

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ENGENHARIA MECÂNICA**

PEDRO HENRIQUE BARION

**IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE INJEÇÃO ELETRÔNICA
PROGRAMÁVEL EM UM MOTOR MONOCILÍNDRICO PARA
PROJETO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2021

PEDRO HENRIQUE BARION

**IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE INJEÇÃO ELETRÔNICA
PROGRAMÁVEL EM UM MOTOR MONOCILÍNDRICO PARA
PROJETO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Janaina Fracaro de Souza Gonçalves

LONDRINA

2021



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Diretoria de Graduação e Educação Profissional - DIRGRAD
Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica - COEME
Engenharia Mecânica



TERMO DE APROVAÇÃO

**IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE INJEÇÃO ELETRÔNICA PROGRAMÁVEL EM
UM MOTOR MONOCILÍNDRICO PARA PROJETO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

por

PEDRO HENRIQUE BARION

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 01 de dezembro de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Janaina Fracaro de Souza Gonçalves
Prof^a. Orientadora

Genaro Marcial Mamani Gilapa
Membro titular

Roger Nabeyama Michels
Membro titular

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar a oportunidade de viver tudo isso.

Agradeço meus pais, Mario Henrique Barion e Rosângela Oliveira da Silva Barion, por sempre me concederem todo o apoio emocional e financeiro para que eu possa ter chegado até aqui, sem eles eu não seria nada.

Agradeço ao meu irmão, minha namorada e toda a minha família por todo o apoio e compreensão.

Agradeço o apoio dos meus amigos de classe, que com certeza se tornaram amigos para toda a minha vida.

Agradeço a minha orientadora por todo o conhecimento transmitido.

Agradeço a equipe TubaTurbo por disponibilizar os recursos para a elaboração desse trabalho.

Também agradeço a todo o corpo de professores e colaboradores da UTFPR por todo o conhecimento e ajuda para me tornar um grande profissional.

RESUMO

BARION, Pedro Henrique. **Implantação de um sistema de injeção eletrônica programável em um motor monocilíndrico para projeto de eficiência energética.** 2021. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2021.

Durante muitos anos, utilizou-se motores carburados nos automóveis, mas devido ao fato desse sistema não atender satisfatoriamente todas as condições de trabalho do motor e as novas normas de emissão de poluentes, esta tecnologia foi substituída pela injeção eletrônica. Este trabalho tem como objetivo a implantação de um sistema de injeção eletrônica programável em um motor monocilíndrico 4 tempos que utilizava a tecnologia do carburador. Ao longo do desenvolvimento do trabalho, também serão abordados pontos como o projeto do chicote elétrico, a adaptação dos componentes de uma injeção eletrônica no motor, bem como a calibração inicial do sistema. Como resultado, foi possível verificar maior eficiência do motor com a alteração do tempo de injeção de combustível, atendendo ao objetivo proposto.

Palavras-chave: Carburador. Chicote Elétrico. Injeção indireta.

ABSTRACT

BARION, Pedro Henrique. **Implementation of a programmable electronic injection system in a single-cylinder engine for energy efficiency project.** 2021. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica - Federal Technology University - Parana. Londrina, 2021.

For many years, carburetor engines were used in used in vehicles, but due to the fact that this system does not satisfactorily meet all the working conditions of the engine and the new pollutant emission standards, this technology was replaced by electronic injection. The objective of this work is to implement a programmable electronic injection system in a single-cylinder 4-stroke engine that used carburetor technology. Throughout the development of the work, points such as the project of the electrical harness, the adaptation of the components of an electronic injection in the engine, as well as the initial calibration of the system will also be addressed. As result, it was possible to verify a higher efficiency of the engine with the changing of the fuel injection time, meeting the proposed objective.

Keywords: Carburetor. Electrical Harness. Indirect Injection

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Inspeção técnica no protótipo.....	13
Figura 2 - Primeira fase do motor 2 tempos	16
Figura 3 - Segunda fase do motor 2 tempos	16
Figura 4 - Funcionamento motor 4 tempos.....	17
Figura 5 - Bloco de Motor	18
Figura 6 - Bloco do motor com encamisamento	19
Figura 7 - Cárter e junta de vedação	19
Figura 8 - Cabeçote Motor 4 cilindros.....	20
Figura 9 - Válvulas de admissão e escape no cabeçote.....	21
Figura 10 - Eixo do comando de válvulas.....	21
Figura 11 - Partes de um pistão	22
Figura 12 - Anéis de segmento.....	22
Figura 13 - Partes da biela	23
Figura 14 - Pistão, biela e bronzina	23
Figura 15 - Vibrabrequim	24
Figura 16 - Volante do motor	24
Figura 17 - Montagem chicote elétrico.....	26
Figura 18 – Seção transversal de um carburador.....	27
Figura 19 - Carburador e sistemas auxiliares	28
Figura 20 - Injeção direta de combustível.....	29
Figura 21 - Injeção indireta de combustível.....	30
Figura 22 - Motor Audi 1.8 TFSI	30
Figura 23 - Sinais de entrada na unidade de controle	31
Figura 24 - Sensor TPS instalado no corpo da borboleta	32
Figura 25 - Sensor MAP	32
Figura 26 - Funcionamento Roda Fônica	33
Figura 27 - Roda fônica e sensor de rotação.....	33
Figura 28 - Sensor de temperatura do ar.....	34
Figura 29 - Curva característica da sonda Lambda	35
Figura 30 - Corpo de Borboleta	36
Figura 31 - Corte em seção do bico injetor.....	37

Figura 32 - Atuador de marcha lenta	38
Figura 33 – Fluxograma.....	39
Figura 34 - Pinos de ligação Fueltech FT300	40
Figura 35 - Diagrama elétrico	42
Figura 36 - Chicote elétrico organizado e identificado.....	43
Figura 37 - Identificação dos cabos	43
Figura 38 - Motor Honda NX35.....	44
Figura 39 - Esquema alimentação de combustível	44
Figura 40 – Projeto inicial adaptador TBI.....	45
Figura 41 - Projeto inicial adaptador TBI – Vista auxiliar	45
Figura 42 - Protótipo 3D instalado	45
Figura 43 - Novo projeto adaptador TBI	46
Figura 44 - Adaptador TBI instalado	46
Figura 45 - Projeto adaptador roda fônica	47
Figura 46 - Roda fônica instalada	47
Figura 47 - Sensor de rotação instalado.....	48
Figura 48 - Sonda Lambda adaptada ao motor	48
Figura 49 - Configuração inicial	49
Figura 50 - Mapa inicial	50
Figura 51 - Sistema instalado	51
Figura 52 - Dados iniciais	52
Figura 53 - Primeiro ajuste do mapa de injeção	52
Figura 54 - Dados após primeiro ajuste.....	53
Figura 55 – Ajuste final do mapa de injeção.....	53
Figura 56 - Dados após ajuste final	54

LISTA DE SIGLAS

ECU	<i>Engine Control Unit</i>
GNV	Gás Natural Veicular
MAP	<i>Manifold Absolute Pressure</i>
PMI	Ponto Morto Inferior
PMS	Ponto Morto Superior
TBI	<i>Throttle Body Injection</i>
TPS	<i>Throttle Position Sensor</i>
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. OBJETIVO.....	12
1.1.1. Objetivo Geral	12
1.1.2. Objetivos Específicos	12
1.2. JUSTIFICATIVA	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1. COMPETIÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	13
2.2. MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA	14
2.2.1. Princípio de Funcionamento.....	14
2.2.2. Principais Componentes	18
2.3. CHICOTE ELÉTRICO	25
2.4. CARBURADORES	26
2.5. INJEÇÃO ELETRÔNICA	29
2.5.1. Unidades de Controle do Motor.....	31
2.5.2. Sensores	31
2.5.2.1. Sensor de posição da válvula de aceleração	31
2.5.2.2. Sensores de pressão absoluta do coletor de admissão	32
2.5.2.3. Sensor de rotação.....	33
2.5.2.4. Sensor de temperatura	34
2.5.2.5. Sonda lambda.....	34
2.5.3. Atuadores	35
2.5.3.1. Corpo da borboleta.....	35
2.5.3.2. Bicos injetores	36
2.5.3.3. Bomba de combustível	37
2.5.3.4. Bobinas	38
2.5.3.5. Atuador de marcha lenta	38
3. METODOLOGIA	39
3.1. PROJETO DO CHICOTE	40
3.2. INSTRUMENTAÇÃO DO MOTOR	44
3.3. CONFIGURAÇÃO INICIAL DO MOTOR	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
4.1. CHICOTE ELÉTRICO E INSTRUMENTAÇÃO DO MOTOR.....	51
4.2. CALIBRAÇÃO DO MOTOR.....	51
5. CONCLUSÃO	55
REFERÊNCIAS	56

1. INTRODUÇÃO

A eficiência energética de um veículo está associada à energia efetiva necessária para movê-lo de um lugar para outro. De maneira análoga, a eficiência do combustível está relacionada a quantidade de quilômetros que pode ser percorrido com um litro de combustível. Pode-se imaginar que quanto maior a distância percorrida com uma quantidade fixa de combustível, maior será a eficiência do veículo e, portanto, menor será a emissão de gases poluentes.

