema de ignição mapeada, houve a substituição do sistema de distribuidor, que tinha por função distribuir a centelha advinda da bobina para o cilindro que estivesse na fase de compressão. Essa substituição foi possível com a introdução do conceito de bobinas estáticas, sistema conhecido como ignição por centelha perdida, ou também pela utilização de uma bobina para cada cilindro do motor, como observado na Figura 45, definido como sistema de bobinas de ignição individuais.

Figura 45 - Bobinas de ignição individuais



Fonte: NPL Performance (2021)

16.3.3 Ignição por centelha perdida

A bobina estática se assemelha ao modelo da bobina de ignição convencional, onde Pujatti (2007) define que sua principal diferença está na conexão dos enrolamentos primário e secundário. Nas convencionais, o primário e o secundário são conectados no mesmo terminal, tendo o mesmo ponto de referência de tensão.

Nas estáticas, o primário é independente do secundário, as extremidades dos secundários são conectadas nas velas de ignição dos cilindros que estão sincronizados entre si.

Seu funcionamento consiste em um conceito de centelha perdida. Como o enrolamento primário é independente do secundário, a tensão que é induzida pode gerar um arco elétrico nas velas de ignição em ambos os cilindros gêmeos (Pujatti, 2007).

O arco elétrico gerado na vela, atende ao cilindro que está em compressão, e não ao que está em exaustão pelo fato de a rigidez dielétrica dentro do cilindro em compressão ser menor, causando assim, a combustão da mistura carburante (Denton, 2000 apud Pujatti, 2007).

16.3.4 Ignição sincronizada

Tem a característica de ter uma bobina para cada cilindro. Se denomina sincronizada pelo fato de o sistema de ignição gerar a centelha apenas na bobina do cilindro no final do tempo de sua compressão. Esse sistema possibilita ter um melhor controle individual da detonação no cilindro (Pujatti, 2007).

16.4 Sistema EGR

O sistema de recirculação dos gases de escape (EGR - *Exhaust Gas Recirculation*), contém uma válvula que permite que os gases de escape entrem novamente na admissão. Com isso, a temperatura da câmara de combustão irá diminuir, pois a mistura ficará pobre e a combustão será mais lenta, essa diminuição de temperatura reduzirá a formação de NO_x, tornando o processo mais limpo e eficiente.

Figura 46 - Válvula EGR



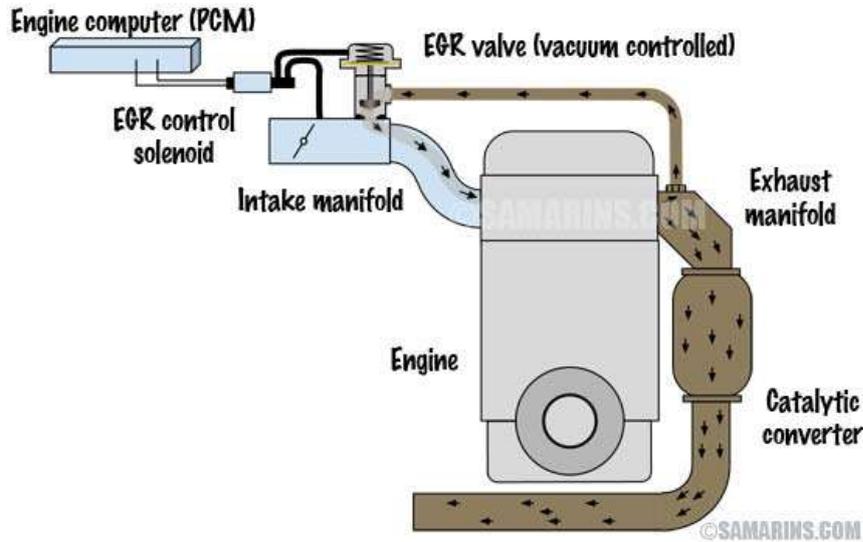
Fonte: Canal da peça (2019)

Segundo Brunetti (2012), a válvula EGR (Figura 47) pode ser utilizada de duas formas:

EGR externo - É conectado um tubo entre o coletor de escape e o coletor de admissão, local onde os gases queimados irão recircular para o coletor de admissão. Dessa forma, o EGR terá a vantagem de ficar com uma temperatura menor, semelhante ao sistema de motores diesel, permitindo um melhor controle de emissões.

EGR interno - É utilizado em conjunto com a estratégia de cruzamento negativo das válvulas, que necessita da alteração dos perfis de cames de admissão e principalmente nas válvulas de escape, para reter os gases queimados. Sua vantagem é a retenção de grande parte de energia dos gases de escape. O sistema utilizará os gases para reduzir a pressão e conseqüentemente a temperatura da mistura ar combustível, onde há também um melhor controle da combustão.

Figura 47 - Esquema de instalação da válvula EGR



Fonte: Samarins (2019)

O gerenciamento desse sistema conta com duas principais configurações, a aberta e a fechada. A válvula EGR fechada é normalmente utilizada durante a partida do motor. Quando há a solicitação de mais torque e potência, a válvula EGR é fechada novamente, para garantir que entre mais oxigênio para dentro dos cilindros (Martins, 2006).

17 Sensores

Para que este controle seja possível e a ECU escolha a melhor estratégia para o motor se manter em condições ideais de funcionamento, os sinais dos sensores são coletados e enviados a ECU, como por exemplo, o sensor de temperatura de admissão do ar, temperatura do líquido de arrefecimento, pressão no coletor de admissão, posição do corpo de borboleta (TPS - *Throttle Position Sensor*), entre outros que serão abordados a seguir.

17.1 Sensor de relutância e roda fônica

O conjunto roda fônica e sensor de relutância, desempenham um papel importante no MCI, pois além de calcular a rotação, é possível determinar em qual fase o motor está trabalhando. Os dados coletados a partir desses dois componentes,

são utilizados em um dos métodos das estratégias de gerenciamento do motor, conhecido como *speed density* (Silva, 2017).

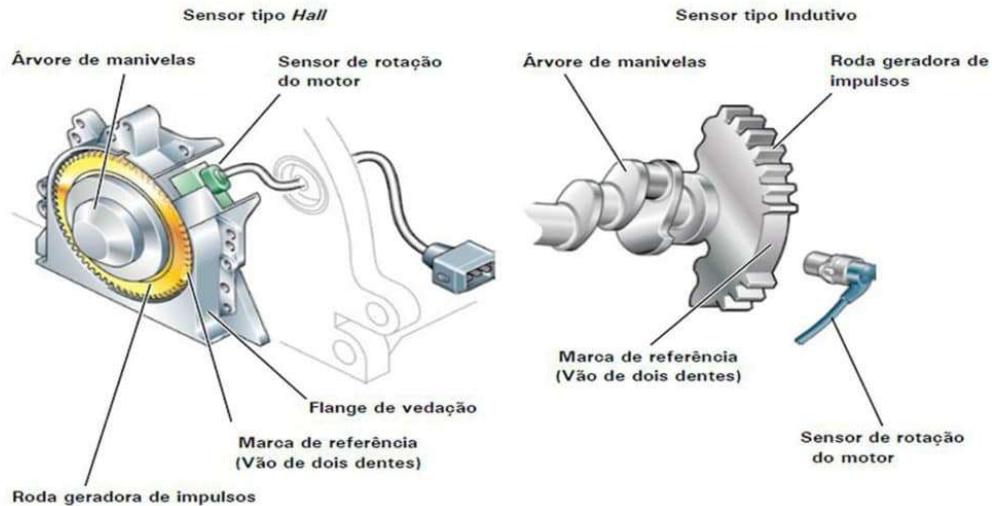
Figura 48 - Sensor de posicionamento da árvore de manivelas



Fonte: Canal da Peça (2021)

Ambas as peças ficam localizadas na parte baixa do motor, sendo que a roda fônica é instalada em uma das pontas da árvore de manivelas e o sensor de rotação fica posicionado de modo que o topo dos dentes da roda fônica fique de frente para o sensor magnético.

Figura 49 – Sensor de posicionamento da árvore de manivelas

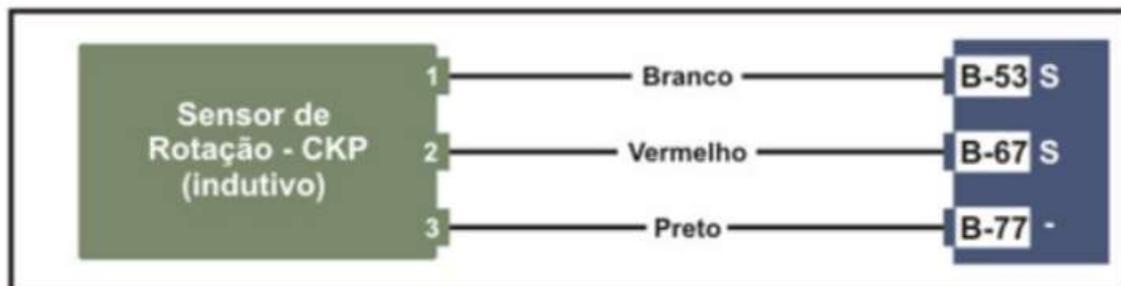


Fonte: Embarcados (2017)

A ECU de controle do motor, irá adquirir o sinal provindo do sensor de relutância e irá calcular a rotação em que o motor se encontra, estimando a quantidade de combustível que deverá ser injetada para atender o regime de carga solicitado.

O sensor de relutância magnética funciona através da variação do campo magnético. O sensor irá sofrer com a variação do campo magnético causado pela modificação da relutância magnética, gerada pela rotação da roda dentada, com isso, haverá uma indução de corrente no sensor, gerando um sinal de saída. A ECU irá receber esse sinal e converter de analógico para digital, e caso haja sobretensão, um circuito grampeador dentro de ECU irá limitar a tensão que irá para o conversor A/D para não danificar o módulo (Silva, 2017).

Figura 50 - Ligação do sensor de relutância magnética



Fonte: Blog Simplus (2020)

A roda fônica é um componente circular que possui a característica de ser uma roda dentada, com teoricamente 60 dentes, porém, 2 destes 60 dentes são vagos. Estes dentes vagos são utilizados para que seja a ECU consiga determinar qual a posição da árvore de manivelas. Quando o sensor de relutância identificar estes dentes, o êmbolo do primeiro cilindro estará em PMS.

Figura 51 - Roda fônica



Fonte: TCDN (2021)

17.2 Sensor de pressão no coletor de admissão (MAP)

O sensor *Manifold Air Pressure* (MAP) possui o papel de informar para a ECU a variação da pressão no interior do coletor de admissão do motor e pode medir também, a pressão atmosférica, o que possibilita a melhor adequação as variações em diferentes altitudes.

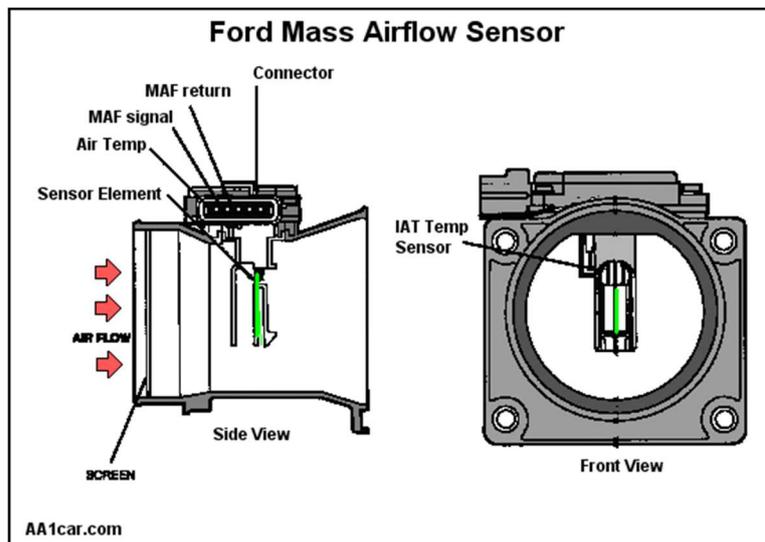
sofrer uma deformação, devido a variação na pressão do coletor de admissão, os valores dos resistores são alterados, gerando uma tensão de saída linear de acordo com a pressão no coletor (Silva, 2017).

O modelo do tipo capacitivo utiliza duas placas condutoras, quando a pressão no coletor varia, a distância entre estas duas placas modificarão, permitindo que haja uma variação na capacitância.

17.3 Sensor de massa de ar admitida (MAF)

Este sensor mede o fluxo da massa de ar e a sua quantidade, por meio de um fio ou filme quente. É necessário que este componente esteja aquecido a uma temperatura constante e dependendo do modelo, o valor pode variar entre 100°C a 200°C, para quando o ar estiver sendo admitido, passe por este fio ou filme quente e ocorra uma troca de calor entre este elemento e o ar (MTE THOMSON, 2021).

Figura 54 - Sensor MAF



Fonte: CENTRIC AUTO REPAIR (2016)

Com essa variação, devido a troca de calor, existe a necessidade de variar a corrente para que o fio se mantenha na temperatura constante estabelecida, com base nestes dados é possível estimar a massa de ar que é admitida pelo motor (MTE THOMSON, 2021).

17.4 Sensores de temperatura

Os sensores de temperatura possuem a função de informar para a unidade de controle do motor a temperatura do ar admitido pelo motor e a temperatura do líquido de arrefecimento do motor.

Estes sensores, comumente usados do tipo Coeficiente de temperatura negativo (NTC – *Negative Temperature Coefficient*) e/ou Coeficiente de temperatura positivo (PTC – *Positive Temperature Coefficient*). A medida em que ocorre uma alteração na temperatura do ar ou do líquido de arrefecimento, há uma variação na resistência.

O sensor do tipo NTC diminui a sua resistência conforme a temperatura aumenta, sendo muito utilizado devido a sua alta sensibilidade ao aumento de temperatura. Ao inverso do sensor do tipo NTC, o sensor do tipo PTC aumenta a sua resistência conforme a temperatura aumenta (Silva, 2017).

Um papel importante que o sensor de temperatura possui, é realizar o cálculo da massa de ar, este sensor geralmente é integrado ao sensor de pressão do coletor de admissão, chamado assim de sensor de temperatura do coletor de admissão (T-MAP – *Temperature Manifold Air Pressure*) (Silva, 2017).

O sensor de temperatura do líquido de arrefecimento possibilita a ECU utilizar diferentes estratégias, alterando os valores do tempo de injeção e ignição, necessário para que o motor aqueça mais rapidamente em sua fase fria, por exemplo. A ECU também utiliza as informações deste sensor para comandar o acionamento do eletro ventilador (Silva, 2017).

Figura 55 - Sensor de temperatura de água



Fonte: RT Car Import (2021)

17.5 Sensor de posição da válvula borboleta (TPS)

O sensor TPS informa para a unidade de controle eletrônico do motor, em qual ângulo de abertura que se encontra a válvula borboleta.

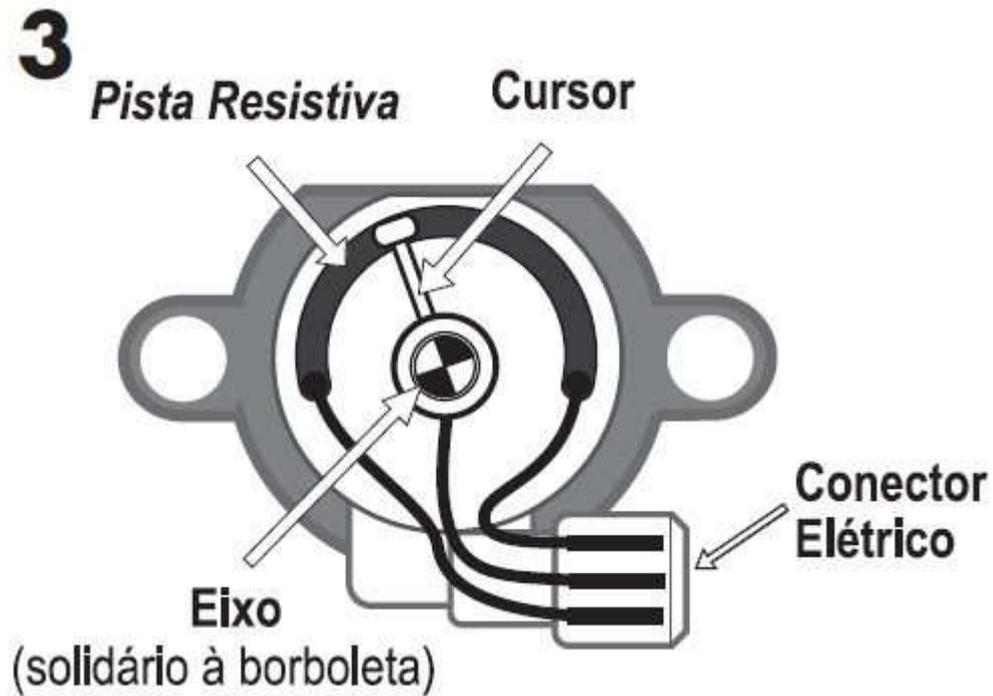
Figura 56 - Sensor TPS



Fonte: Mecânica sem segredo (2015)

Este sensor funciona por meio de um potenciômetro, assim, a resistência é alterada linearmente conforme a alteração do ângulo de abertura (Silva, 2017).