O projeto de eficiência energética é um projeto estudantil que tem como objetivo a construção de veículos para Eficiência Energética, também chamados de "Supermileage", segundo a nomenclatura SAE. O projeto tem como objetivo a construção de um protótipo que consiga percorrer a maior distância possível com a menor quantidade de energia, seja ele movido a bateria elétrica, etanol ou gasolina.

A competição *Eco-Marathon*, promovida pela Shell, começou em 1939, como uma competição interna entre os próprios funcionários da empresa com o objetivo de quem conseguia ir mais longe utilizando a mesma quantidade de combustível. Após mais de 80 anos, essa competição se estende pela Europa, Ásia e as Américas. No Brasil, a competição está na sua quarta edição, sendo a mais recente realizada em 2019, na cidade do Rio de Janeiro (SHELL,2020).

A equipe TubaTurbo foi fundada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Londrina em meados de 2014 por alguns estudantes do curso de Engenharia de Produção, passou por um período de inatividade e retornou no ano de 2017 com outro grupo de estudantes e um protótipo de bateria elétrica. Atualmente, deseja-se construir um novo protótipo para participar da Shell *Eco-Marathon* Brasil, mas dessa vez, movido com um motor a combustão. A equipe é subdividida em sete subsistemas para um maior controle e organização na realização dos trabalhos. Os subsistemas da equipe são: Direção, Carenagem, Freios, Chassi, Motor, Elétrica e Gestão, sendo esse último subsistema responsável pelo Marketing, Financeiro e Recursos Humanos.

1.1.OBJETIVO

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho é implantar um sistema de injeção eletrônica programável em um motor 4 tempos originalmente carburado.

1.1.2. Objetivos Específicos

Os Objetivos Específicos são:

- Implantar e adaptar o sistema de injeção eletrônica no motor carburado.
- Desenvolver o chicote de instalação dos sensores e atuadores.
- Calibrar o sistema de injeção eletrônica a fim de obter o melhor desempenho em relação ao consumo de combustível.

1.2.JUSTIFICATIVA

A tecnologia de injeção eletrônica está presente nos automóveis de toda população mundial e fazem parte desde competições de alto nível, como a Fórmula 1, até competições estudantis, como por exemplo o Eficiência Energética.

Atualmente, os requisitos e normas que regulam a emissão de poluentes estão ficando cada vez mais rigorosos e para obter um maior controle da queima de combustíveis fósseis, melhor eficiência do motor e conseqüentemente, melhor consumo de combustível, se recorre ao uso da tecnologia empregada na injeção eletrônica. Por conta disso, o estudo e investigação dessa tecnologia se faz muito atual e necessário.

Além disso com o sistema de injeção eletrônica do protótipo de eficiência energética instalado e calibrado da melhor maneira, a performance geral da equipe se torna maior, tornando-a muito mais competitiva em provas oficiais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. COMPETIÇÃO SHELL ECO-MARATHON

Existem duas grandes competições no Brasil relacionadas ao tema, o Grande Prêmio Petrobrás de Energia Sustentável, realizada no kartódromo de Interlagos, na cidade de São Paulo e o Shell *Eco-Marathon* Brasil, realizada no Píer de Mauá, na cidade do Rio de Janeiro. Ambas as competições são semelhantes, por conta disso, será descrita o funcionamento apenas a Shell *Eco-Marathon* Brasil.

O objetivo básico da competição é o protótipo construído pela equipe percorrer a maior distância com a menor quantidade possível de energia, contribuindo para que os estudantes busquem maneiras criativas e projetem sistemas capazes de solucionar problemas como a redução emissão de poluentes, que é um grande desafio encontrado hoje do transporte nas cidades. (SHELL, 2020)

São divididos em três categorias de fornecimento de energia, a de motores elétricos, por meio da bateria elétrica e o motor a combustão, por meio de gasolina e etanol. Antes de competirem na pista, os carros passam por uma rigorosa inspeção técnica, buscando detectar qualquer falha na segurança do veículo ou qualquer outra ocorrência que possa infringir o que está previsto no regulamento. Na Figura 1, tem-se um protótipo passando por um teste de segurança.



Figura 1- Inspeção técnica no protótipo
Fonte: Shell (2020)

No caso específico dos motores de combustão interna, não há muitas restrições apresentadas, sendo as equipes bem livres para realizarem as alterações que considerarem necessárias para melhor funcionamento do protótipo.

Segundo o regulamento da competição, os únicos pontos de atenção são que os motores devem ser abastecidos apenas com combustíveis fornecidos pela comissão organizadora e não se pode usar motores 2 tempos. Além disso, o retorno de combustível não pode ser feito no tanque de combustível.

Na quarta edição da competição, realizada no ano de 2019, aproximadamente 500 estudantes de 37 equipes participaram do evento, sendo a equipe *DropTeam* a recordista na categoria Gasolina, percorrendo 542,4 km com um litro de combustível (SHELL, 2020).

2.2. MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

2.2.1. Princípio de Funcionamento

Basicamente, os motores convertem a energia química dos combustíveis em energia mecânica para a propulsão de um veículo. Sendo a energia mecânica aproveitada através da expansão dos gases, que desloca os pistões, movendo a árvore de manivelas (virabrequim). (PUGLIESI, 1976).

Os motores de combustão interna são classificados por motores de ignição por faísca, ou ciclo Otto e motores de ignição espontânea, ou ciclo Diesel. Do ponto de vista mecânico, não há grandes diferenças entre os dois motores, a grande alteração está na forma de ignição, que no motor ciclo Otto é feita por uma faísca e no ciclo Diesel a combustão ocorre por autoignição, devido as pressões elevadas (BRUNETTI, 2012).

Nesse trabalho, serão tratados os conceitos apenas do motor de combustão interna ciclo Otto.

Para entendimento do funcionamento do motor, deve-se definir alguns termos. Segundo Tillmann (2013), os principais termos a serem definidos são,

- Ponto Morto Superior (PMS), é a posição do pistão mais próxima a parte superior do bloco, é onde ocorre o mínimo volume do cilindro.

- Ponto Morto Inferior (PMI), é a posição do pistão mais distante da parte superior do bloco, é onde ocorre o máximo volume do cilindro.
- Curso do Pistão, se caracteriza pela distância percorrida entre o PMS e o PMI.
- Tempo Motor, é o deslocamento do pistão do PMS para o PMI decorrente da expansão e exaustão dos gases na combustão.
- Volume de admissão, é o volume compreendido entre o PMS e o PMI e é dado por,

$$V_{admissão} = \frac{\pi \times (d_{cilindro})^2 \times l_{pistão}}{n^{\circ} \text{ de cilindros}} \quad (1)$$

Onde,

$V_{admissão}$ = Volume admitido na câmara de combustão [mm^3]

$d_{cilindro}$ = Diâmetro do cilindro de combustão [mm]

$l_{pistão}$ = Curso percorrido pelo pistão [mm]

- Volume da câmara de combustão, é o volume que a mistura ar/combustível ocupa quando o pistão se encontra no PMI
- Taxa de compressão, é a relação de volumes do cilindro antes e depois da compressão e é expresso por,

$$\text{Taxa de compressão} = \frac{V_{admissão} + V_{câmara \text{ de combustão}}}{V_{câmara \text{ de combustão}}} \quad (2)$$

Onde,

$V_{câmara \text{ de combustão}}$ = Volume total da câmara de combustão [mm^3]

Os motores do ciclo Otto trabalham com quatro ciclos: admissão, compressão, explosão e exaustão e podem ser de dois ou quatro tempos. A maior diferença entre esses motores se dá no momento de execução dessas fases, pois o motor 2 tempos executa essas 4 fases com apenas um giro do virabrequim, garantindo uma maior potência ao motor, enquanto que o motor 4 tempos executa a mesma tarefa com dois giros do virabrequim, garantindo um torque maior (SOUZA, 2016).

Então, os motores 2 tempos funcionam da seguinte maneira. No primeiro tempo, a mistura ar-combustível entra em combustão, empurrando o pistão para baixo, quando o êmbolo está no PMI, uma nova mistura entra no cárter pela janela de admissão, então o êmbolo empurra a nova mistura para a janela de transferência e abre a janela de escape (SOUZA, 2016).

Essa primeira fase está representada na Figura 2,

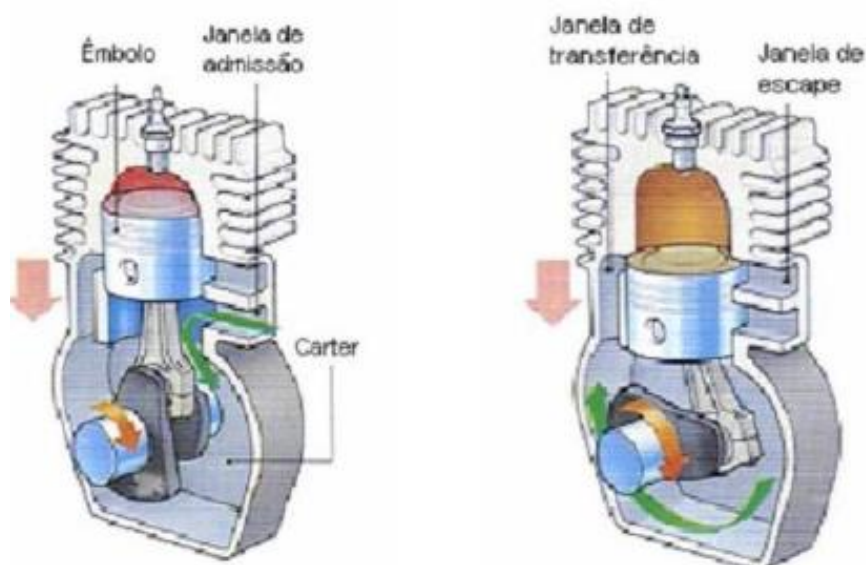


Figura 2 - Primeira fase do motor 2 tempos
Fonte: Adaptado de Souza (2016)

O autor ainda explica que na segunda fase, a janela de transferência é aberta e a mistura é transferida para a parte superior do cilindro do pistão, ajudando a expulsar os gases, o êmbolo então sobe, fechando a janela de escape e comprimindo a mistura, com isso, a vela emite a faísca, que resulta na combustão da mistura. A segunda fase está representada na Figura 3.

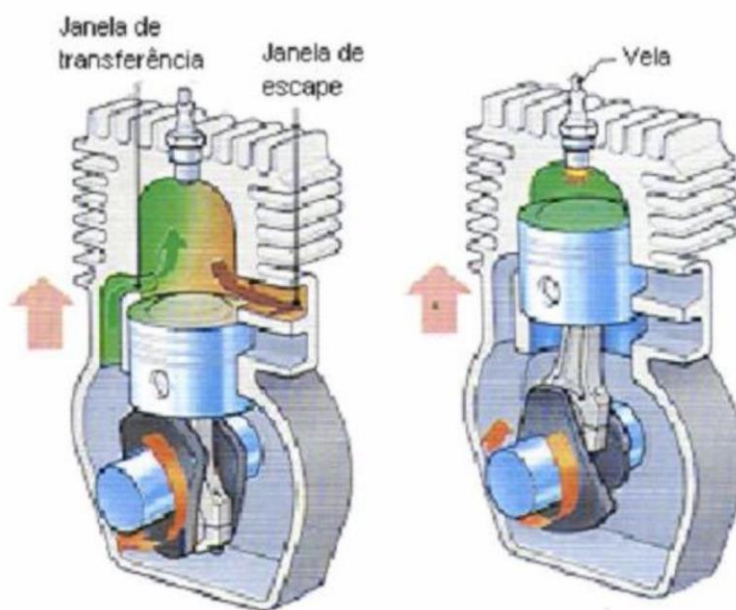


Figura 3 - Segunda fase do motor 2 tempos
Fonte: Adaptado de Souza (2016)

O funcionamento de um motor ciclo Otto 4 tempos ocorre da seguinte maneira. Segundo Pugliesi (1976), na fase de admissão, a mistura ar-combustível entra no cilindro, pois quando o pistão se desloca para o PMI, a pressão interna do cilindro se torna menor que a externa, forçando assim a entrada de um gás para manter o equilíbrio. Na compressão, o pistão volta para o PMS comprimindo a mistura gasosa e fechando assim as válvulas, essa compressão gera calor, o que facilita a próxima etapa, quando a centelha é emitida pela vela. Na fase de explosão, os gases se expandem pela queima da mistura e o pistão é deslocado do PMS para o PMI.

Na última etapa, a de exaustão, o pistão volta para o PMI, baixando a pressão do cilindro, o que força a abertura dos gases queimados – que são mais leves que a mistura admitida – e por isso são forçados a sair.

As etapas descritas anteriormente podem ser vistas na Figura 4.