Figura 57 - Sensor TPS (Componentes internos)



Fonte: Flávio Lucas Blogspot (2016)

17.6 Sensor de oxigênio

A sonda lambda, também conhecida como sensor de oxigênio, foi o principal componente introduzido na fase L3 do PROCONVE, com o objetivo de contribuir na redução de poluentes emitidos no meio ambiente pelos veículos (Ibama, 2021).

Figura 58 - Sensor de oxigênio



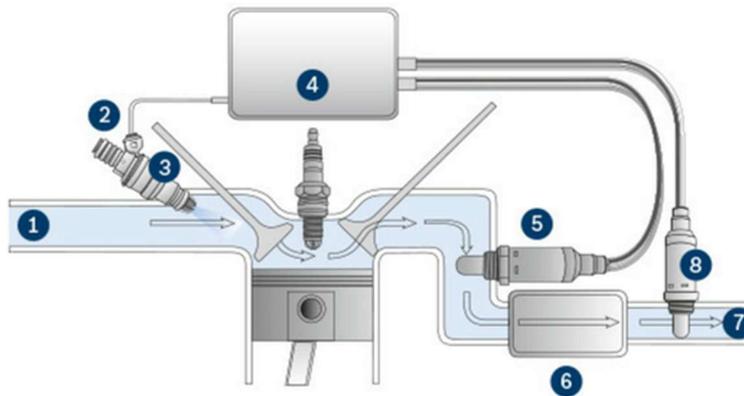
Fonte: Canal da peça (2021)

Esse sensor fica instalado no tubo de descarga, logo após o coletor de escape e pode ser encontrado em duas configurações diferentes: a sonda de banda estreita e de banda larga, sendo que a diferença entre os dois tipos, está na característica construtiva, que irá alterar a resolução de leitura da mistura.

Figura 59 - Esquema de funcionamento do sensor de oxigênio

**ESQUEMA
DE
FUNCIONAMENTO**

- 1 - Entrada de ar
- 2 - Abastecimento de combustível
- 3 - Injetor
- 4 - Unidade de controle eletrônico
- 5 - Sensor de controle (a montante do catalisador)
- 6 - Conversor catalítico
- 7 - Gases do escape
- 8 - Sensor de diagnóstico (a jusante do conversor catalítico)



Fonte: FPCAT (2021)

O sensor de oxigênio tem como objetivo, retornar um sinal de tensão para a ECU de EFI, que representará por meio de um valor adimensional, a quantidade de oxigênio presente nos gases de escape em relação ao combustível queimado durante a combustão. Esse dado será útil para a ECU realizar o controle da mistura ar combustível e o ponto de ignição.

O valor de Lambda pode ser calculado através da equação (4):

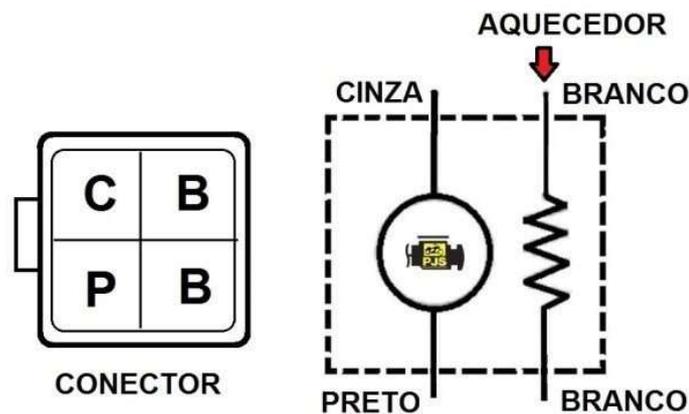
$$\lambda = \frac{\frac{\text{massa de ar}}{\text{massa de combustível}} \text{ efetiva}}{\frac{\text{massa de ar}}{\text{massa de combustível}} \text{ ideal}} \quad (4)$$

Em veículos mais recentes, as montadoras passaram a utilizar uma segunda sonda lambda no veículo, porém instalado depois do catalisador. Essa mudança ocorreu devido a resolução do CONAMA nº354 de 2004, que exigia um monitoramento da eficiência do conversor catalítico, para garantir que o catalisador está funcionando de acordo com os requisitos.

Na Figura 63 é possível visualizar uma resistência elétrica simbolizando o aquecedor do sensor de oxigênio. Este componente é utilizado para que o sensor alcance a temperatura de funcionamento rapidamente e a ECU consiga trabalhar em malha fechada, contribuindo no controle de emissões. Na Figura 63

Figura 60 - Ligação do sensor de oxigênio

DIAGRAMA ELÉTRICO DO SENSOR DE O2



Fonte: MTE THOMSON (2015)

17.7 Sensor de detonação

O sensor de detonação é utilizado para detectar o instante em que as combustões ocorrem, para verificar se estão ocorrendo de forma correta ou se está havendo detonação.

Figura 61 - Sensor de detonação e cabo



Fonte: Magazine Luiza (2021)

Esse sensor fica localizado no bloco do motor e seu funcionamento utiliza os conceitos de um acelerômetro, onde uma esfera comprime e deforma um material piezoelétrico presente dentro do sensor, fazendo com que haja a geração de uma pequena tensão, que será captada pela ECU de EFI e esse sinal será proporcional à quantidade da deformação do material (Martins, 2006).

Figura 62 - Sensor de detonação (instalação)



Fonte: Canal da peça (2019)

18 ATUADORES

Os atuadores são os componentes que possuem a responsabilidade de atuar sobre o motor. As informações são coletadas dos sensores e enviadas a unidade de controle eletrônico do motor, que por sua vez envia os sinais de comando para os atuadores, permitindo o seu devido acionamento na situação desejada.

18.1 Válvula eletro-injetora de combustível

O injetor ou válvula injetora, é um componente que permite dosar a quantidade de combustível através da modulação da largura de pulso (PWM – *Pulse Width Modulation*). Com esta modulação sendo aplicada a bobina de indução do injetor, e dependendo do modelo utilizado, o acionamento elétrico pode ser através de eletromagnetismo ou por piezo eletricidade (Brunetti, 2014).

Figura 63 - Válvula injetora de combustível

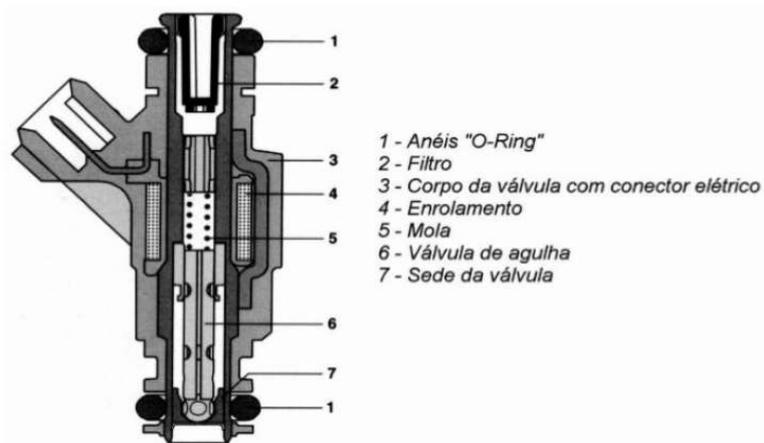


Fonte: Canal da Peça (2018)

No sistema PFI (Figura 67), quando a bobina for energizada, o êmbolo será atraído em direção à batente devido ao campo magnético formado, promovendo a abertura da agulha para que o combustível seja injetado. No injetor com acionamento piezoelétrico em motores DFI, ao aplicar uma tensão, o material utilizado internamente

no injetor irá se deformar e fará com que o êmbolo seja recolhido, abrindo espaço para a vazão do combustível (Silva, 2017).

Figura 64 - Composição da válvula injetora de combustível



Fonte: Adaptada de Hallan Graciano (2016)

18.2 Bobina de ignição

Para que o processo de combustão ocorra, é necessário que haja uma centelha, que é gerada pela alta tensão produzida pela bobina de ignição.

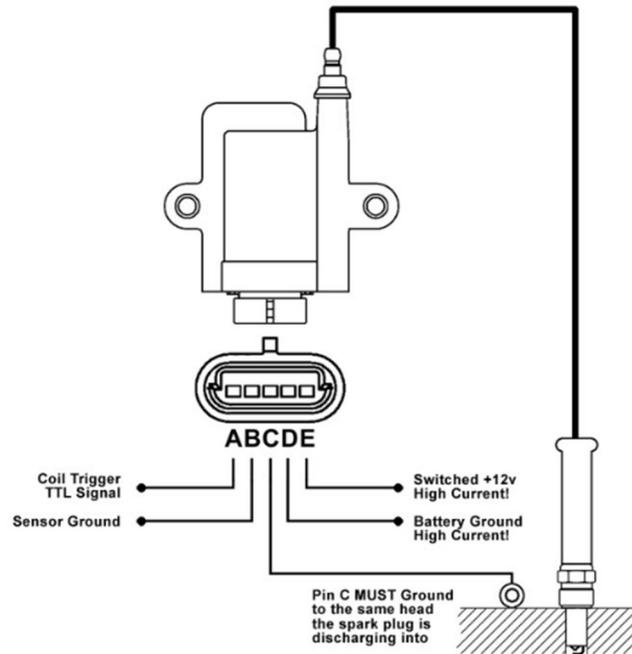
Figura 65 - Bobina de ignição



Fonte: AllParts (2021)

Este atuador possui o papel de transformar a baixa tensão fornecida pela bateria, em uma alta tensão. É composto por uma bobina primária, onde o seu controle é feito pela unidade de gerenciamento eletrônico do motor e uma bobina secundária, sendo por meio desta que sairá a alta tensão para as velas de ignição.

Figura 66 - Ligação da bobina de ignição



Fonte: RX-7 Club (2011)

18.3 Atuador de marcha lenta

Para que a rotação do motor em marcha lenta seja mais estável, utiliza-se o atuador de marcha lenta para realizar o controle da mistura A/F e o avanço de ignição em diferentes situações de operação do motor.

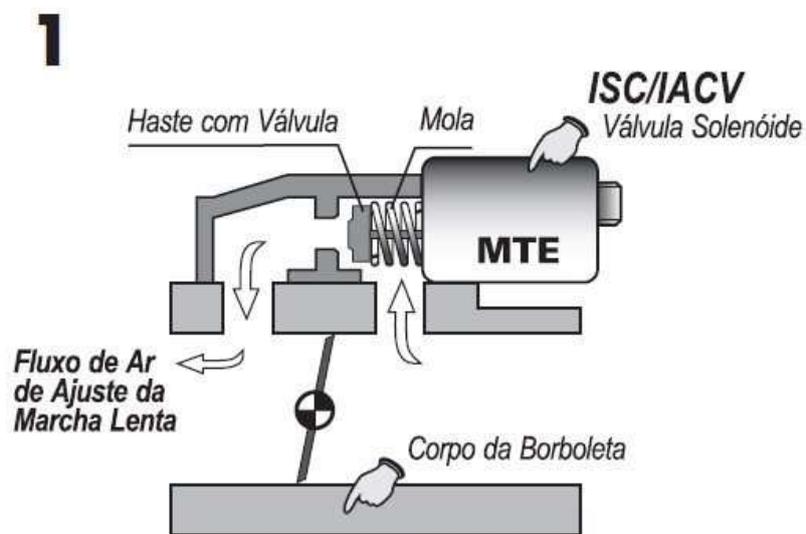
Figura 67 - Atuador de marcha lenta



Fonte: Connect Parts (2021)

O controle pode ser feito com o uso de um motor de passo, permitindo uma maior ou menor quantidade de ar por meio de uma passagem de ar (*by-pass*), mesmo em situações em que a válvula borboleta está completamente fechada (Pujatti, 2007).

Figura 68 - Funcionamento do atuador de marcha lenta



Fonte: Canal da Peça (2021)

Outro método, é realizar o controle do ângulo de abertura da válvula borboleta, fazendo uso de um motor de corrente contínua, que utiliza um sinal PWM. Este motor

opera sobre o eixo da borboleta abrindo ou fechando, dependendo da estratégia de controle calculada pela unidade de gerenciamento do motor (Pujatti, 2007).

19 Controle de malhas

19.1 Controle de malha aberta

Um sistema de malha aberta básico é composto por entradas, elemento de controle, processo e a saída. Nesse sistema, o sinal de saída não tem relação direta com o sinal de entrada desejado, ou seja, o sinal de saída não é realimentado para que seja comparado com a entrada (Pujatti, 2007).

Figura 69 – Controle em malha aberta

Configuração de controle em malha aberta



Fonte: Instrumentação e controle (2017)

O sistema de malha aberta utiliza uma condição fixa de operação, permitindo que dependa unicamente de uma calibração. Com essas condições, se houver algum distúrbio ou mal funcionamento no sistema de malha aberta, a saída não será a desejada até que o problema seja reparado manualmente. Segundo Ogata (2010), qualquer sistema de controle em que as operações são feitas em sequências baseadas no tempo, é caracterizado de malha aberta.

Na aplicação automotiva, o controle em malha aberta do motor será realizado através da ECU de EFI, que lerá os sinais dos sensores, realizando o gerenciamento do motor com base nos dados e nos mapas de calibração do motor. Porém, o grande problema do controle em malha aberta, é a falta de capacidade de adaptação do sistema para poder lidar com os ruídos externos que podem ocorrer nas entradas. Esses ruídos podem ser desde um combustível de má qualidade, até fatores ambientais como, pressão atmosférica, temperatura do ambiente, umidade etc.

No funcionamento de um sistema de malha aberta dos motores de combustão interna, cada entrada leva a uma mesma condição de operação do controlador que depende do ajuste, da calibração e da robustez do sistema na presença de distúrbios (Pujatti, 2007).

Exemplificando uma condição funcional em malha aberta nos MCI, conhecido por diversos autores, é a partida a frio. A partida a frio trabalha em um sistema de controle de malha aberta, pois o sensor de oxigênio necessita estar aquecido em torno de 350°C à 450°C para seu funcionamento (Pujatti, 2007).

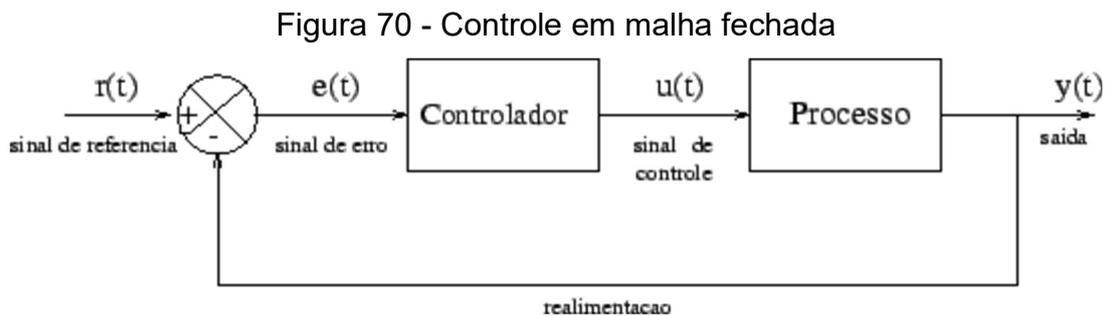
Pujatti (2007) afirma que o controlador da mistura em malha aberta, faz o cálculo do tempo de injeção em função de um modelo do sistema que depende da vazão mássica do ar (MAF), da rotação em segundos (r) e da relação ar combustível ($A/F_{(d)}$) desejado. Ribbens (1998 apud Pujatti, 2007) define através de uma equação, como tempo-base de injeção (T_{OL}), o período de acionamento do eletro injetor, sendo a unidade definida pelo tempo de acionamento por rotação (*duty cycle*).

$$T_{OL} = \frac{MAF}{r.(A/F_{(d)})R_F} \quad (5)$$

A constante R_F é a característica de vazão de combustível do eletro injetor em função da largura de pulso quando feita sua abertura. Deve-se considerar e corrigir a variação da tensão de acionamento através de tabelas memorizadas no controlador. Como há muita variação da mistura A/F utilizada, é então utilizado o conceito de mistura ar/combustível desejada ($A/F_{(d)}$), como condição do sistema de controle para realizar o cálculo do tempo-base de injeção. Dependendo da condição de operação do motor podem ocorrer variações na mistura ar/combustível desejada, como por exemplo, o enriquecimento em função da temperatura do motor ou em condições de plena carga (Pujatti, 2007).