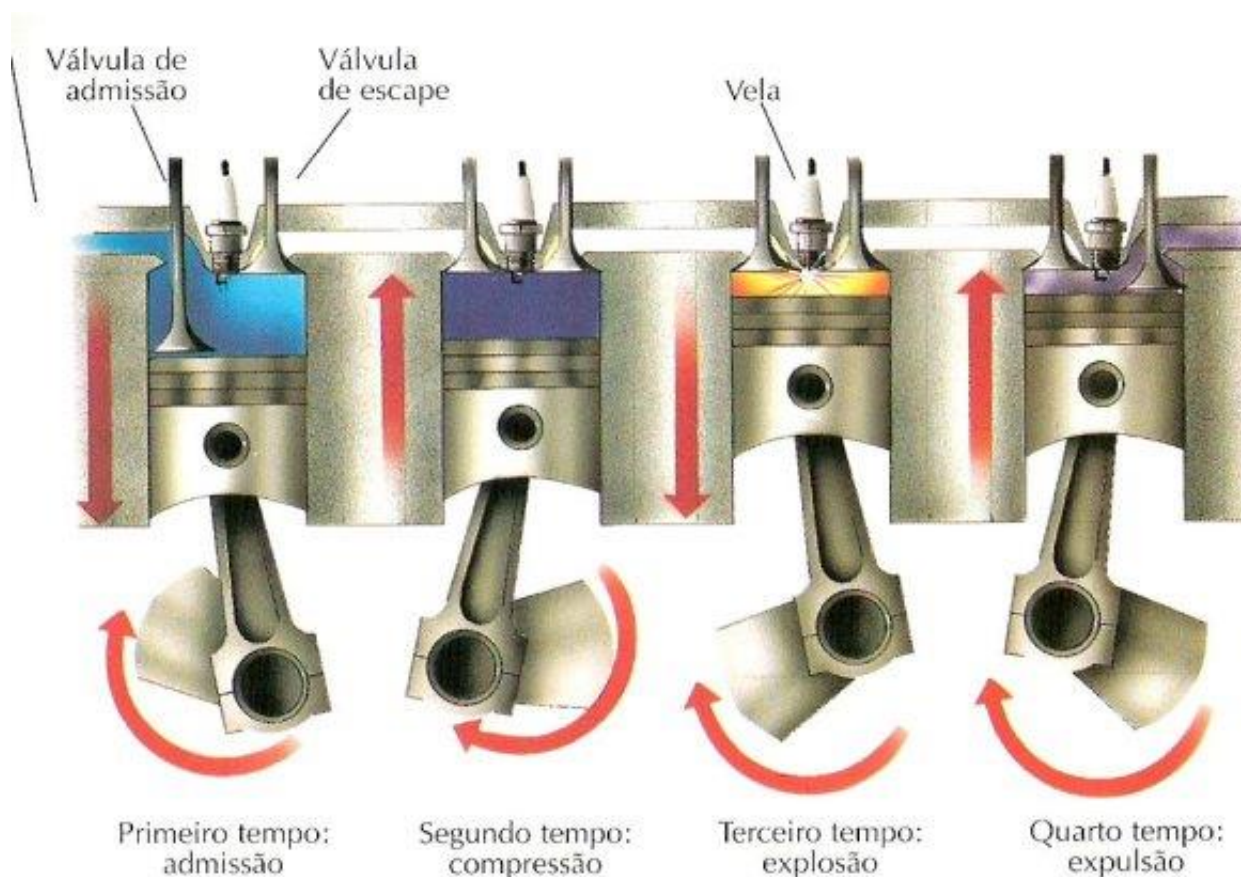


Figura 4 - Funcionamento motor 4 tempos
Fonte: Gibi (2013)

2.2.2. Principais Componentes

Nos itens a seguir, consta um breve resumo sobre os principais componentes de um motor quatro tempos, que podem ser divididos em componentes fixos e componentes móveis do motor (TILLMANN, 2013).

Segundo Tillmann (2013), os componentes fixos do motor são:

- Bloco do motor

É considerado a principal estrutura do motor, pois todos os componentes descritos abaixo serão acoplados, direta ou indiretamente nele. Podem ser feitos de ferro fundido, alumínio fundido ou aço forjado. Na Figura 5, temos representado um bloco de motor

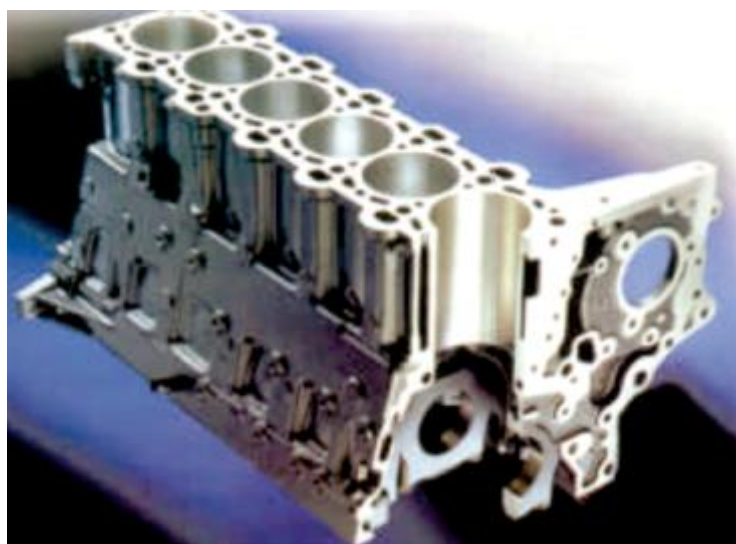


Figura 5 - Bloco de Motor
Fonte: Daimler Chrysler (2008)

Quando os cilindros são fixos no bloco, esse componente é chamado de monobloco, já outros blocos ainda possuem cilindros removíveis - como pode ser visto na Figura 6 - que são popularmente denominados “camisas”, essas camisas podem ser úmidas, situação que ocorre quando estão em contato direto com o líquido de arrefecimento ou secas, quando o líquido de arrefecimento não está em contato direto com a camisa.

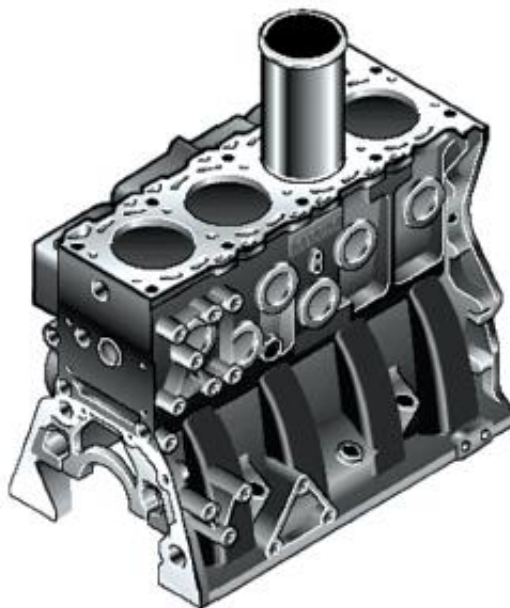


Figura 6 - Bloco do motor com encamisamento
Fonte: MWM International (2009)

- **Cárter**

Fica localizado na parte inferior do bloco e tem como função cobrir os componentes inferiores do motor, além de servir com um depósito de óleo lubrificante. É fabricado em ferro ou alumínio fundidos. Para se unir ao bloco de motor, é necessário um junta para total vedação, visto que é uma região com alto aquecimento e consequente, dilatação de materiais. O cárter e a junta de vedação podem ser vistos na Figura 7.



Figura 7 - Cárter e junta de vedação
Fonte: Mercedes Benz do Brasil (2006)

- Cabeçote

Está localizado na parte superior do bloco e tem a função do cabeçote é tampar os cilindros, formando assim a câmara de combustão na parte superior do bloco, nesse componente que ocorre as altas pressões quando o pistão comprime a mistura ar-combustível. Em sua maioria, as válvulas de admissão e escape são alojadas nessa peça e as velas de ignição ou os bicos injetores são fixados. Um exemplo de cabeçote de um motor 4 cilindros está representado na Figura 8.



Figura 8 - Cabeçote Motor 4 cilindros
Fonte: Daimler Chrysler (2008)

Tillmann (2013) ainda complementa que os componentes móveis do motor são,

- Válvulas

Existem dois tipos de válvulas, as válvulas de admissão, que são responsáveis pela vedação dos orifícios de abertura de admissão do ar, sendo acionadas para permitir a entrada da mistura ar combustível no interior dos cilindros e as válvulas de escape, que são responsáveis pela vedação dos orifícios de saída dos gases de combustão e são acionadas para permitir a saída dos gases queimados na combustão. Na Figura 9, estão representadas as válvulas fixadas em um cabeçote.



Figura 9 - Válvulas de admissão e escape no cabeçote
Fonte: Mercedes Benz do Brasil (2006)

- Eixo do comando de válvulas

Possui a função de abrir as válvulas de admissão e escape. É acionada pelo eixo de manivelas através de engrenagens, que elevam o conjunto de tucho, haste e balancim, abrindo as válvulas nos momentos corretos. Sendo os tuchos responsáveis por transmitir o movimento do came à haste e o balancim tem a função de inverter o sentido do movimento produzido pelo came. O sistema descrito acima está representado na Figura 10.

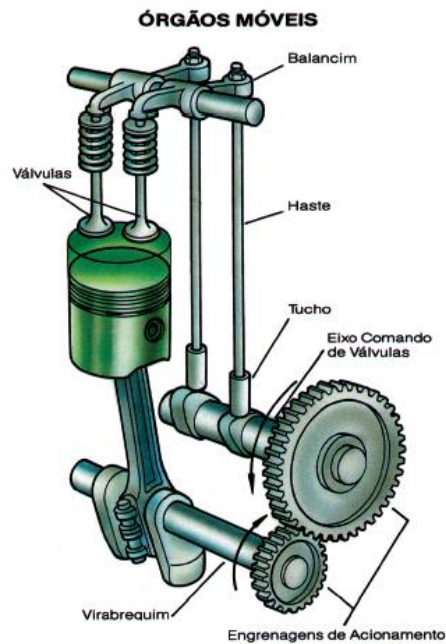


Figura 10 - Eixo do comando de válvulas
Fonte: Mahle (2007)

- Pistão

É a parte móvel da câmara de combustão e é responsável por transmitir a energia resultante da expansão dos gases após a combustão. Transmite a biela as forças resultantes da expansão dos gases queimados. São confeccionados em aço ou alumínio. Em geral, apresentam três canaletas para alojar os anéis. As partes constituintes de um pistão estão descritas na Figura 11.

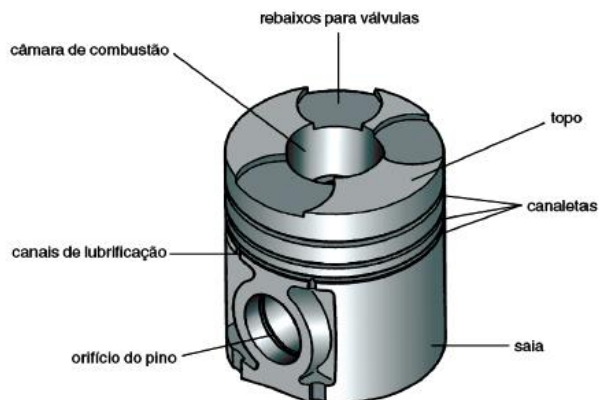


Figura 11 - Partes de um pistão
 Fonte: MWM International (2009)

- Anéis de segmento

São componentes que são inseridos nos pistões e trabalham em contato com as camisas, no bloco do moto. Podem ser tanto anéis de vedação, quanto anéis de lubrificação e possuem três funções básicas, como, controle do óleo lubrificante, transferência de calor para o sistema de arrefecimento e vedação da compressão e combustão. Geralmente, são fabricados em ferro fundido-cinza. Na Figura 12, estão representados ambos os tipos de anéis descritos.

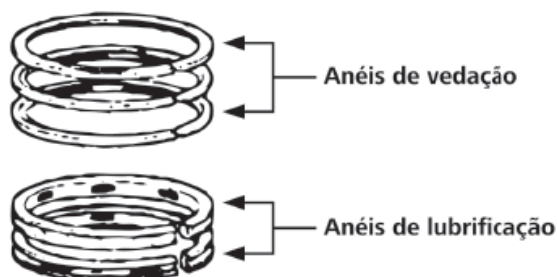


Figura 12 - Anéis de segmento
 Fonte: Mahle (2007)

- Bielas

São a ligação entre os pistões e o eixo de manivelas, transmitindo o impulso dos pistões ao eixo de manivelas (virabrequim).

São fabricadas em aço-liga estampado ou alumínio, podem ser divididas em 3 regiões, que são, pé, cabeça e corpo, conforme ilustrado na Figura 13.

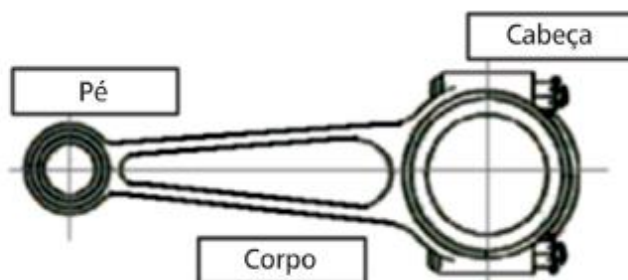


Figura 13 - Partes da biela
Fonte: Mahle (2007)

- Bronzinas

Também chamadas de casquilhos, as bronzinas são buchas bipartidas, são montadas na cabeça da biela e possuem orifícios que facilitam a lubrificação, além de ressaltos que asseguram um posicionamento correto na montagem. O conjunto biela, pistão e bronzina está representado na Figura 14,

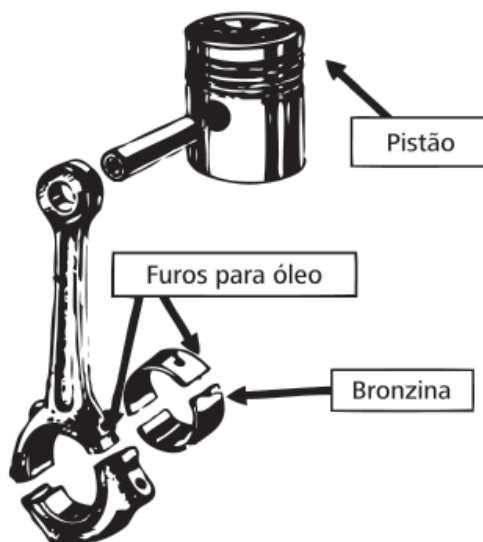


Figura 14 - Pistão, biela e bronzina
Fonte: Mercedes Benz do Brasil (2006)

- Virabrequim

Também chamado de Eixo de Manivelas e Árvore de Manivelas, é instalado na parte inferior do bloco e transforma o movimento vertical das bielas em um movimento de rotação. Os munhões são os pontos no qual o virabrequim é apoiado no bloco do motor, enquanto que os moentes são as partes no qual as bielas são colocadas. Na Figura 15, está representado um virabrequim, com a indicação dos moentes e munhões.

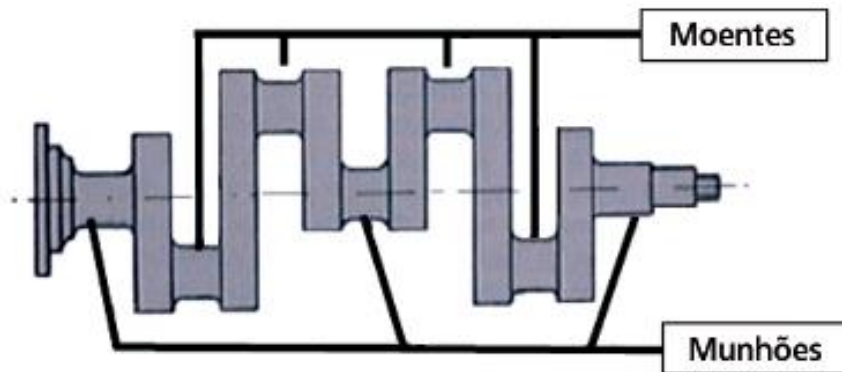


Figura 15 - Virabrequim
Fonte: Mercedes Benz do Brasil (2006)

- Volante

O volante tem a função de equilibrar a rotação imposta pelo virabrequim. Basicamente, absorve a energia desenvolvida no momento da explosão e a restitui em tempos não motores, quanto maior o número de cilindros de um motor, menor precisa ser o tamanho e o peso do volante. O sistema de volante acoplado a outros sistemas do motor, como por exemplo, o virabrequim e as bielas estão representando na Figura 16.

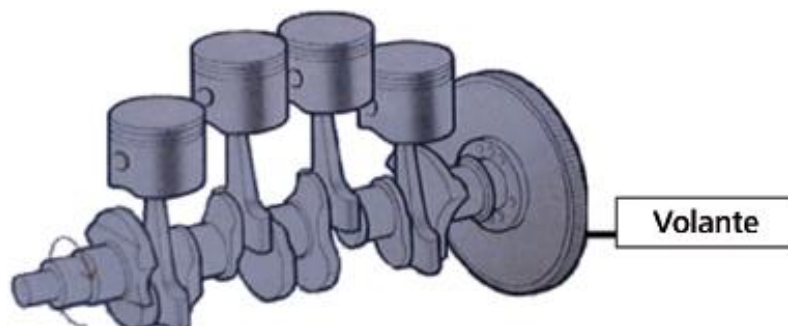


Figura 16 - Volante do motor
Fonte: Mercedes Benz do Brasil (2006)

- Mancais

São utilizados para reduzir o atrito, além de servir de apoio para as partes móveis giratórias do motor. Dividem-se em dois tipos: os fixos, no qual são utilizados nos munhões e no bloco do motor e os móveis, que são montados nos moentes e bielas.