19.2 Controle de malha fechada

Ogata (2010) diz que o controle de malha fechada sempre implica na utilização do controle com uma realimentação para a redução dos erros no sistema.



Fonte: UFRGS (2020)

Com a realimentação, é medido a diferença entre o sinal desejado e o sinal de saída pelo controlador. A diferença é definida pelo sinal de erro $e(t)$ pelo sistema, sendo assim introduzido ao controlador fazendo com que consiga o sinal desejado mais próximo possível (Pujatti, 2007).

No controle em malha fechada, o gerenciamento também será feito por meio de rotinas pré-estabelecidas, porém, as rotinas utilizarão mais sensores para ter um melhor controle sobre a(s) saída(s) do sistema, causando um aumento da complexidade no gerenciamento. Esse tipo de sistema também é conhecido como sistema de controle com realimentação, pois são utilizados sinais de saída, ou sinais de sensores que convertem fenômenos físicos em sinais elétricos, para realimentar a unidade de controle, que fará o gerenciamento baseado nos dados obtidos dos eventos passados juntamente com os dados dos sensores que captam o estado atual do ambiente que está sendo analisado.

O sistema em malha fechada é projetado a partir de uma modelagem matemática que leva em consideração todos os componentes que fazem parte do sistema e suas respectivas respostas. Essa modelagem será uma representação matemática do sistema, para que se consiga manipular as variáveis, buscando produzir saídas ideais desejadas.

Com base nessa modelagem, será feito um estudo e uma análise do sistema para calcular os valores necessários para serem utilizados nessa equação, a fim de obter as saídas desejadas. A partir desse resultado, será construído um controlador

Proporcional Integrador Derivativo (PID – *Proporcional Integral Derivative*) para auxiliar na otimização do sistema e manipular o erro provocado pelo sistema.

Com isso, é possível utilizar o ato de tomar banho como exemplo. Ao tomar banho, as pessoas abrem o registro, permitindo que a água flua pelo chuveiro, e depois verificam com a mão ou com o pé, a temperatura da água para se certificar se está agradável e depois ajustam o registro para aumentar ou diminuir o fluxo de água, conseqüentemente modificando a temperatura da água. Esse processo pode ser classificado como um controle em malha fechada, pois a pessoa receberá os sinais sensoriais da pele para verificar se a água está quente, fria ou agradável, e depois girando o registro para adequar a temperatura da água.

O sistema de realimentação contribui no melhor controle da mistura de ar/combustível sobre cada condição de operação do regime, dependendo diretamente dos valores de potência indicada, do consumo específico de combustível e da composição dos gases de escape (Pujatti, 2007).

Segundo Pujatti (2007) nos motores de combustão interna, a realimentação é representada pelo sinal dos principais gases de escape emitidos durante seu funcionamento. Porém, Ribbens (1998 apud Pujatti, 2007) afirma que a realimentação em função da concentração de cada um dos principais gases não é aplicável em sistemas de controle atuais, pela complexidade da introdução de um sensor específico para cada tipo de gás.

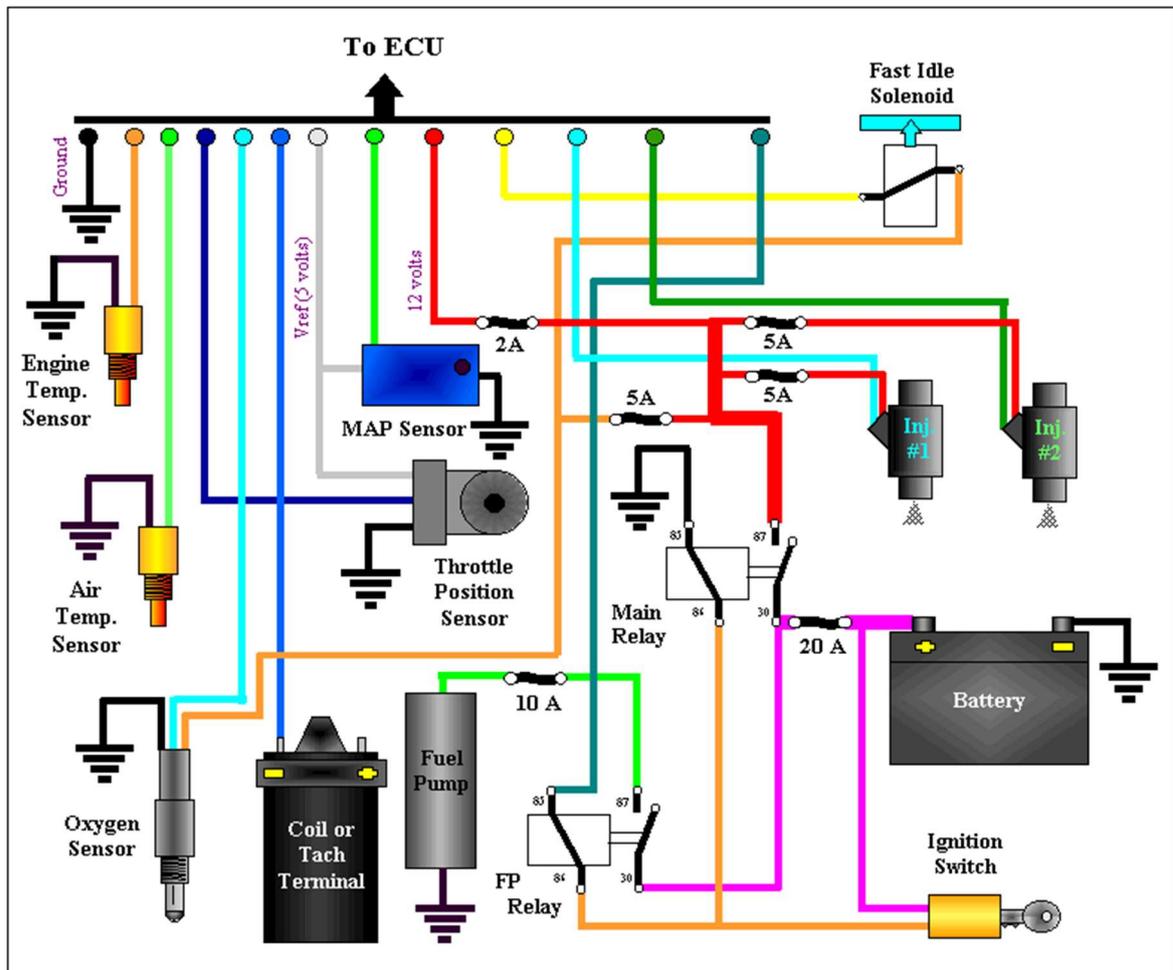
Na relação A/F, a realimentação do controlador é realizada através da medição de O₂, feita pela sonda lambda no coletor de descarga do motor. O controle da relação A/F real é alterado em função da quantidade de combustível introduzido pelo eletro injetor. Podemos tirar como conclusão que o controlador atua indiretamente através do tempo de injeção (Pujatti, 2007).

20 ESTRATÉGIA DE CONTROLE DE INJEÇÃO DE COMBUSTÍVEL

Para que o gerenciamento do motor monte uma estratégia de controle, é necessário que a unidade de controle colete as informações dos sensores para a realização dos cálculos necessários, podendo realizar o gerenciamento dos sistemas de admissão de ar, combustível e ignição. Visto isso, deve-se considerar a existência de alguns regimes de operação em que a ECU deve monitorar, processar, calcular e atuar no motor para a otimização do seu rendimento. Sabe-se que para cada regime

de operação, há uma estratégia de controle diferente. Na Figura 75 podemos conferir os principais componentes em que a ECU deve identificar e atuar (Dias, 2015).

Figura 71 - Esquema do sistema de injeção



Fonte: Utah Valley University (2019)

Abaixo são citados os seguintes regimes de funcionamento do motor:

Regime de marcha lenta – Caracteriza-se quando o veículo está parado e o motor permanece ligado. Seu funcionamento consiste em manter uma rotação aproximadamente constante sem que necessite pisar no acelerador. É necessário que o motor mantenha em uma rotação de referência mínima para que vença todas as perdas mecânicas existentes e continue seu funcionamento, tendo uma boa queima e emitindo pouco ruído e vibração (Dias, 2015).

Regime de aceleração – Caracteriza-se toda vez que o pedal do acelerador é acionado. A ECU tem a função de controlar adequadamente a quantidade de

combustível que será injetada e fazer com que o motor trabalhe em uma mistura mais rica, para a obtenção do torque solicitado pelo condutor (Dias, 2015).

Regime de desaceleração – Caracteriza-se quando o motor está quente, em diferentes regimes de rotações e sem o acionamento do pedal do acelerador. Nesta configuração, a ECU fará a válvula borboleta se fechar de forma gradual, evitando turbulências e solavancos indesejados, também, efetua o corte da injeção de combustível, para que haja uma diminuição dos poluentes e reduza o consumo de combustível (Dias, 2015).

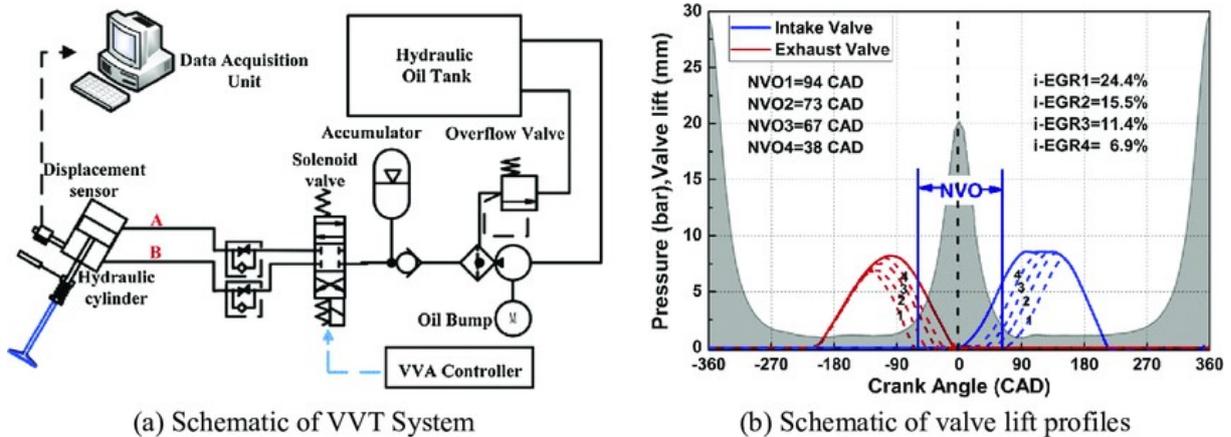
Regime de partida do motor – caracteriza-se pelo instante do acionamento do motor. Assim que identificado o sinal de acionamento da chave de ignição, a ECU efetua a medida da temperatura do líquido de arrefecimento, verificando se a temperatura do motor está fria ou quente. Com estas informações, a ECU aguarda o sinal de rotação do motor, que irá girar com o auxílio do motor de partida e aciona todas as válvulas injetoras, trabalhando em uma mistura rica o suficiente para que possa operar nos quatro ciclos. Se o motor, logo após o ciclo de partida, ainda permanecer frio, a mistura deverá continuar rica, para o aquecimento do motor. Logo após a estabilização da temperatura ideal, a ECU corrigirá a mistura a ser injetada e controlará o tempo de injeção para que comece a trabalhar no regime de marcha lenta (Dias, 2015).

Regime de velocidade de cruzeiro – Caracteriza-se quando o motor está em uma rotação constante. Seu funcionamento geralmente ocorre quando o veículo está trabalhando em uma velocidade constante e com o pedal do acelerador parcialmente acionado. Nessa configuração, a ECU busca trabalhar em função do fator lambda, procurando sempre manter uma relação estequiométrica (Dias, 2015).

21 GERENCIAMENTO DO CONTROLE ELETRÔNICO DA VARIAÇÃO DO COMANDO DE VÁLVULAS VARIÁVEL

A eficiência dos MCI está diretamente relacionada com a capacidade de enchimento de ar do motor, quanto mais ar o motor consegue admitir, mais combustível será injetado, proporcionando um maior poder de combustão, e conseqüentemente, produzindo um maior trabalho. Para garantir que o motor consiga admitir a quantidade de ar necessária para atender o regime de carga, foi criado o sistema de comando de válvulas variável, onde há diferentes ângulos de trabalho.

Figura 72 - Esquema da variação do comando de válvulas



Fonte: Research Gate (2020)

O comando de válvulas variável foi desenvolvido para otimizar toda a faixa de trabalho motor, promovendo um aumento de potência e torque, desde baixas rotações, até o limite de giro. Além desses benefícios, a eficiência que este sistema trouxe impactou positivamente na redução dos gases poluentes, devido a sua adaptabilidade.

O sistema de comando de válvulas variável pode ser encontrado em veículos de diversas montadoras, porém, com tecnologias semelhantes e nomes diferentes, mas com o mesmo conceito de funcionamento. A Honda possui o sistema eletrônico da variação do tempo e abertura das válvulas (VTEC - *Variable Valve Timing and Lift Electronic Control*), a Toyota trabalha com o VVT-I, a BMW utiliza o *Valvetronic* e algumas montadoras não possuem nomenclatura para essa tecnologia, apenas utilizam o nome genérico de (VVT - *Variable Valve Timing*)

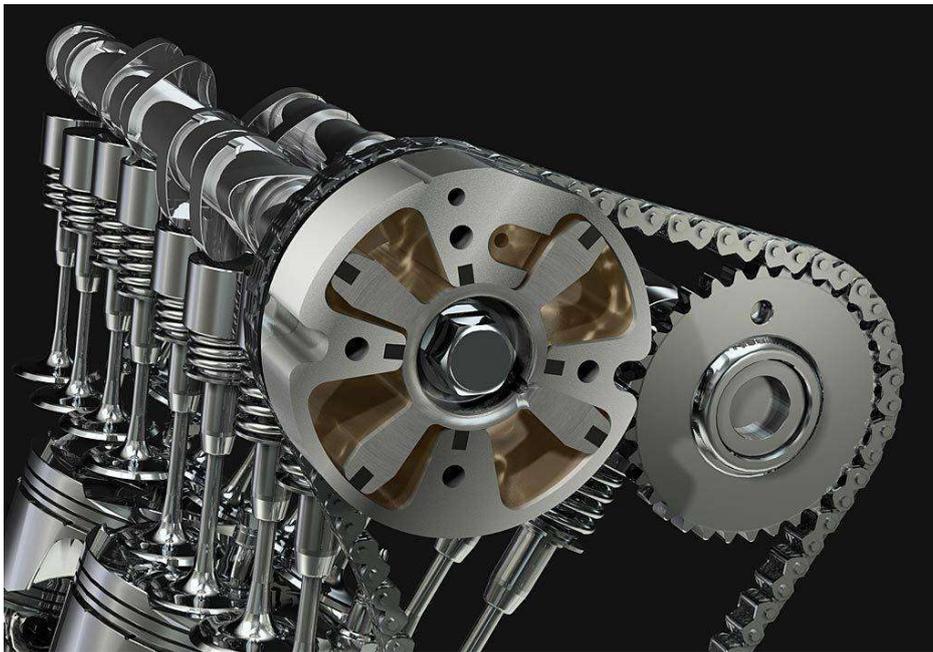
21.1 VVT com variação na fase do came

Existem diferentes sistemas de atuação do variador de fase: somente na válvula de admissão, somente na válvula de escape, como também pode atuar em ambas as válvulas. Essa tecnologia pode ser aplicada em diferentes configurações de cabeçote, podendo ser de comando de válvulas simples ou duplo comando (Schaeffler, 2021).

O sistema VVT com variação na fase do came é o mais simples e mais barato, porém, o ganho de desempenho é menor. Seu funcionamento consiste em variar o instante em que a válvula será aberta e fechada, mudando o ângulo de fases do eixo

de comando. Como por exemplo, o eixo de comando de entrada irá rotacionar antecipadamente em 30° permitindo a entrada de ar e combustível mais cedo. Este sistema é controlado de acordo com as condições do motor, necessidade e acionado por engrenagens por meio de uma válvula hidráulica. Em alguns sistemas pode haver variação na válvula de admissão, em outros, a variação será na válvula de escape e em sistemas mais sofisticados há a variação na admissão e no escape.

Figura 73 - Variador de fase



Fonte: Contagem motorpeças (2018)

Esse sistema não permite a variação do ângulo de abertura das válvulas, apenas o avanço ou o atraso da abertura, no entanto, essa simplicidade torna o sistema mais econômico pois, cada comando de válvulas precisa de apenas um atuador de fase hidráulica.

O mais simples desse sistema, conta com 2 ou até 3 configurações de ângulo de deslocamento, como por exemplo 0° ou 30° . Já em um modelo mais complexo, pode mudar de acordo com a rotação do motor, podendo variar em qualquer faixa, entre os 0° e 30° . Essa configuração com uma gama de variação maior, possibilita um aumento da flexibilidade do motor e um tempo de válvula mais adequado em qualquer velocidade (Schaeffler, 2021).

Figura 74 - Variação das fases do VVT

Conceito	Vantagens	Curvas das válvulas do motor
Variação de fase do eixo comando de admissão	<ul style="list-style-type: none"> • Redução das emissões de gases poluentes • Redução do consumo de combustível • Aumento do conforto em marcha lenta • Otimização de torque e potência do motor 	
Variação de fase do eixo comando de exaustão	<ul style="list-style-type: none"> • Redução das emissões de gases poluentes • Redução do consumo de combustível • Aumento do conforto em marcha lenta 	
Variação independente de fase do eixo comando de admissão e do eixo comando de exaustão (DOHC)	<ul style="list-style-type: none"> • Redução das emissões de gases poluentes • Redução do consumo de combustível • Aumento do conforto em marcha lenta • Otimização de torque e potência do motor 	
Variação simultânea de fase do eixo comando de admissão e de exaustão (SOHC)	<ul style="list-style-type: none"> • Redução das emissões de gases poluentes • Redução do consumo de combustível 	

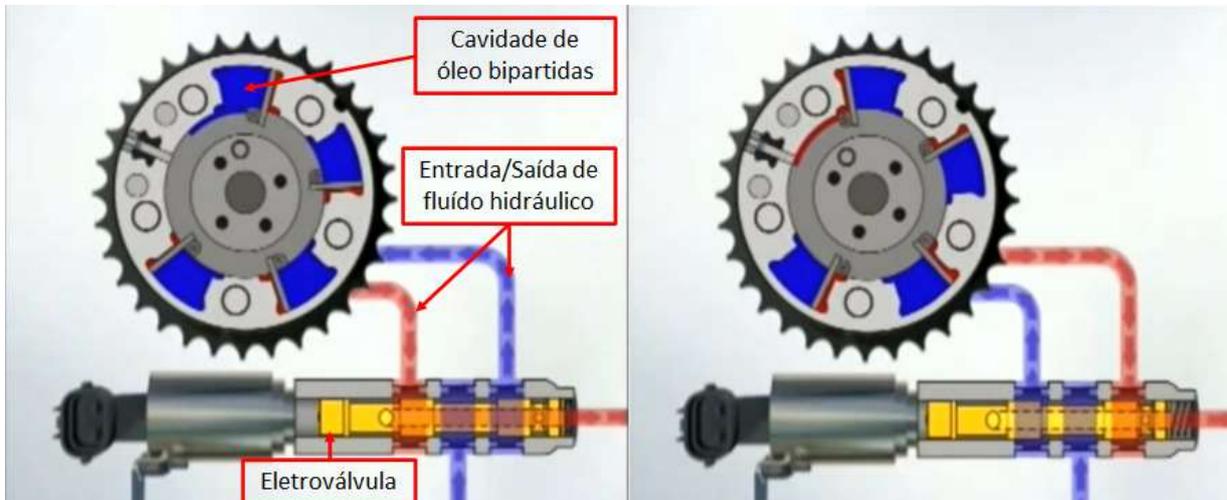
Fonte: Schaeffler (2021)

Para que todo esse mecanismo funcione, a ECU de EFI utilizará diversos sensores relacionados à estratégia de gerenciamento do motor, porém, os principais para esse sistema são os sensores de fase e de rotação do motor. A árvore de manivelas é conectada à biela e ao pistão, e os cames do eixo de comando acionam os eventos de abertura das válvulas, assim, com as informações dos sensores de posição da árvore de manivelas e do eixo de comando, a ECU conseguirá identificar a rotação do motor e as posições relativas dos pistões, das válvulas de admissão e escape, sendo essencial para identificar mais rapidamente qual a fase atual do motor, realizando o devido sincronismo.

Após fazer a aquisição dos sinais desses sensores, a ECU fará o gerenciamento em malha fechada do variador de fase. Para realizar o controle da fase do comando de válvulas, a central irá enviar um sinal para uma válvula solenoide que controla a direção do fluxo de óleo fornecido pela bomba. Esse fluxo será direcionado para dentro das câmaras do variador de fase, e dependendo das câmaras em que o

óleo percorrer, o variador irá modificar a posição do comando de válvulas, podendo avançar ou atrasar a abertura e fechamento das válvulas (Schaeffler, 2021).

Figura 75 - Cavidades de óleo do variador de fase



Fonte: Adaptado de Melsi Maran Youtube (2012)

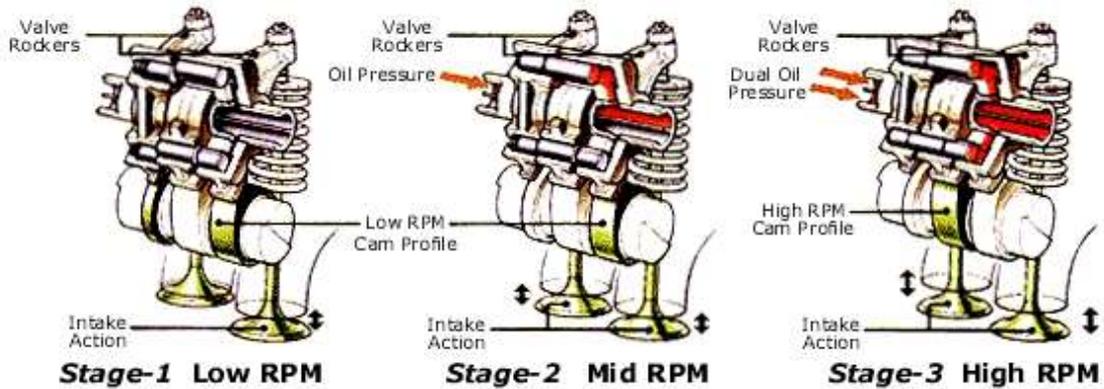
A estratégia adotada pela ECU calculará o ângulo atual do comando de válvulas em relação a árvore de manivelas e, com base nessa informação, haverá uma comparação com o ângulo ideal que o comando teria que se encontrar. Esse valor ideal está presente no mapa de gerenciamento dentro da unidade de controle do motor e é definido durante a fase de calibração e testes (Schaeffler, 2021).

21.2 VVT com troca de perfil de came

Nessa estratégia o sistema trabalha com dois conjuntos de cames com formatos diferente, permitindo que haja diferentes temporizações e elevações. Um conjunto opera na faixa abaixo dos 4500 rpm, já o outro a uma rotação mais elevada, permitindo com que o motor faça uma mudança contínua do sincronismo. Um dos motores que utiliza essa tecnologia, é o VTEC da Honda (FLATOUT, 2019).

A tecnologia VTEC conta com três cames com sincronismos e elevações diferentes. O came do meio é o maior e tem uma sincronização rápida e alta elevação. O came da direita possui um tamanho médio, com uma sincronização lenta e elevação média. E o da esquerda é o menor, com uma sincronização lenta e elevação baixa.

Figura 76 - Estágios do perfil do came



Fonte: Wong (2021)

Estágio 1 (velocidade baixa) – As 3 peças do balancim se movem independentemente. Configurado de forma que o balancim esquerdo acione a válvula de admissão esquerda, é acionado pelo came esquerdo de baixa elevação. O balancim direito, que aciona a válvula de admissão direita, é acionado pelo came direito de elevação média. Ambos os sincronismos são lentos comparados com o came do meio, que neste estágio não aciona nenhuma válvula (Wong, 2021).

Estágio 2 (velocidade média) – A pressão hidráulica, em vermelho de acordo com a Figura 80, conecta o balancim esquerdo e direito, deixando o balancim do meio e o came operarem de forma independente. Devido o came direito ser maior, os balancins conectados são acionados pelo came direito. Como resultado, ambas as válvulas de admissão têm um sincronismo lento, mas uma elevação média (Wong, 2021).

Estágio 3 (velocidade alta) – A pressão hidráulica conecta os 3 balancins. Como se sabe, o came do meio é o maior, portanto, o acionamento de ambas as válvulas de admissão é feito por meio dele, tendo assim um acionamento mais rápido. Conseguindo tempo rápido e alta elevação em ambas as válvulas (Wong, 2021).

21.3 VVT com variação na fase do came + VVT com troca de perfil do came

A combinação dos sistemas de troca de came e fase de came satisfaz a necessidade quando tratamos dos requisitos de potência e flexibilidade em diferentes rotações, tornando-o assim mais complexo.

Figura 77 - Atuador de variação do comando de válvulas



Fonte: Amazon (2021)

Nesse sistema, a sincronização das válvulas variáveis é feita através da mudança do ângulo de fase do eixo de comando sendo para frente ou para trás por meio de um atuador hidráulico, que é conectado na extremidade do eixo de comando. O cálculo do tempo é feito através do sistema de gerenciamento do motor levando em consideração a rotação do motor e a aceleração. A variação é contínua e pode chegar a uma faixa de até 60° (FLATOUT, 2019).

Figura 78 - Componentes do sistema VVT

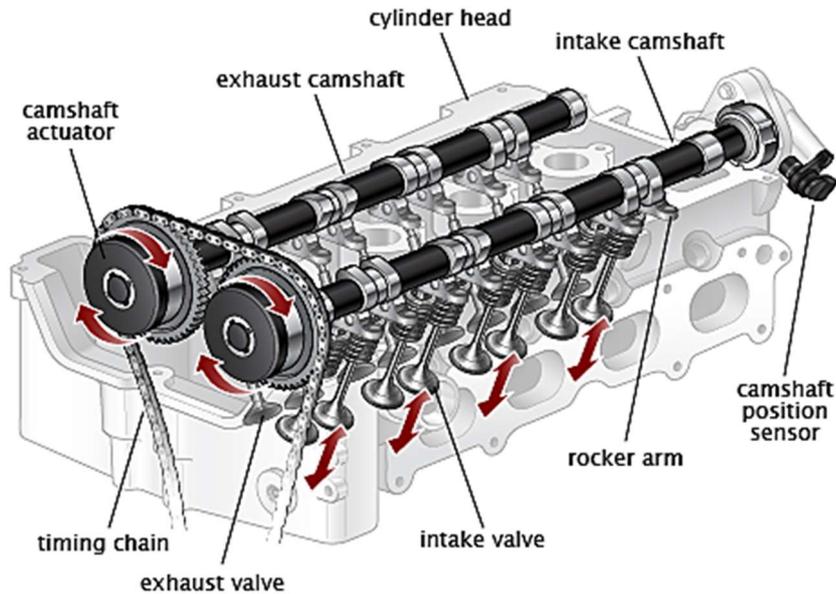


Image courtesy of ClearMechanic.com

Fonte: Repair pal (2019)

O gerenciamento do comando de válvulas variável conta com algumas estratégias para que seja possível fazer as variações das fases.

21.3.1 Estratégia de cruzamento positivo de válvulas (PVO)

Quando temos altas velocidades e altas cargas, essa estratégia é capaz de aumentar a saída dos gases residuais dos cilindros e promover um maior escoamento da mistura. O PVO adianta a abertura da válvula de admissão e atrasa o fechamento da válvula de exaustão, tendo como finalidade de ter ambas as válvulas abertas em um determinado intervalo de tempo. Quando temos a operação de carga parcial com o controle da válvula borboleta, conforme o aumento do PVO, há um aumento na eficiência das trocas de gases e é requerido menos energia de bombeamento da mistura. Quando a válvula borboleta está totalmente aberta o PVO tem um melhor aproveitamento do efeito inércia dos gases de exaustão, que acaba facilitando o processo de lavagem e alcançando maiores cargas de operação (LANZANOVA, 2017 apud. Muller, 2021).

21.3.2 Estratégia de cruzamento negativo de válvulas (NVO)

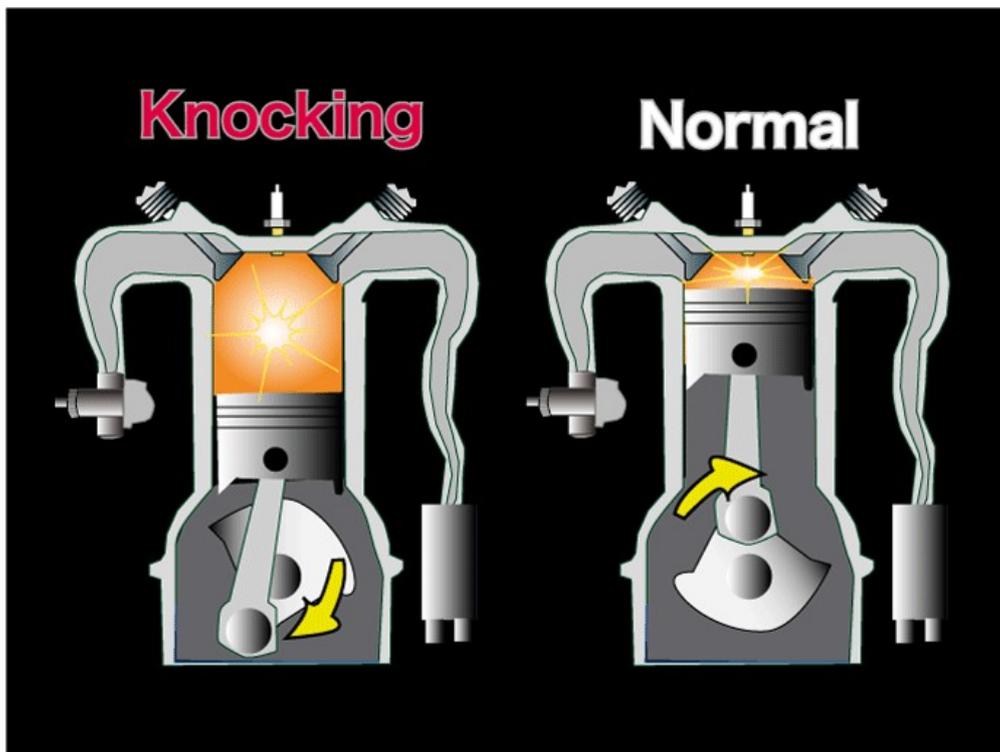
Essa estratégia é proveniente quando ocorre o fechamento adiantado das válvulas de exaustão antes do PMS, e a abertura das válvulas de admissão ocorre após o PMS, não permitindo que os resíduos dos gases se aloquem no cilindro. O fechamento adiantado das válvulas de exaustão, segura os gases residuais dentro da câmara de combustão, fazendo com que os gases sejam comprimidos enquanto o pistão avança em direção do PMS. Os gases queimados são então expandidos novamente até a abertura atrasada das válvulas de admissão. Nesse tempo, os gases atuam como uma mola, fazendo retornar parte do trabalho recebido durante a compressão da fase em que estão se expandindo novamente. Na operação sem estrangulamento, a quantidade do ar admitido é reduzida pelo fato da presença dos gases residuais. Assim, quanto maior o tempo de NVO, menor a carga máxima atingida (Lanzanova, 2017 apud. Muller, 2021).