2.3. CHICOTE ELÉTRICO

O chicote elétrico é uma parte fundamental de um veículo, pois é responsável pela transmissão de energia e informações ao longo de todo o carro (RINALDI, 2019).

É formado por diversos cabos com terminais e conectores. Enquanto um carro popular possui em torno de 400 cabos, um veículo premium possui cerca de 800 cabos, esse aumento expressivo é devido a quantidade de equipamentos instalados no automóvel, quanto mais moderno e luxuoso o veículo é, mais condutores são necessários para que todos os sistemas funcionem perfeitamente. No geral, um automóvel possui cerca de 700 metros de cabo (MOURA, 2020).

Os autores Jost e Doyon (2018) citam que as falhas em chicotes automotivos não podem mais ser toleradas, visto que, os veículos autônomos estão cada vez mais presentes na vida cotidiana, pois uma quebra ou conexão solta do chicote pode significar a vida ou morte dos ocupantes do veículo, por conta disso, todos os sistemas dos chicotes devem ser projetados com redundâncias. Os autores ainda complementam dizendo que antigamente, as montadoras fabricavam um chicote apenas para todos os modelos de carro, fato que já foi alterado por alguns fabricantes de chicote automotivo, deixando apenas os cabos e conexões essenciais para cada tipo de modelo de veículo, tornando o sistema mais personalizado, além de economizar peso, visto que um sistema convencional de chicote pesa cerca de 50 a 60 quilogramas. Para a produção do chicote, os engenheiros responsáveis projetam o diagrama elétrico do veículo e o mesmo é produzido, na Figura 17, é possível observar um chicote elétrico no estado final de montagem em uma fábrica.



Figura 17 - Montagem chicote elétrico
Fonte: Jost; Doyon (2019)

2.4. CARBURADORES

O carburador foi inventado no ano de 1826, sendo patenteado em 1872 por Siegfried Marcus, foi muito utilizado em motores a gasolina, GNV e etanol e teve seu fim quando foi anunciado os motores com injeção, inicialmente manual, que depois viraria eletrônica (OLIVEIRA, 2019).

Segundo Oliveira (2019), o carburador é um dispositivo mecânico que fornece a mistura ar-combustível, no qual é enviada para a câmara de combustão. Também é responsável por regular essa mistura, com o objetivo de oferecer um bom funcionamento ao motor, pode-se ter um, dois ou mais câmaras no qual ocorre a mistura ar-combustível, essas câmaras são chamadas de corpos.

Fernie (2016) explica que o carburador funciona seguindo os princípios da Teoria de Bernoulli, ou seja, os fluidos sempre se moverão de uma área de alta pressão para uma área de baixa pressão. Na medida que o ar entra no carburador, ele atinge o Venturi e conforme a área do cilindro diminui, a pressão do ar aumenta, conseqüentemente acelerando-o para uma área de pressão menor no outro lado do Venturi. O combustível está armazenado na cuba, que mantém seu nível constante por meio de uma boia e sua alimentação para a câmara de ar é feita por meio de um pequeno tubo, chamado de glicê.

Devido à queda de pressão criada pelo Venturi, o combustível é sugado para dentro da câmara de ar como um spray, formando a mistura ar-combustível, logo, a quantidade de combustível que entra no carburador é regida pela taxa de fluxo de ar que entra na câmara e a velocidade do ar que passa pelo carburador é controlada pela velocidade do motor, que é controlada pela válvula borboleta na base da câmara do carburador. Na Figura 18 tem-se uma seção transversal do carburador com todos os seus componentes indicados.

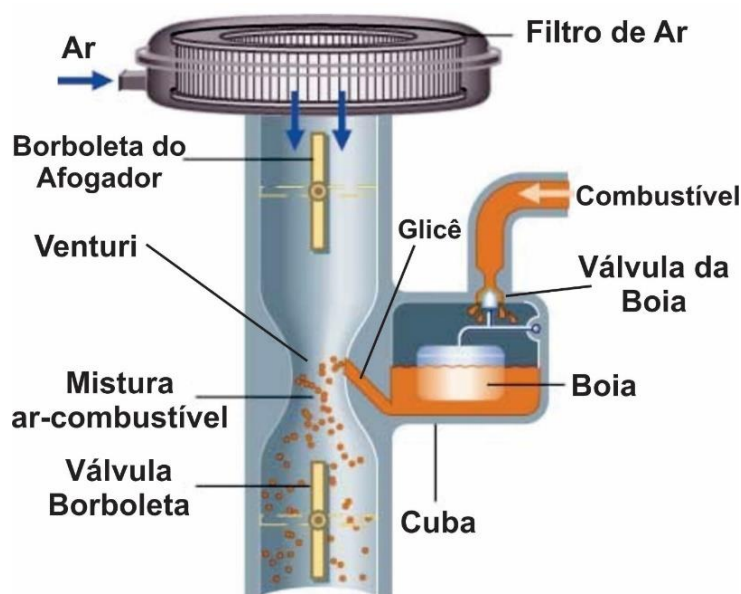


Figura 18 – Seção transversal de um carburador
Fonte: Adaptado de Fernie (2016)

Em teoria, a vazão de combustível pode ser regulada por meio de uma perda de carga maior ou menor. Ao abrir a borboleta, aumenta-se a vazão de ar pelo Venturi, aumenta-se a velocidade na garganta e conseqüentemente, aumentando a sucção de combustível, pois há um aumento da depressão. Desse modo, a relação ar-combustível se mantém aproximadamente constante, mas observa-se que para vazões cada vez maiores, a mistura tem a tendência de ficar mais rica, sendo necessário alguns sistemas auxiliares para que as misturas desejadas pelo motor sejam atendidas (BRUNETTI, 2012).

Brunetti (2012) descreve os sistemas auxiliares aplicados ao carburador como sendo:

- Sistema de partida a frio: Proporciona uma mistura muito rica por meio de uma segunda borboleta, garantindo que o sistema inicie com facilidade mesmo a frio

- Sistema de marcha lenta e progressão: Consiste na introdução gradual de combustível conforme a carga, garantindo assim uma passagem suave das marchas mais lentas para rotações altas.
- Sistema principal: É composto por uma saída ligada a cuba no qual fornece o combustível para o Venturi.
- Sistema de aceleração rápida: Compensa a entrada de ar adicional – quando há uma abertura brusca da borboleta – por meio da inserção de uma quantidade adicional de combustível.

Na Figura 19, é possível observar o carburador e seus sistemas auxiliares descritos nos itens acima.

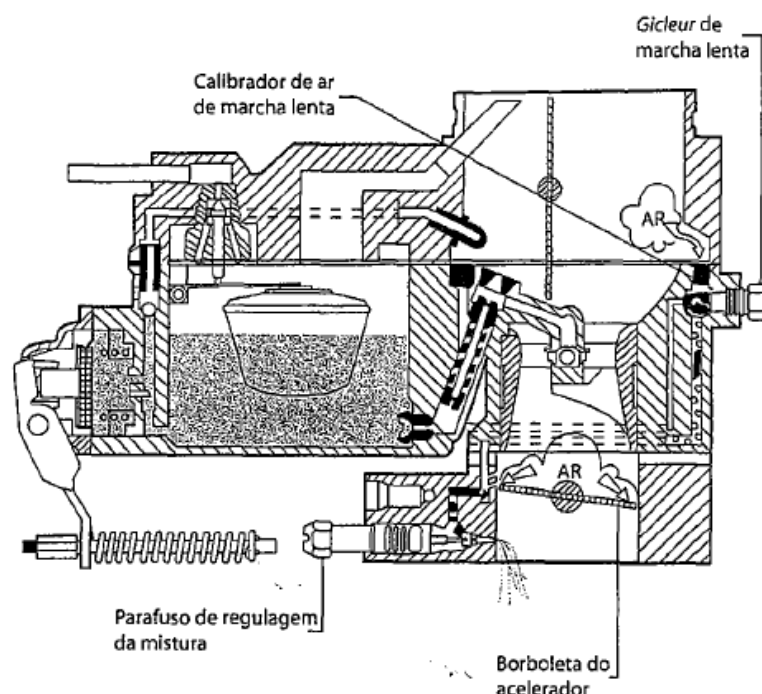


Figura 19 - Carburador e sistemas auxiliares
Fonte: Brunetti, 2016

O carburador não é mais utilizado por ser um dispositivo com funcionamento completamente mecânico, nunca encontrando o ajuste perfeito entre mistura ar-combustível nos mais variados regimes de trabalho do motor, como ocorre na injeção eletrônica e também não atende mais as normas atuais de emissão de poluentes. (ASSOBRAV, 2019).