22 TAXA DE COMPRESSÃO VARIÁVEL

A taxa de compressão variável foi uma tecnologia criada para ajudar a contornar um dos grandes gargalos encontrados em MCI com taxa de compressão fixa: a detonação.

Esse evento ocorre durante a fase de compressão, onde se inicia uma ignição causada pela compressão da mistura ar combustível, devido à alta pressão e a temperatura elevada dentro da câmara de combustão. Um dos agentes causadores da detonação é o combustível utilizado, elemento no qual possui uma certa quantidade de índice de octanas, que é a resistência à detonação, e cada combustível ou mistura de combustível pode apresentar uma resistência à detonação diferente, podendo ser maior ou menor.

Figura 79 - Efeito knocking



Fonte: Cardeal Page (2018)

Em um MCI com taxa de compressão fixa, há a necessidade de a ECU trabalhar em um sistema de controle em malha fechada para capturar os eventos de detonação através do sensor de detonação e utilizar o mapa de correção para controlar o avanço de ignição. Apesar da correção ser uma solução válida para solucionar esse problema, há uma consequência gerada por essa modificação (FLATOUT, 2016).

O grande problema de alterar o instante em que a ignição ocorre, se dá pelo fato de que, o início da combustão da mistura ar combustível acontece no momento correto para que a mistura não seja comprimida a ponto de haver uma combustão causada pela compressão, porém, essa mudança também afetará o ponto de pressão de combustão máxima, onde teoricamente deveria ser em aproximadamente 10° DPMS. Quando esse ângulo de pressão máxima não é respeitado, significa que houve uma ignição diferente do planejado no ciclo teórico do motor e isso ocasionará em uma força descendente causada pela combustão, que irá de encontro com o pistão que estará fazendo um movimento linear ascendente, gerando uma desaceleração brusca no êmbolo e gerando uma perda de rendimento no motor (FLATOUT, 2016).

Ao utilizar uma Taxa de Compressão Variável (TCV), o sistema se adequará ao combustível que está sendo utilizado, reduzindo as chances de ocorrência de detonação e evitando que a ECU tenha que realizar correções no avanço de ignição.

Em termos gerais, esse sistema fará melhor proveito da energia da mistura ar combustível em diferentes condições de carga de motor, promovendo um aumento da eficiência energética do MCI, reduzindo o consumo de combustível, reduzindo as emissões de poluentes e otimizando a potência e torque.

A taxa de compressão variável já existe há muitos anos e muitas montadoras se arriscaram em desenvolver um projeto para esse segmento, mas nenhuma atingiu o nível esperado que garantisse um projeto robusto, confiável e que fosse ágil o suficiente para se adaptar aos regimes de rotação, cargas e mistura A/F (FLATOUT, 2016).

A Saab Automobile, no ano de 2000 apresentou no salão de Genebra o sistema SVC (Saab Variable Compression), que foi desenvolvido em conjunto com o Escritório de Tecnologias Automotivas Avançadas. Este motor utilizava um sistema que variava a taxa de compressão ao variar a inclinação do cabeçote em relação ao bloco do motor. Infelizmente este motor nunca entrou em produção devido a falência da empresa (FLATOUT, 2016).

22.1 Funcionamento

Como dito anteriormente, outras montadoras tentaram desenvolver um motor com a taxa de compressão variável, porém a única que conseguiu desenvolver um sistema que estivesse apto para ser fabricado em larga escala, foi a Nissan/Infiniti. O motor desenvolvido (KR20DDET) é um 2.0 turbo de quatro cilindros que têm sua potência entre 241cv e 272 cv, devido a variações de calibrações entre os diferentes modelos da marca, o torque por sua vez permanece o mesmo e corresponde a 38,7 kgfm (FLATOUT, 2016).

Figura 80 - Nissan KR20DDET VC-T



Fonte: Nissan Global (2018)

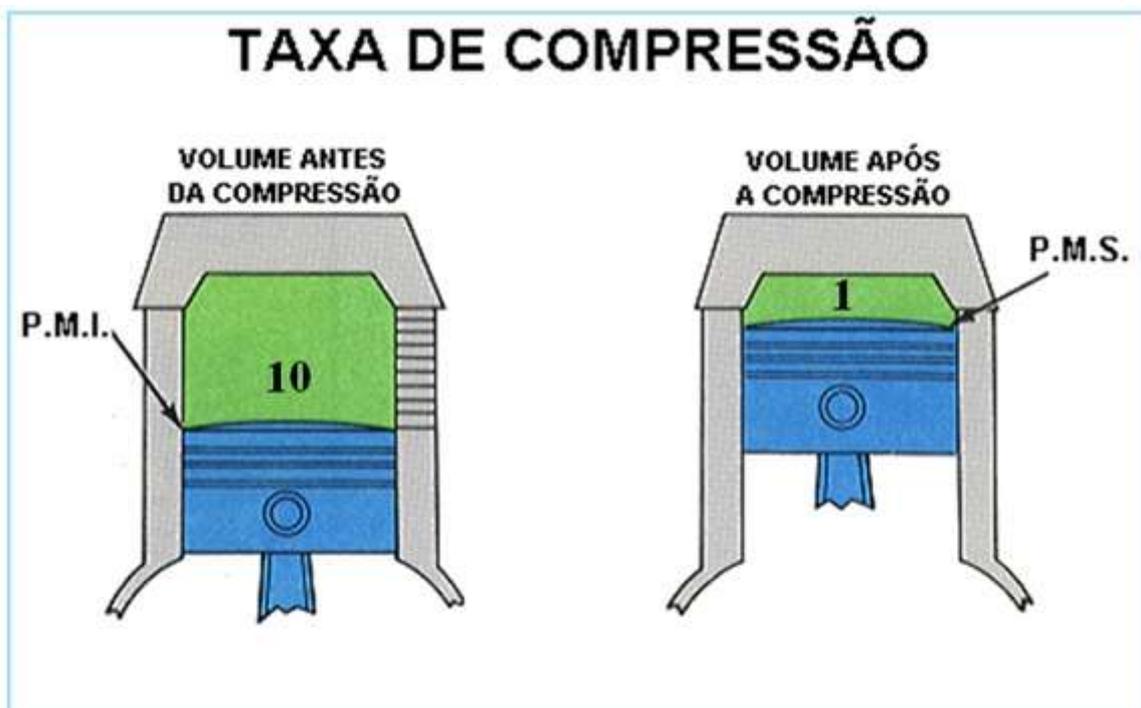
Os motores possuem certas limitações e não podem utilizar altas taxas de compressão, pois uma compressão muito elevada, aumenta a temperatura da mistura A/F, podendo também elevar os níveis de NOx, e dependendo da estratégia utilizada no momento comandada pela ECU pode levar ao fenômeno de detonação, sendo assim, este motor foi projetado com o intuito de otimizar o processo de combustão ao máximo, sendo flexível e permitindo diferentes estratégias (FLATOUT, 2016).

Grande parte dos MCI trabalham com a taxa de compressão fixa e essa característica é perceptível principalmente em motores flex, pois utiliza-se uma taxa de compressão intermediária para atender ambos os combustíveis, sendo que no Brasil, a mistura mais comum é a gasolina com adição de etanol, que atualmente varia de 25% até 27% de etanol em sua composição (Petrobras, 2021). Apesar dessa característica estar presente em veículos flex, os veículos mono-combustíveis (que utilizam apenas um combustível) sofrem com o mesmo problema, pois os motores estão sujeitos a utilização de diferentes concentrações de mistura dos combustíveis, ou seja, diferentes índices de octanas. Segundo a Resolução 807 de 2020, até dezembro de 2021, o limite exigido para os parâmetros do número de octanas de pesquisa (RON) será de 92, e a partir de primeiro de janeiro de 2022 o limite será de 93.

A taxa de compressão estática é um valor adimensional, que exprime em quantas partes a mistura dentro do cilindro será comprimida, porém é um valor teórico obtido quando o motor está desligado com o pistão no PMS. Em condições reais, a taxa de compressão é dinâmica e o valor é variável de acordo com a eficiência volumétrica do motor (FLATOUT, 2015).

A taxa de compressão dinâmica é calculada com o motor em funcionamento, pois há uma relação com a capacidade de enchimento dos cilindros, ou seja, para se obter o valor da taxa de compressão dinâmica deve ser levado em conta diversos fatores, principalmente os que influenciam na eficiência volumétrica como, características mecânicas do motor relacionados aos materiais, ângulos de construção, geometria e montagem das peças. Por ser um valor variável, a taxa de compressão dinâmica irá mudar de acordo com o regime de carga solicitado, sendo que a taxa será maior em regimes de rotações intermediárias, pois haverá um período maior para o enchimento dos cilindros (FLATOUT, 2015).

Figura 81 - Demonstrativo da taxa de compressão



Fonte: Motor Consult (2012)

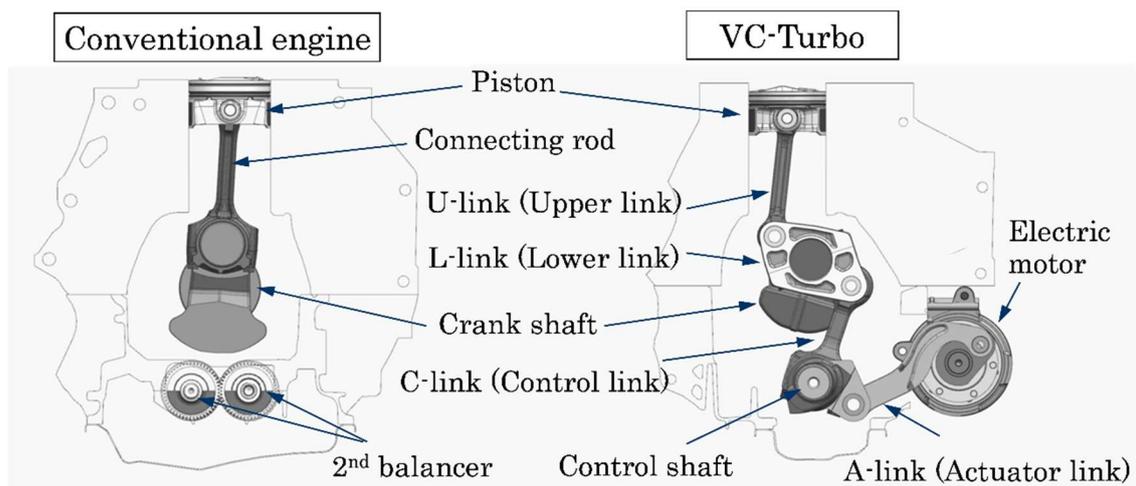
Em motores aspirados, há grande dependência das características construtivas do motor para se obter diferentes valores da taxa de compressão

dinâmica, porém, em motores sobrealimentados, essa dependência é reduzida. Como a taxa de compressão dinâmica depende da capacidade de enchimento do motor, em sistemas sobrealimentados, haverá uma indução forçada de ar para o interior dos cilindros, aumentando a massa de ar, conseqüentemente aumentando a densidade do ar, pois o volume se manterá fixo (FLATOUT, 2015).

Em motores flex e turbo, há um grande problema com a taxa de compressão, pois com a variação constante de combustível e rotações, há a exigência de diferentes estratégias do motor, que geram perdas no quesito eficiência e potência por ter uma taxa de compressão fixa.

A Figura 86, mostra as diferenças entre um motor convencional e um motor com compressão variável (VC-T – *Variable Compression - Turbo*).

Figura 82 - Diferenças entre um motor convencional e o VC-T



Fonte: The Japan Society of Mechanical Engineers (2018)

Composição:

Piston = Pistão;

Upper link = Elo superior;

Lower link = Elo inferior;

Crankshaft = Árvore de manivelas;

Control link = Elo de controle;

Control shaft = Eixo de controle;

Actuator link = Elo do atuador;

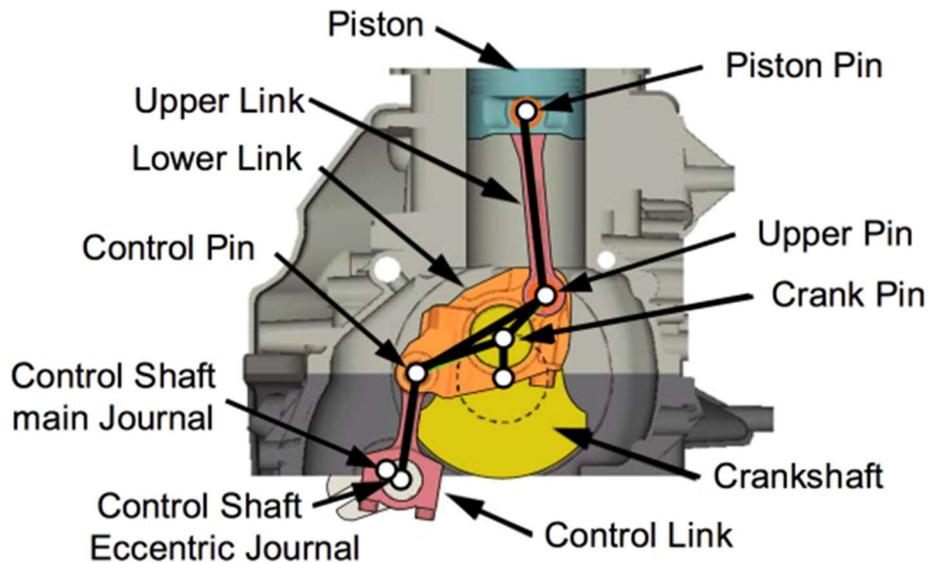
Electric motor = Motor elétrico;

Trata-se de uma tecnologia denominada multi-link, que obtém uma larga faixa de taxa de compressão e é vantajoso para aplicações práticas (JSME, 2018).

22.2 Mecanismo

O pistão e a árvore de manivelas são conectados em tandem por dois elos, o *upper link* e o *lower link*. O *lower-link* conecta-se ao control link e ao eixo de controle. A rotação do eixo de controle que realiza a variação da taxa, é feito pelo motor elétrico que é conectado ao A-link (JSME, 2018).

Figura 83 - Componentes do sistema

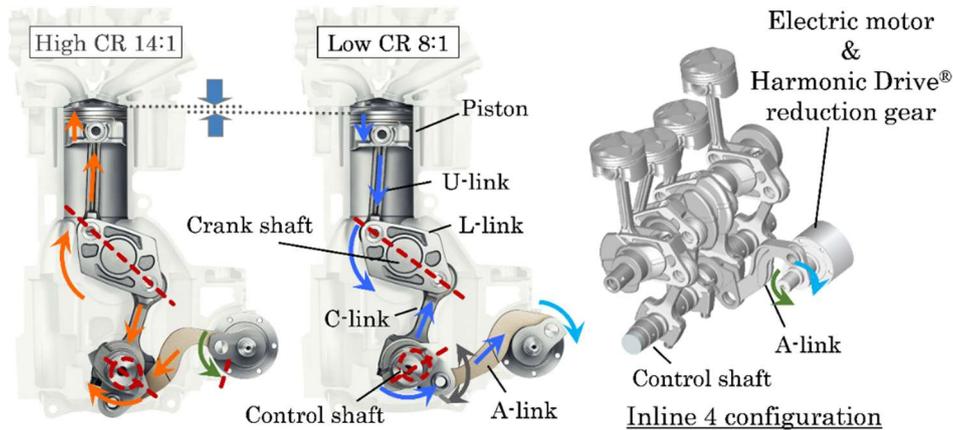


Fonte: Green Cars Congress (2016)

22.3 Operação

O motor VC-T usa um sistema *multi link* no lugar de uma biela tradicional para rotacionar a árvore de manivelas, e um atuador irá mudar o ponto final do sistema *multi link* para variar o alcance dos pistões e alterar a taxa de compressão. Isso torna possível variar a taxa de compressão continuamente, conforme necessidade dentro da faixa de 8:1 para regimes de altas cargas a 14:1 para regimes de baixa carga. A taxa de compressão ideal pode ser continuamente definida para corresponder à solicitação de carga do motor (Nissan, 2021).

Figura 84 - Funcionamento do sistema VC-T



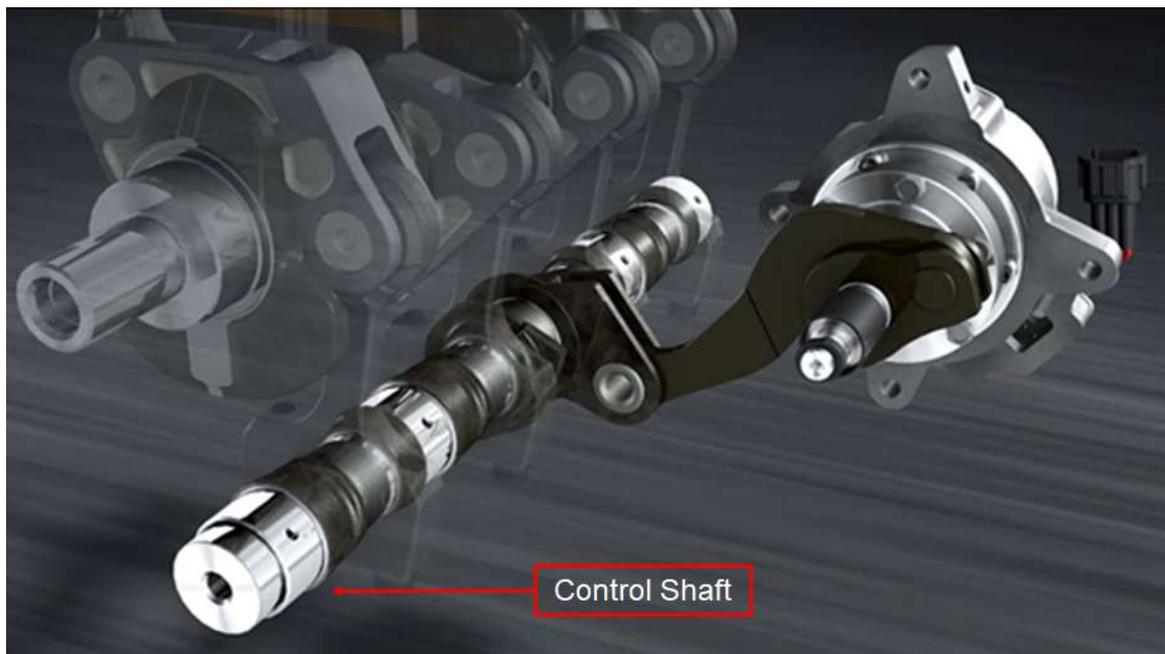
Fonte: JSME (2018)

22.4 Componentes

22.4.1 Control shaft

O *control shaft* é conectado ao *control link*, que por sua vez se liga ao *multi-link* e, por meio deste componente, ao realizar o movimento ascendente ou descendente se altera a taxa de compressão do motor. Na fabricação deste componente, podem ser utilizados diferentes tipos de ligas. Para definir qual material será utilizado, é preciso considerar o momento de força e a intensidade de vibrações quando este componente é submetido ao seu máximo estresse, estabelecido nos regimes de máxima potência e torque (Nissan, 2021).

Figura 85 - Control Shaft

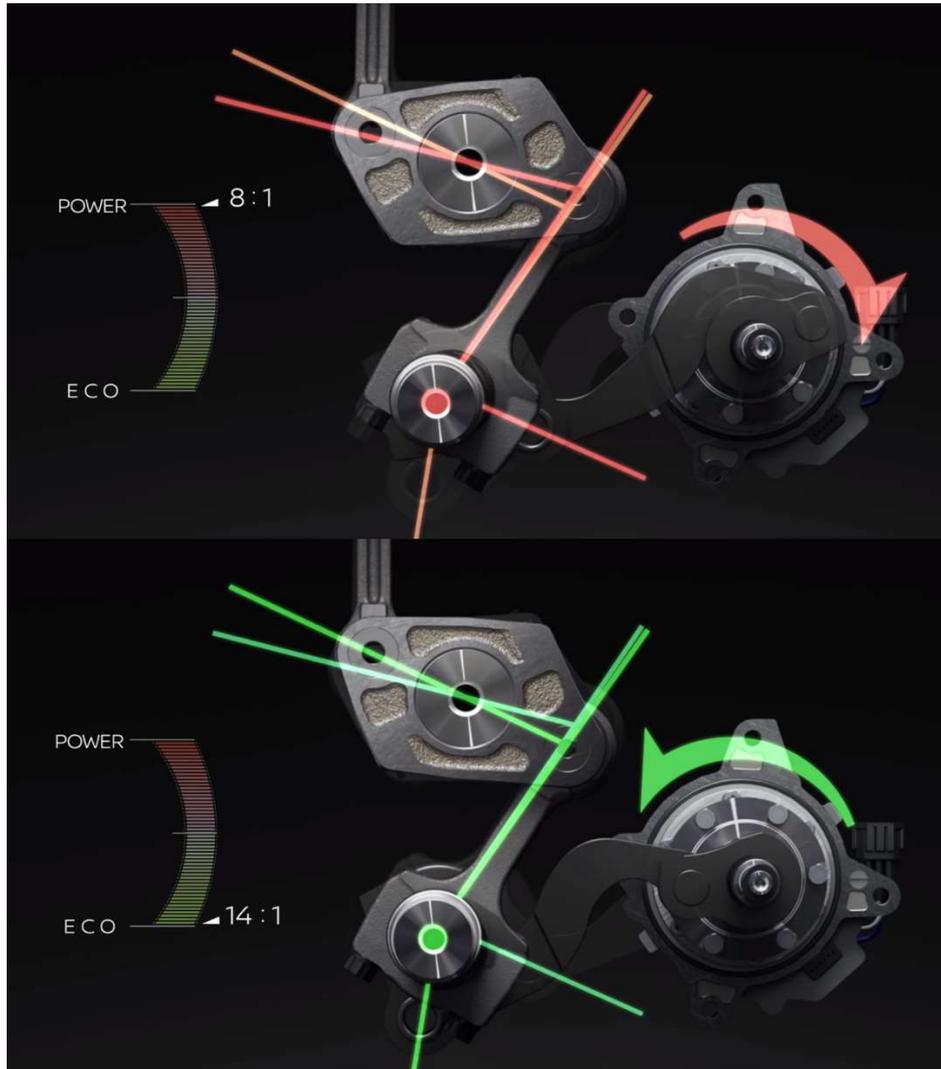


Fonte: Adaptado de Nissan Motor Corporation (2018)

22.4.2 Control link

A ligação ao *control shaft* é feita através do *control link*, este componente é idêntico a uma biela convencional utilizada nos motores, mas o seu papel neste sistema é rotacionar a uma extremidade do *multi-link*, assim, alterando o ângulo de acordo com o movimento do *control shaft* (Nissan, 2021).

Figura 86 - Control Link



Fonte: Nissan (2018)

A Figura 90 demonstra a alteração do ângulo do sistema lower link. Esta alteração implica diretamente no momento de força (F).

Uma baixa taxa de compressão é adequada quando é solicitado mais potência do motor e, uma alta taxa de compressão prioriza a melhor eficiência energética, garantindo um melhor consumo de combustível, conseqüentemente, reduzindo o nível de emissões (Nissan, 2021).

22.4.3 Multi-link

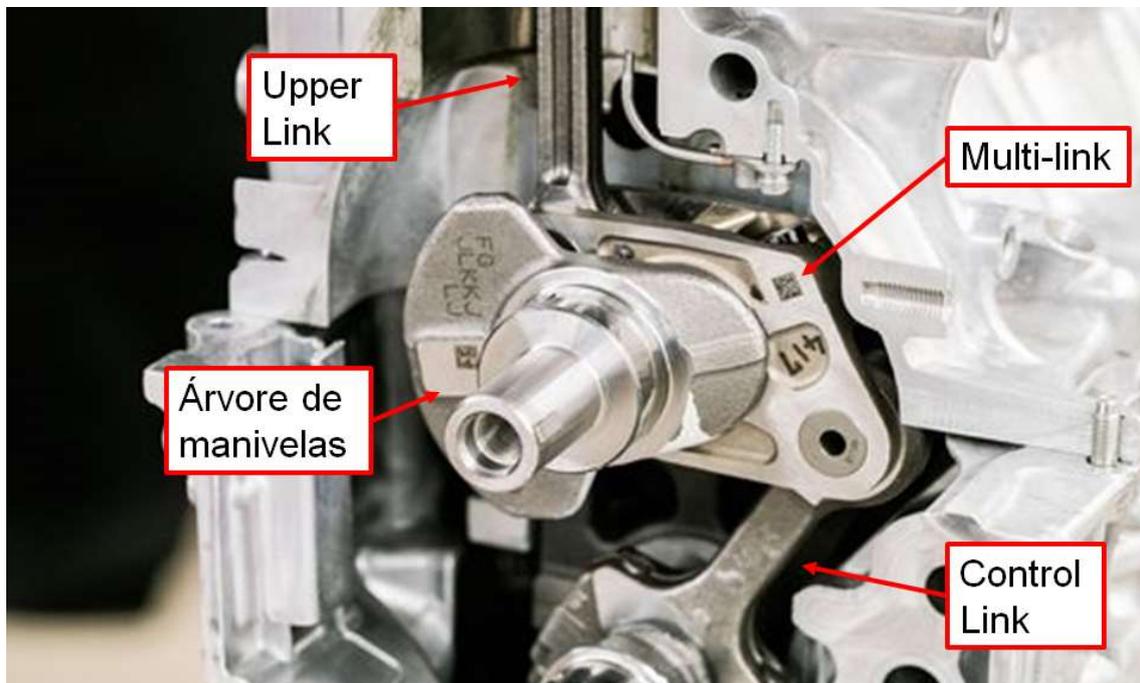
O *multi-link* é componente muito importante para o funcionamento deste sistema, devido ao *upper link* estar conectado (a biela que está conectada ao pistão)

com uma extremidade do *multi-link*, que está ligado a árvore de manivelas e sua outra extremidade, conectada ao *control link* recebendo o comando do *control shaft*.

A Figura 91 demonstra como é feita a conexão entre estas peças. Uma extremidade do *multi-link* está conectada ao *upper e link* além de cumprir o mesmo papel da biela, que é transformar o movimento linear do êmbolo em movimento rotacional para a árvore de manivelas, também tem sua outra extremidade conectada ao *control link*, que por sua vez recebe o comando do *control shaft*, assim, o ângulo do *multi-link* é alterado, conseqüentemente modificando o curso do pistão, alterando a taxa de compressão do motor.

O *multi-link* utilizado no projeto da Nissan/Infiniti é um componente que necessita suportar altas demandas de tensões torcionais, vibracionais e desgastes, devido a isso, sua fabricação é composta de uma liga de alumínio forjada, que além de possuir uma alta resistência, é um material muito leve se comparado com outros materiais com as mesmas características (Nissan, 2021).

Figura 87 - Multi-link



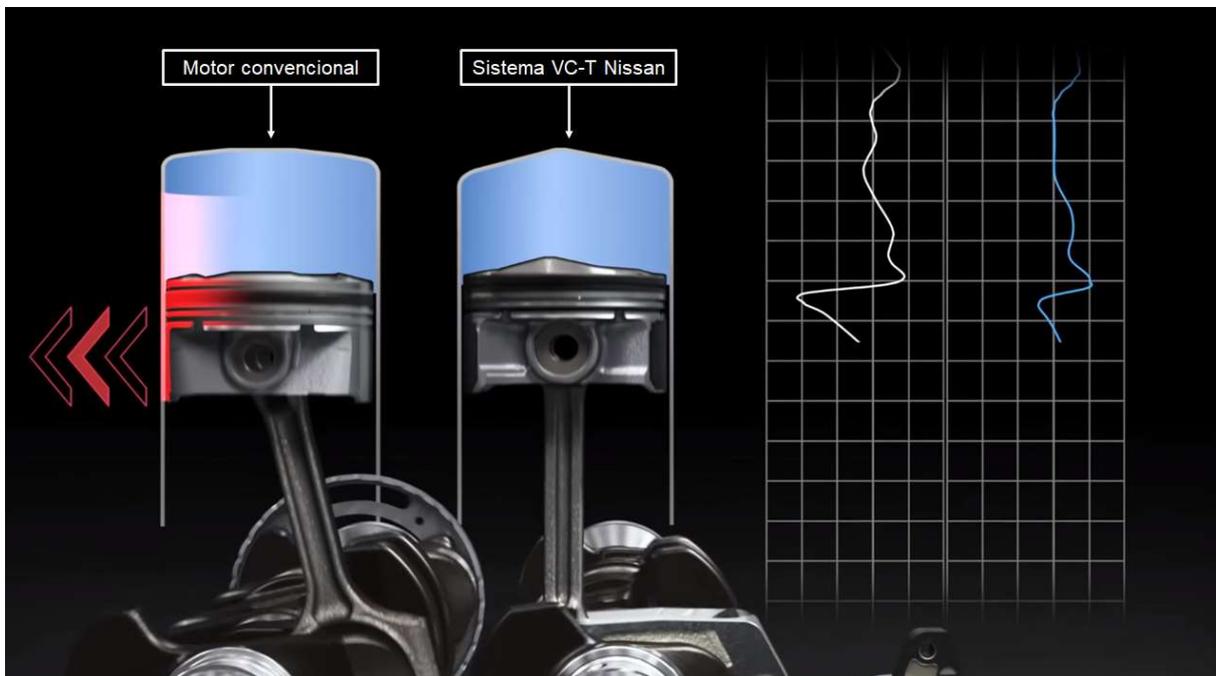
Fonte: Car and Driver (2017)

22.4.4 Upper link

O conjunto *upper link-piston*, como dito anteriormente são muito semelhantes ao sistema pistão-biela, utilizados nos motores convencionais. A grande diferença deste sistema é que o *upper link* não é conectado diretamente a árvore de manivelas, mas sim, em uma extremidade do sistema *multi-link* por meio de um pino, apenas.

A energia desperdiçada nas paredes dos cilindros neste sistema multi-link é muito menor do que em motores convencionais. A relação entre biela-manivela é melhor, permitindo um menor ângulo entre o centro do pino do pistão e a máxima distância de raio dos moentes da árvore de manivelas. Com uma menor energia desperdiçada, os pistões que são utilizados neste motor são modelos convencionais, forjados, compactos e mais leves, pois não necessitam de reforços na saia para suportar as mesmas forças e desperdícios de energia que são encontrados em outros motores (Santos, 2018).

Figura 88 – Comparação de desperdício de energia na parede do cilindro

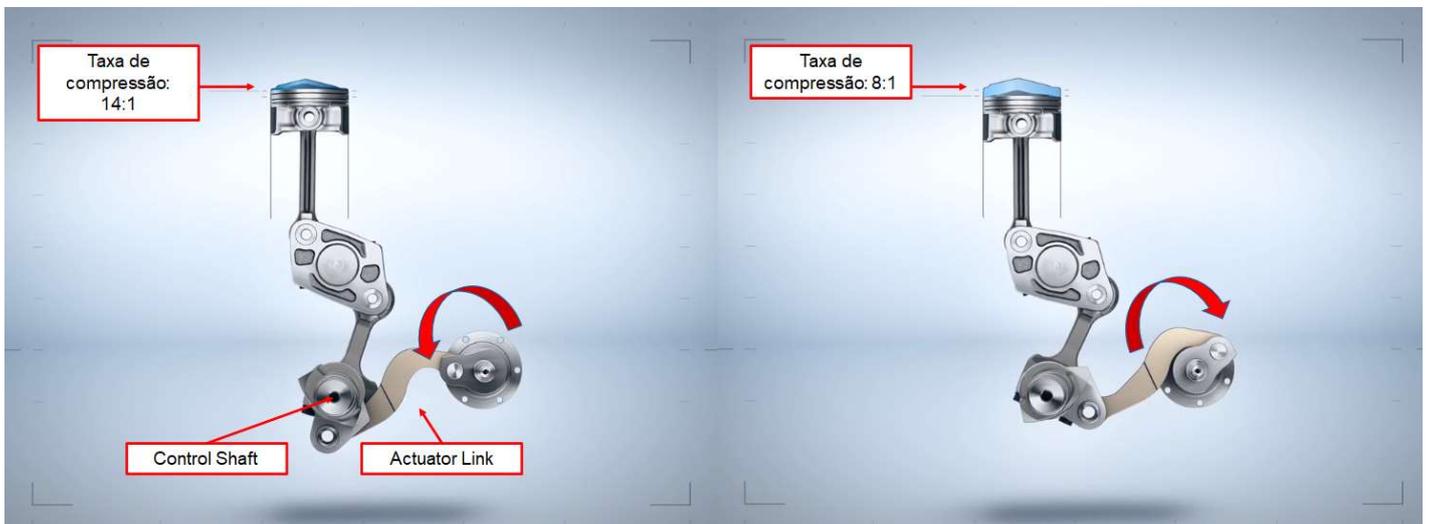


Fonte: Nissan (2018)

22.4.5 Atuador elétrico de variação da taxa de compressão

Este atuador recebe os comandos da unidade de gerenciamento eletrônico, desta forma é possível que um servo motor atue e rotacione até um ângulo máximo de 300°. Por meio deste movimento, o *actuator link* que está conectado ao servo motor, consegue alterar a posição do *control shaft*, conseqüentemente, modificando o curso do êmbolo (Santos, 2018).