2.5. INJEÇÃO ELETRÔNICA

O sistema de injeção eletrônica para o motor ciclo Diesel e o motor ciclo Otto possuem grandes diferenças, nesse trabalho em questão serão discutidas apenas as características da injeção eletrônica para o motor ciclo Otto.

Existem dois sistemas de injeção de combustível, a injeção direta (Figura 20) e a injeção indireta (Figura 21), na injeção direta de combustível, o ar entra no motor por meio dos coletores de admissão, e no mesmo momento o combustível é injetado diretamente na câmara de combustão, gerando uma queima mais eficiente quando comparada ao sistema de injeção indireta (SILVA, 2020).



Figura 20 - Injeção direta de combustível
Fonte: Silva (2020)

Mas na grande maioria dos sistemas atuais, apesar de não ser o sistema mais eficiente, utiliza-se a injeção indireta de combustível, ou seja, a homogeneização da mistura ar-combustível é feita no coletor de admissão, sendo completada no interior do cilindro durante as fases de admissão e compressão, além disso, a qualidade da mistura deve se manter o mais próximo possível da mistura estequiométrica para que a chama se propague da maneira mais adequada, para tanto, é necessário um sensor para indicar a vazão de ar para que o injetor possa dosar corretamente a vazão de combustível necessária para cada condição de uso do motor (BRUNETTI, 2012; SILVA, 2020).

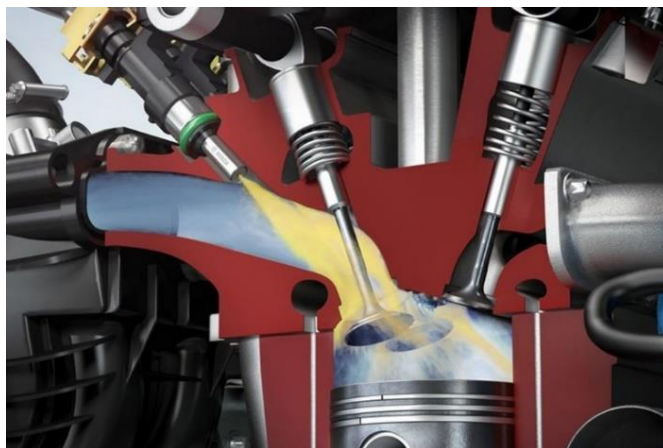


Figura 21 - Injeção indireta de combustível
Fonte: Ribeiro (2019)

Atualmente, existem motores capazes de unir os dois sistemas, aproveitando as vantagens de ambos, como é o exemplo do motor 1.8 TFSI do Audi A3. Segundo Silva (2020), esse motor utiliza a injeção indireta em situações no qual não se necessita muita potência, enquanto que o sistema de injeção direta atua quando o sistema eletrônico identifica que o carro necessita um maior desempenho. Na Figura 22, é possível identificar o sistema de injeção indireta em azul e o sistema de injeção direta em vermelho.

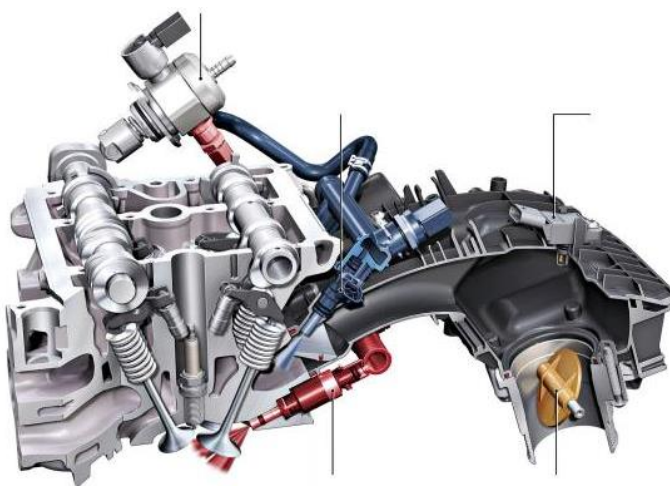


Figura 22 - Motor Audi 1.8 TFSI
Fonte: Silva (2020)

Na Figura 23 está ilustrado os sinais de entrada que a unidade de controle recebe para que indique as condições corretas de funcionamento do motor para cada situação.

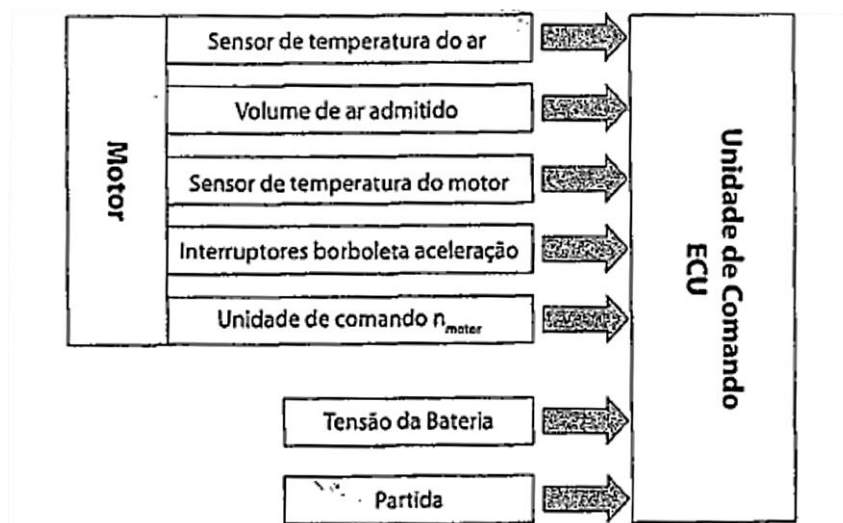


Figura 23 - Sinais de entrada na unidade de controle
Fonte: Brunetti (2012)

2.5.1. Unidades de Controle do Motor

As unidades de controle do motor, também conhecidas como ECU (*Engine Control Unit*), são microcontroladores que captam os sinais enviados pelos sensores, realiza os processamentos necessários desses sinais e os envia para os atuadores (CONTESINI, 2017).

2.5.2. Sensores

Os sensores transformam uma grandeza física em uma grandeza elétrica, para assim poder se interpretada pela ECU. Existem diversos tipos de sensores para serem usados em um sistema de injeção eletrônica, nesse trabalho, serão descritos nos próximos tópicos apenas os principais.

2.5.2.1. Sensor de posição da válvula de aceleração

O sensor de Posição da Válvula de Aceleração, mais popularmente conhecido como TPS (*Throttle Position Sensor*) mede a posição angular, ou seja, a abertura da borboleta por meio de potenciômetros e é fixado no corpo da borboleta (MTE-THOMSON, 2021).

O sensor pode ser visto na Figura 24.

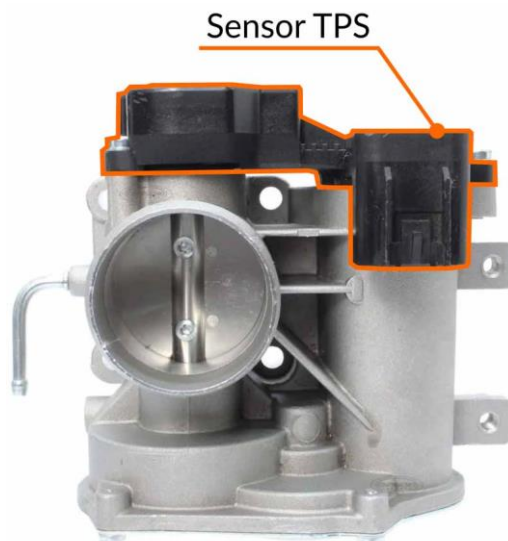


Figura 24 - Sensor TPS instalado no corpo da borboleta
Fonte: Doutor-IE (2021)

2.5.2.2. Sensores de pressão absoluta do coletor de admissão

Também conhecido como MAP (Manifold Absolute Pressure) funciona como um manômetro, medindo a pressão no coletor de admissão. Com essa informação, a ECU consegue calcular a massa de ar admitida e o avanço do ponto de ignição (MTE-THOMSON, 2018).