Figura 89 - Atuador elétrico do sistema de variação



Fonte: Adaptado de Nissan Motor Corporation (2018)

23 CONCLUSÃO

Com base no estudo realizado, foi possível compreender as diversas tecnologias utilizadas pelas montadoras para que fosse possível atender as normas legais, as normas técnicas e os requisitos dos clientes. As análises das tecnologias foram fundamentais para conseguir entender os motivos pelos quais foram empregadas, buscando observar os benefícios, os malefícios e as características de cada escolha. Os motivos para o desenvolvimento das tecnologias são os mais variados, porém, os principais fatores que representam todo o esforço empregado, é o aumento na eficiência energética dos MCI e a redução na emissão de poluentes, embora estejam diretamente relacionados.

Utilizando o cenário automotivo como exemplo, o aumento da eficiência energética dos motores, representa a otimização da utilização da energia química presente no combustível, e com isso, necessitando utilizar uma menor quantidade de combustível para produzir uma determinada potência e torque. Com menos combustível sendo injetado, haverá uma redução na quantidade de poluentes que serão emitidos.

A busca por um melhor rendimento pode ser resumida pelo conceito *downsizing*, onde as montadoras procuram desenvolver motores menores, com peças mais leves e resistentes, porém, com mais dispositivos integrados a fim de conseguir extrair mais potência e torque de motores com uma menor capacidade volumétrica. Dessa forma, observando a análise do ciclo de vida dos motores *downsizing*, é possível notar que os novos motores poluem menos ao longo de toda a sua vida (do berço ao túmulo).

O desenvolvimento de novos sistemas é um processo muito custoso monetariamente para as montadoras, onde o valor gasto no projeto é diluído no preço final do produto, e alguma vezes, podendo mudar a escolha do veículo que o consumidor irá comprar por conta do preço ofertado. Como já existem diversas tecnologias embarcadas, as montadoras enfrentam o desafio de desenvolver novos sistemas com um baixo custo, pois há uma alta complexidade para conseguir integrar todas as tecnologias e fazer com que funcionem harmonicamente dentro do ambiente veicular.

Atualmente, as montadoras têm feito diversos estudos para conseguir criar tecnologias ou melhorar as já existentes e para isso, há um grande investimento na

área de pesquisa e desenvolvimento, que algumas vezes pode contar com a ajuda de alunos de universidades. Esse tipo de parceria tem se tornado cada vez mais comum e é uma prática vantajosa para ambos os lados.

23.1 Propostas futuras

Ainda que os motores de combustão interna aparentam estar com os dias contados (estão cada vez mais em desuso), dando espaço para os veículos de propulsão elétrica, a área de desenvolvimento de sistemas mecânicos e eletrônicos para os MCI é muito grande, sendo que os reais fatores limitantes para o desenvolvimento são as leis de redução de emissões e o orçamento disponível para o projeto.

Para otimizar a eficiência volumétrica diversos métodos e tecnologias foram empregadas no intuito de se extrair mais potência e torque em um mesmo volume do motor, atendendo os requisitos de emissão de poluentes.

Uma das tecnologias que vem ganhando notoriedade para atender os grandes desafios de eficiência energética requisitados pelos órgãos governamentais e pela população em geral, é a taxa de compressão variável. Apesar do conceito ser relativamente antigo, somente agora vem ganhando popularidade entre as montadoras.

Diante dessas exigências, idealizamos um veículo que conseguiria atender todas essas demandas e ainda assim, teria uma grande área para desenvolvimento. O veículo ideal a ser desenvolvido com as tecnologias disponíveis atualmente, utilizará um motor *downsizing* com comando de válvulas variáveis na admissão e no escape, junto com um turbocompressor e com o sistema de injeção direta para auxiliar na estratificação da mistura.

Com base nisso, o veículo proposto conseguirá minimizar o grande problema causado pelos veículos que utilizam motor de ciclo Otto bicomustível, a detonação causada por combustíveis de má qualidade, e atenderia os requisitos relacionados a emissões de poluentes. A implementação do sistema da taxa de compressão variável em motores de combustão interna em veículos híbridos uniria os benefícios das duas plataformas, a autonomia dos motores à combustão aliada com a alta eficiência energética dos motores elétricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Souza, Alfeu; Hurtado, Diego. **A EVOLUÇÃO DO SISTEMA DE INJEÇÃO DE COMBUSTÍVEL EM MOTORES CICLO OTTO: UMA ANÁLISE CRÍTICA DE SUAS IMPLICAÇÕES NO MEIO AMBIENTE À REGULAMENTAÇÃO LEGAL NO SISTEMA NORMATIVO PÁTRIO.** Revista Eletrônica do Curso de Direito da UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. Rio Grande do Sul, 2013. Acesso em: 05 novembro 2021

Muller, Alice. **VALIDAÇÃO DE MODELOS COMPUTACIONAIS DE UM MOTOR DE IGNIÇÃO POR CENTELHA COM COMANDO DE VÁLVULAS TOTALMENTE VARIÁVEL OPERANDO COM ETANOL.** Monografia de graduação da UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. Rio Grande do Sul, 2021. Acesso em: 10 setembro 2021

Garcia, Álvaro. **ANÁLISE CONCEITUAL DOS TURBOCOMPRESSORES EM MOTORES DE CICLO OTTO.** Monografia de graduação da FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SANTO ANDRÉ. Santo André, 2016. Acesso em: 28 setembro 2021

Siqueira, A; Siqueira, D. **Estudo e Avaliação da Tecnologia Flex Fuel.** Instituto Politécnico, IPRJ, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, 2004. Nova Friburgo Rio de Janeiro. Acesso em: 10 agosto 2021

Loiolla, B; Silva, E; Brollo, G; Tomazini, R. **ANÁLISE DAS EMISSÕES DE POLUENTES DE MOTORES FLEX NA SAÍDA DE ESCAPAMENTO DE AUTOMÓVEIS.** Volume 7, 2011. Fonte disponível em: <<http://sistemas.ib.unicamp.br/be310/nova/index.php/be310/article/view/276>>. Acesso em: 01 outubro 2021

Brasil. **Diário Oficial da União**; Resolução Nº 807, de 23 de janeiro de 2020. Fonte disponível em:<<https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-n-807-de-23-de-janeiro-de-2020-239635261>>. Acesso em: 10 novembro 2021

Dias, Bruno. **UNIDADE MICROCONTROLADORA PARA GERENCIAMENTO ELETRÔNICO DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA CICLO OTTO.** Monografia de mestrado da ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. São Paulo, 2015. Acesso em: 27 agosto 2021

Tillmann, Carlos. **Motores de combustão interna e seus sistemas.** Disponível em: <http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifsul/tecnico_biocombustivel/motores_combustao_interna_e_seus_sistemas.pdf>. Acesso em: 5 março 2021

Varella, Carlos. **HISTÓRICO E DESENVOLVIMENTO DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA.** Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/Aulas/historico_e_desenvolvimento_dos_motores.pdf>. Acesso em: 5 março 2021

Barbosa, Cleiton. **DESEMPENHO DE UM MOTOR CICLO OTTO COM INJEÇÃO DIRETA DE GÁS NATURAL.** Tese de Doutorado da ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. São Carlos 1997. Acesso em 10 junho 2021

Contagem Motorpeças. **Brunimento dos cilindros: Você sabe o que é?** Disponível em: <<https://contagemmotorpecas.com.br/blog/brunimento-dos-cilindros/>>. Acesso em: 7 março 2021

Silva, Cynthia. **Sensores utilizados no gerenciamento do motor de combustão interna ciclo Otto.** Fonte disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/sensores-motor-combustao-interna-otto/>>. Acesso em: 14 outubro 2021

Silva, Cynthia. **Atuadores utilizados no gerenciamento do motor de combustão interna ciclo Otto.** Fonte disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/atuadores-do-motor-de-combustao/>>. Acesso em: 15 outubro 2021

Pratte, David. ***A Look At Twin Scroll Turbo System Design – Divide and Conquer?*** Fonte disponível em: <<https://www.motortrend.com/how-to/modp-0906-twin-scroll-turbo-system-design/>>. Acesso em 03 setembro 2021

Delphi Autoparts. ***The basics of EGR – what they do, how they work, how to troubleshoot.*** Fonte disponível em:<<https://www.delphiautoparts.com/usa/en-US/resource-center/basics-egrs-what-they-do-how-they-work-how-troubleshoot>>.

Acesso em: 17 novembro 2021

Educação Automotiva. **Motor 3 cilindros cumpre o que promete?** Disponível em: <<https://educacaoautomotiva.com/2017/07/26/motores-de-3-cilindros/>>. Acesso em: 10 março 2021

Sodré, Eduardo. **Há 84 anos, Porsche assinava contrato com Hitler para desenvolver o Fusca.** Disponível em:<<https://www1.folha.uol.com.br/sobretudo/rodas/2018/06/1972699-ha-84-anos-porsche-assinava-contrato-com-hitler-para-desenvolver-o-fusca.shtml>>. Acesso em 03 setembro 2021

Pujatti, Fabrício. **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO ELETRÔNICO PARA MOTORES DE IGNIÇÃO POR CENTELHA.** Monografia de pós-graduação da UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Belo Horizonte, 2007. Acesso em: 10 outubro 2021

Porto, Fernando. **Componentes móveis.** Disponível em: <<https://fernandoportoprofessorengenhheiro.files.wordpress.com/2017/03/mci-05-componentes-mc3b3veis.pdf>>. Acesso em 7 março 2021

Brunetti, Franco. **Motores de Combustão Interna Volume 1.** 3ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 2014. Acesso em: 25 julho 2021

Brunetti, Franco. **Motores de Combustão Interna Volume 2.** 1ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 2012. Acesso em: 10 agosto 2021

Silva, Glauco; Souza, Robson. **Motores de Combustão Interna.** 1ª ed. Brasília: NT Editora, 2014. Acesso em: 10 agosto 2021

Global Toyota. **Toyota Develops New VVT-i Engine Technology Provides Outstanding Performance and Fuel Economy.** Disponível em: <<https://global.toyota/en/detail/7893162>>. Acesso em: 10 setembro 2021

Ibama. **Programa de controle de emissões veiculares (Proconve).** Fonte disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/emissoes/veiculos-automotores/programa-de-controle-de-emissoes-veiculares-proconve>>. Acesso em: 30 setembro 2021

Ibama. **Programa de Controle da Poluição do Ar Por Veículos Automotores.** 3ª ed. Brasília, 2011. Fonte disponível em: <http://www.ibama.gov.br/phocadownload/veiculosautomotores/manual%20proconve%20promot_portugues.pdf>. Acesso em: 01 outubro 2021

Martins, Jorge. **Motores de Combustão Interna.** 2ª ed. Portugal: Editora PUBLINDÚSTRIA, 2006.

Meditich, Jorge. 1914 o automóvel vai à guerra. Disponível em: <<http://admin.autoestrada.com.br/noticia/7-autoconhecimento/62-1914%3A-o-automovel-vai-a-guerra>>. Acesso em: 5 março 2021

Mahar, José. **Como as crises econômicas influenciaram a história do automóvel.** Disponível em: <<https://quatorrodas.abril.com.br/noticias/como-as-criises-economicas-influenciaram-a-historia-do-automovel/>>. Acesso em: 5 março 2021

JSME. **Development of Mass production Variable compression engine.** Fonte disponível em: <<https://www.jsme.or.jp/english/about/awards/2018-2/award2018-nt1/>>. Acesso em: 08 outubro 2021

Ogata, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno.** tradutora Helóisa Coimbra de Souza; revisor técnico Eduardo Aoun Tannuri. 5ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. Acesso em: 27 outubro 2021

Wong, Kong. **VTEC.** Fonte disponível em: <<http://asia.vtec.net/spfeature/vtecimpl/vtec1.html>>. Acesso em: 10 novembro 2021

Contesini, Leonardo. **Como funcionam os carburadores – e tudo o que você precisa saber sobre eles.** Disponível em <www.flatout.com.br/como-funciona-um-carburador>. Acesso em: 26 de maio de 2016

Contesini, Leonardo. **Qual a diferença entre Biturbo, Twin-turbo e Twin-scroll?** Fonte disponível em: <<https://flatout.com.br/qual-a-diferenca-entre-biturbo-twin-turbo-e-twin-scroll/>>. Acesso em: 04 setembro 2021

Contesini, Leonardo. **Como a relação entre diâmetro e curso define as características do motor.** Fonte disponível em: <<https://flatout.com.br/como-a-relacao-entre-diametro-e-curso-define-as-caracteristicas-do-motor/>>. Acesso em: 06 setembro 2021

Contesini, Leonardo. **As três versões do i-VTEC: desfazendo a confusão do comando variável da Honda.** Fonte disponível em:<<https://flatout.com.br/as-tres-versoes-do-i-vtec-desfazendo-a-confusao-do-comando-variavel-da-honda/>>. Acesso em: 15 setembro 2021

Mahle. **CURSO MAHLE METAL LEVE, MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA.** Disponível em: <<https://www.mahle-aftermarket.com/media/local-media-latin-america/catalogs/brasil/pdf-catalogos/2019-manual-tecnico-curso-de-motores-web.pdf>>. Acesso em: 5 março 2021

MTE THOMSON. **Sensor MAF.** Fonte disponível em: <<https://www.mte-thomson.com.br/produtosmte/sensor-maf/>>. Acesso em: 13 outubro 2021

Nissan. **VC-Turbo Engine.** Fonte disponível em: <https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/vc_turbo_engine.html>. Acesso em: 08 outubro de 2021

Petrobrás. **Por que é adicionado etanol na gasolina.** Fonte disponível em:<<https://duvidasgasolina.petrobras.com.br/por-que-e-adicionado-etanol-na-gasolina/>>. Acesso em: 05 novembro 2021

Planas, Oriol. ***Differences between real and theoretical Otto cycles***. Fonte disponível em: <<https://en.demotor.net/heat-engine/otto-engine/difference-between-real-theoretical-otto-cycle#:~:text=In%20the%20theoretical%20cycle%2C%20it,combustion%20lasts%20a%20certain%20time>>. Acesso em 10 março 2021

Mansour; Ribbens. apud Milhor, Carlos. **SISTEMA DE DESENVOLVIMENTO PARA CONTROLE ELETRÔNICO DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA CICLO OTTO**. Monografia de mestrado da ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. São Carlos, 2002. Acesso em: 15 novembro 2021.

Bosch, Robert. **Manual de Tecnologia Automotiva**, Tradução da 25ª edição alemã. 25ª ed. São Paulo: Editora Edgard BLUCHER. Acesso em: 25 junho 2021

Passos, Rodrigo. **Turbocompressores: entendendo o básico sobre seu funcionamento**. Fonte disponível em: <<https://flatout.com.br/turbocompressores-entendendo-o-basico-sobre-seu-funcionamento/>>. Acesso em: 04 setembro 2021

Passos, Rodrigo. **Taxa de compressão: qual a sua importância para os motores?** Fonte disponível em: <<https://flatout.com.br/taxa-de-compressao-qual-a-sua-importancia-para-os-motores/>>. Acesso em: 08 outubro de 2021

Rodrigues, Thiago de Matos. **“DOWNSIZING” EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA: UMA ABORDAGEM DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA**. Monografia de pós-graduação do CENTRO UNIVERSITÁRIO DO INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA. São Caetano do Sul, 2014. Acesso em: 26 julho 2021

Schaeffler. **VARIADOR DE FASE DO EIXO DE COMANDO DE VÁLVULAS**. Fonte disponível em: <https://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/datasheet_1/downloads_4/informetecnicovcp_br_br.pdf>. Acesso em: 02 novembro 2021

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DE FIGURAS

Allparts Net. Fonte disponível em: <<https://www.allpartsnet.com.br/biela-motor-takao-mitsubishi-galant-2-4-16v-1992-1996-bloco-4g64-bimi0006/>>. Acesso em: 28 abril 2021

Allparts Net. Fonte disponível em: <<https://www.allpartsnet.com.br/virabrequim-takao-mitsubishi-space-wagon-2-4-16v-1993-1998-bloco-4g64-vbmi0024/p>>. Acesso em: 28 abril 2021

Allparts Net. Fonte disponível em:< <https://www.allpartsnet.com.br/bobina-ignicao-ngk-honda-civic-1-7-2001-2005-u5160-bnho5160/p>>. Acesso em: 12 novembro 2021

Amazon. Fonte disponível em:<<https://www.amazon.com/Variable-Actuator-Solenoid-15330-22040-Celica1-8L/dp/B07QH69NRV>>. Acesso em: 18 novembro 2021

APS Distribuidora. Fonte disponível em: <<http://www.apsdistribuidora.com.br>>. Acesso em: 03 setembro 2021

Auto Carup. Fonte disponível em:<<https://autocarup.com.br/historia-motor-a-combustao/>>. Acesso em: 13 mar 2021

Auto Portal. Fonte disponível em: <<https://autoportal.com/articles/what-is-gdi-fsi-cgi-sidi-direct-injection-6965.html>>. Acesso em: 16 agosto 2021

Automag. Fonte disponível em: <http://206.160.145.240/automag/techbriefs_01-00/08.htm>. Acesso em: 16 agosto 2021

Barbosa. Fonte disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Estrategias-de-injecao-simultanea-em-grupo-e-seguencial-para-sistemas-de_fig2_307752901>. Acesso em: 10 setembro 2021

Blog Ciclo. Fonte disponível em: <<http://blog.ciclo.eng.br/sistemas-de-injecao-semelhancas-e-diferencas-1/>>. Acesso em: 16 julho 2021

Blog FPT. Fonte disponível em: <<https://www.blogdafpt.com.br/2020/07/como-calcular-cilindradas/>>. Acesso em: 29 setembro 2021

Blog Jocar. Fonte disponível em: <<https://blog.jocar.com.br/o-que-faz-o-carter-do-motor/>>. Acesso em: 28 abril 2021

Blog Jocar. Fonte disponível em:<<https://blog.jocar.com.br/sistema-de-arrefecimento/>>. Acesso em: 15 novembro 2021

Blog Simplus. Fonte disponível em: <<https://blog.simplusbr.com/sistema-de-arrefecimento-do-motor>>. Acesso em: 24 agosto 2021

Blog Simplus. Fonte disponível em: <<https://blog.simplusbr.com/turbo-compressor-de-geometria-variavel>>. Acesso em: 03 setembro 2021

Blog Simplus. Fonte disponível em:<<https://blog.simplusbr.com/wp-content/uploads/2020/11/sensor-de-rotacao-3.png>>. Acesso em: 13 novembro 2021

Bosch. Fonte disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/FIGURA-09-Mapa-para-o-avanco-da-ignicao-BOSCH-1988-p-291-fig-46_fig5_34981981>. Acesso em: 15 outubro 2021

Canal da Peça. Fonte disponível em: <<https://www.canaldapeca.com.br/blog/regular-carburador-do-ford-maverick/>>. Acesso em: 05 setembro 2021

Canal da Peça. Fonte disponível em:<<https://www.canaldapeca.com.br/blog/como-funciona-o-controle-de-marcha-lenta-do-veiculo/>>. Acesso em: 21 outubro 2021

Canal da peça. Fonte disponível em:<<https://www.canaldapeca.com.br/blog/como-funciona-sensor-de-detonacao/>>. Acesso em: 31 outubro 2021

Canal da Peça. Fonte disponível em:<<https://www.canaldapeca.com.br/p/1062479/sensor-de-rotacao-mte-thomson-7053-unitario>>. Acesso em: 13 novembro 2021

Canal da Peça. Fonte disponível em:<<https://images.canaldapeca.com.br/produtos/gg/91/07/sonda-lambda-analisador-gases-ou-fumaca-1770791-1447432764579.jpg>>. Acesso em: 13 novembro 2021

Canal da Peça. Fonte disponível em:<https://www.canaldapeca.com.br/blog/wp-content/uploads/2018/06/shutterstock_484662223.jpg>. Acesso em: 13 novembro 2021

Canal da Peça. Fonte disponível em:<<https://www.canaldapeca.com.br/blog/valvula-egr-quais-sao-seus-beneficios/>>. Acesso em: 17 novembro 2021

Car And Driver. Fonte disponível em: Adaptado de: <https://www.caranddriver.com/photos/g15179407/infinitis-kr20-variable-compression-turbocharged-engine-prototype-drive-gallery/?slide=27>. Acesso em: 10 outubro 2021

Cardeal Page. Fonte disponível em:<<https://www.cardealpage.com/column/4785>>. Acesso em: 18 novembro 2021

Carro de Garagem. Fonte disponível em:<<https://www.carrodegargem.com/quais-sao-principais-partes-motor-carro/>>. Acesso em: 30 maio 2021

Carlos Milhor. Fonte disponível em: **SISTEMA DE DESENVOLVIMENTO PARA CONTROLE ELETRÔNICO DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA CICLO OTTO**. Página 74, tabela 03. Acesso em: 15 outubro 2021

CENTRIC AUTO REPAIR. Fonte disponível em: <<https://www.centricautorepair.com/2016/07/19/the-truth-on-air-filters/>>. Acesso em: 13 outubro 2021

Connect Parts. Fonte disponível em: <<https://connectparts.vteximg.com.br/arquivos/ids/707192-1000-1000/image-b3dfd2de933a49b7b3b5edc9b478fcea.jpg?v=636700365000400000>>. Acesso em: 13 novembro 2021

Contagem Motorpeças. Fonte disponível em: <<https://contagemmotorpecas.com.br/produtos/anel-de-segmento/>>. Acesso em: 28 abril 2021

Ebay. Fonte disponível em: <https://www.ebay.com/itm/234026846873?_ul=MX&chn=ps&norover=1&mkevt=1&mkrid=21527-161791-684379-7&mkcid=2&itemid=234026846873&targetid=1301274261574&device=c&mktype=pla&googleloc=1001765&poi=&campaignid=13433240304&mkgroupid=125796657480&rlsatarget=pla-1301274261574&abclid=9300584&merchantid=432106700&gclid=CjwKCAiAp8iMBhAqEiwAJb94z_-qVrrjCQS3AxYZBD3AxTbPvWCEycRBFHxAen-n5-iLUb2B7UEiFBoCstEQA_vD_BwE>. Acesso em: 15 novembro 2021

Embarcados. Fonte disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/sensores-motor-combustao-interna-otto/>>. Acesso em: 08 outubro 2021

Embarcados. Fonte disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/motores-de-combustao-admissao-injecao-e-ignicao/>>. Acesso em: 15 outubro 2021

Fabrcio Pujatti. Fonte disponível em: **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO ELETRÔNICO PARA MOTORES DE IGNIÇÃO POR CENTELHA**. Página 23, fig. 3.4. Acesso em: 15 outubro 2021

Flávio Lucas blogspot. Fonte disponível em:
<<http://flaviolucasm.com/2016/02/alunos-e-profissionais-injecao.html>>.
Acesso em: 31 outubro 2021

FPCAT. Fonte disponível em: <<https://fpcat.pt/portfolio-item/sondas-lambda/>>. Acesso em: 31 outubro 2021

Fusion Parts. Fonte disponível em:< <https://fusionautoparts.com.br/jogo-bronzina-de-mancal-025-bronzina-biela-0.25-journey-3.6>>. Acesso em: 29 abril 2021

Green Cars Congress. Fonte disponível em:<<https://www.greencarcongress.com/2016/08/20160814-vct.html>>. Acesso em: 17 novembro 2021

Hallan Graciano. Fonte disponível em:<<https://www.slideshare.net/HallanGraciano/sistema-de-injeo-61143233>>. Página 28. Acesso em: 19 outubro 2021

Hangamma. Fonte disponível em:<<https://hangamma.com.br/fotos/aeronaves/sistemas-de-aeronaves-motor/>>. Acesso em: 29 abril 2021

Insta Carro. Fonte disponível em:<<https://www.instacarro.com/blog/quais-as-vantagens-do-motor-de-3-cilindros-veja-aqui/>>. Acesso em: 30 maio 2021

JSME. Fonte disponível em: <<https://www.jsme.or.jp/english/about/awards/2018-2/award2018-nt1/>>. Acesso em: 08 outubro 2021

Magazine Luiza. Fonte disponível: <<https://www.magazineluiza.com.br/sensor-detonacao-3-fios-mte-thomson-gol-2-0-gti-escort-ap-efi-versailles-santana-vvmte7017/p/cdhf793j64/au/pmau/>>. Acesso em: 13 novembro 2021

Marcel Roure. Fonte disponível em: <<https://instrumentacaoecontrole.com.br/instrumentacao-industrial-guia-completo/>>. Acesso em: 23 outubro 2021

Mecânica sem segredos. Fonte disponível: <<https://mecanicasemsegredo.files.wordpress.com/2015/11/hybrid-racing-replacement-tps-sensor-1.jpg?w=267&h=267>>. Acesso em: 13 novembro 2021

Melsi Maran. Fonte disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=fMqIOzpeXzU>>. Adaptado pelos autores. Acesso em: 03 novembro 2021

Motor Consult. Fonte disponível em: <<http://www.motorconsult.pt/artigos/218-mazda-skyactiv-d#.YZWcZ9DMLIU>>. Acesso em: 17 novembro 2021

Motor Trend. Fonte disponível em: <<https://www.motortrend.com/how-to/modp-0906-twin-scroll-turbo-system-design/>>. Acesso em: 03 setembro 2021

MTE THOMSON. Fonte disponível em: <<http://cursosonline.mte-thomson.com.br/wp-content/uploads/2015/10/DIAGRAMA.jpg>>. Acesso em: 13 novembro 2021

Nissan. Fonte disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=j0An3RbXcPg>. Adaptado pelos autores. Acesso em: 30 outubro 2021

Nissan. Fonte disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=j0An3RbXcPg&t=149s>. Adaptado pelos autores. Acesso em: 30 outubro 2021

Nissan Global. Fonte disponível em: <<https://global.nissannews.com/en/releases/release-487297034c80023008bd9722aa010086-two-new-engines-including-advanced-variable-compression-turbo-set-to-power-the-all-new-2019-nissan-ultima>>. Acesso em: 31 de outubro 2021

Nissan Global. Fonte disponível em:
<https://global.nissannews.com/en/releases/release-487297034c80023008bd9722aa010086-two-new-engines-including-advanced-variable-compression-turbo-set-to-power-the-all-new-2019-nissan-ultima>. Adaptado pelos autores. Acesso em: 30 outubro 2021

Nissan Global. Fonte disponível em:<https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/vc_turbo_engine.html>. Acesso em: 15 novembro 2021

Notário Borja. Fonte disponível em:<<https://noticias.coches.com/consejos/intercooler-que-es-y-como-funciona/160303>>. Acesso em: 22 outubro 2021

NPL Performance. Fonte disponível em:
 <<https://nplperformanceparts.com.br/products/kit-4-bobinas-de-ignicao-audi-rs3-ecs-tuning-original-equipment>>. Acesso em: 31 outubro 2021

OMECÂNICO. Fonte disponível em: <<https://omecanico.com.br/manutencao-interna-do-motor-renault-d4d-hi-flex-parte-2-montagem/>>. Acesso em: 08 outubro 2021

Peça Web. Fonte disponível em:<<https://www.pecaweb.com.br/volante-aco-aliviado-ap-1-8-2-0-gol-parati-saveiro-g1-g2-g3-g4-voyage-santana-passat-ceramic-power>>. Acesso em: 29 maio 2021

PNG KEY. Fonte disponível em:<<https://www.pngkey.com/maxpic/u2q8u2o0u2o0y3r5/>>. Acesso em 17 novembro 2021

Quimiweb. Fonte disponível em:<<https://quimiweb.com/app/news/posts/21679>>. Acesso em: 15 novembro 2021

Régis Racing. Fonte disponível em:< <http://www.regisracing.com.br/motor/pino-de-pistao-h13-20mm-x-54-3mm-mtr-jogo-com-4-unidades>>. Acesso em: 29 abril 2021

Renatinho Motores. Fonte disponível em: <<https://www.renatinhomotores.com.br/brunimento-cilindro-motor>>. Acesso em: 07 outubro 2021.

Repair pal. Fonte disponível em: <<https://repairpal.com/estimator/toyota/corolla/variable-valve-timing-control-solenoid-replacement-cost>>. Acesso em: 18 outubro 2021

Retífica Fortcar. Fonte disponível em: <<https://www.retificafortcar.com.br/enchimento-de-topo-de-cabecote/>>. Acesso em: 28 abril 2021

Revista Mt. Fonte disponível em: <<https://www.revistamt.com.br/Materias/Exibir/garantindo-a--troca-de-calor>> Acesso em: 25 agosto 2021

RT Car Import. Fonte disponível em: <<https://www.rtcimport.com.br/sensor-temperatura-motor-toyota-corolla-p14156>>. Acesso em: 31 outubro 2021

RX-7 Club. Fonte disponível em: <<https://www.rx7club.com/3rd-generation-specific-1993-2002-16/how-fds-ignition-system-works-simplified-wiring-diagram-964089/>>. Acesso em: 10 novembro 2021

Research Gate. Fonte disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Schematic-views-of-the-VVT-system-and-the-valve-lift-profiles-for-different-SACI-modes_fig2_327387598>. Acesso em: 17 novembro 2021

Samarins. Fonte disponível em: <<https://www.samarins.com/glossary/egr-system.html>>. Acesso em: 17 novembro 2021

Schaeffler. Fonte disponível em: <https://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/datasheet_1/downloads_4/informetecnicovcp_br_br.pdf>. Acesso em: 02 novembro 2021

Sintech do Brasil. Fonte disponível em: <<https://www.sintechdobrasil.com.br/>>. Acesso em: 28 abril 2021

Slide Player. Fonte disponível em: <https://images.slideplayer.com.br/22/7010563/slides/slide_16.jpg>. Acesso em: 30 maio 2021

Slide Player. Fonte disponível em: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fslideplayer.com.br%2Famp%2F1358434%2F&psig=AOvVaw2paTa8i7oXvobNPwPjiRD1&ust=1633014925055000&source=images&cd=v&ved=0CAsQjRxqFwoTCMi_5ua8pPMCFQAAAAAdAAA AABAK>. Acesso em: 01 outubro 2021

Static Car from Japan. Fonte disponível em:<https://static.carfromjapan.com/wp-content/uploads/2017/12/IMG_0027-750x430.jpg>. Acesso em: 13 novembro 2021

TCDN. Fonte disponível em: <http://images.tcdn.com.br/img/img_prod/475985/kit_roda_fonica_60_2_vw_ap_8v_68_4_20170203174832.jpg>. Acesso em: 13 novembro 2021

T. L. Rachel, "Automotive electronic fuel injection—Essential design considerations," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 23, no. 2, pp. 25-33, May 1974, doi: 10.1109/T-VT.1974.23569. Acesso em: 15 novembro 2021

Tuner nerd blogspot. Fonte disponível em:<<http://tunererd.blogspot.com/2015/03/cam-tuning-turbo-and-na.html>>. Acesso em: 15 novembro 2021

Turbo Centras. Fonte disponível em: <https://turbocentras.com/shop/en/search?controller=search&orderby=position&orderway=desc&search_query=borgwarner+biturbo&submit_search=>>. Acesso em: 03 setembro 2021

UFRGS. Fonte disponível em: <<http://www.ece.ufrgs.br/~jmgomes/pid/Apostila/apostila/node6.html>>. Acesso em: 23 outubro 2021

Utah Valley University. Fonte disponível em: <<https://www.uvu.edu/cet/capstone/engineering/computer/projects/posts/electronic-fuel-injection-system.html>>. Acesso em: 18 novembro 2021

You Wheel. Fonte disponível em: <<http://blogs.youwheel.com/2015/02/04/short-analysis-ferrari-3-9l-turbo-v8-488-gtb/>>. Acesso em: 03 setembro 2021

4wheels Lovers. Fonte disponível em: <<https://4wheelslovers.directorioforuns.com/t9-arvores-de-cames>>. Acesso em: 29 abril 2021