O sensor MAP pode ser observado na Figura 25.



Figura 25 - Sensor MAP
Fonte: Connect Parts (2021)

2.5.2.3. Sensor de rotação

Mede o sinal de rotação do motor, sincronizando assim o motor e o sistema de gerenciamento. (BRUNETTI, 2012)

Geralmente são sensores indutivos, ou seja, só são acionados se um objeto metálico é aproximado dele e trabalham em conjunto com uma roda fônica dentada, que pode ser de 36, 44 ou 60 dentes. Essas rodas fônicas possuem 1 ou 2 dentes a menos, pois no ponto no qual a leitura de tensão apresenta um aumento no seu período e na sua amplitude, sendo esse ponto caracterizado pelo momento no qual o cilindro está no Ponto Morto Superior. (SIMPLO, 2021).

Na Figura 26 é possível ver uma roda fônica 60-2, ou seja, ela possui 58 dentes ativos e 2 dentes com falha.

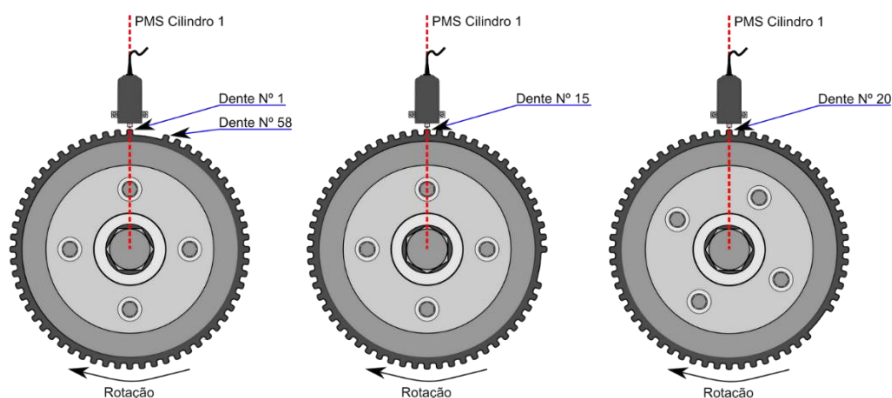


Figura 26 - Funcionamento Roda Fônica
Fonte: Dantas (2011)

Na Figura 27, está demonstrado um sistema instalado entre o sensor de rotação e a roda fônica.



Figura 27 - Roda fônica e sensor de rotação
Fonte: Doutor-IE (2013)

2.5.2.4. Sensor de temperatura

É necessário aferir a temperatura de diversas partes do motor, como por exemplo de líquido de arrefecimento e do ar de admissão (BRUNETTI, 2012).

Em ambos os casos, utiliza-se sensores resistivos. Segundo Hella (2020), o aumento da temperatura, diminui a resistência do sensor, ou seja, a leitura de temperaturas baixas resulta em valores de tensão elevadas. Brunetti (2012) destaca que a leitura de temperatura do líquido de arrefecimento tem a função de identificar o aquecimento e os sobreaquecimentos do motor, enquanto que o sensor de temperatura do ar de admissão adquire uma das variáveis utilizadas para calcular o avanço da ignição e da injeção. Na Figura 28, pode-se observar um sensor de temperatura do ar.



Figura 28 - Sensor de temperatura do ar
Fonte: Hella (2020)

2.5.2.5. Sonda lambda

Segundo Martins (2006) “A sonda Lambda mede a concentração de oxigênio no escape”. É construída por um eletrólito cerâmico de óxido de zircônia (ZrO_2) estabilizado por óxido de ítrio (Y_2O_3), esse eletrólito se torna condutor em temperaturas acima de 300 °C, gerando uma carga galvânica que caracteriza a quantidade de oxigênio dos gases de exaustão. Quando se tem uma mistura rica, ou seja $\lambda < 1$ existe pouco oxigênio nos gases de escape, o que gera uma diferença na concentração de oxigênio nos gases do interior e exterior do sensor, criando assim uma tensão elétrica entre os eletrodos.

A partir do momento que a mistura passa de rica para pobre, ou seja, $\lambda > 1$, o aumento do oxigênio na parte externa do sensor elimina a diferença de potencial entre os eletrodos, fazendo com que a tensão elétrica anteriormente gerada caia muito próxima de zero (BRUNETTI, 2012).

Por conta disso, a curva característica desse sensor não é linear, como pode ser observado na Figura 29.

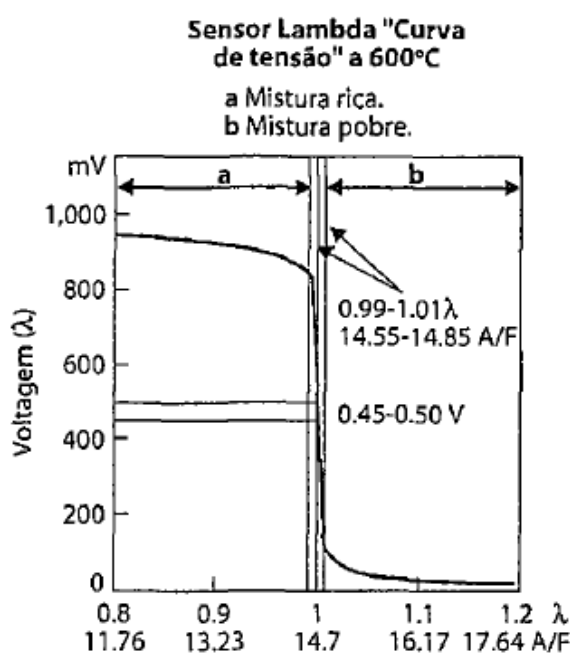


Figura 29 - Curva característica da sonda Lambda
Fonte: Brunetti (2012)

2.5.3. Atuadores

Os atuadores convertem a energia elétrica produzida pela ECU em energia mecânica. Existem diversos tipos de atuadores utilizados em sistemas de injeção eletrônica, nesse trabalho, serão descritos nos próximos tópicos apenas os principais.

2.5.3.1. Corpo da borboleta

Também conhecido como TBI (Throttle Body Injection), se baseia em um tubo que contém uma válvula giratória (borboleta) e é usado para controlar a quantidade de ar que entra no motor, normalmente, está localizado entre o filtro de ar e o coletor de admissão e é conectado ao pedal do acelerador (HAYNES, 2020).

Esse atuador pode ser observado na Figura 30.



Figura 30 - Corpo de Borboleta
Fonte: Haynes (2020)

2.5.3.2. Bicos injetores

Os bicos injetores são responsáveis por injetar a quantidade precisa de combustível para o motor, essa quantidade é determinada pela central de controle do motor (ECU). Deve-se garantir a instalação em uma distância específica do motor e o ângulo de ignição deve ser ajustado para que o combustível seja atomizado de uma forma eficaz, minimizando as perdas por condensação. As válvulas são compostas por um corpo de válvula, que guarda um enrolamento magnético e um guia para a agulha de bico, além da agulha de bico com uma armadura magnética, assim que a ECU aplica a tensão no enrolamento magnético, a agulha de bico sobe, liberando o furo por onde o combustível é pulverizado. Assim que a tensão diminui, uma mola pressiona a agulha de volta, fechando o furo. Para garantir que a quantidade precisa está sendo injetada, a ECU calcula a quantidade de tempo no qual a válvula deve que ficar aberta com base na vazão de combustível em cada furo (HELLA, 2018).

Um corte em seção de um bico pode ser visto na Figura 31,

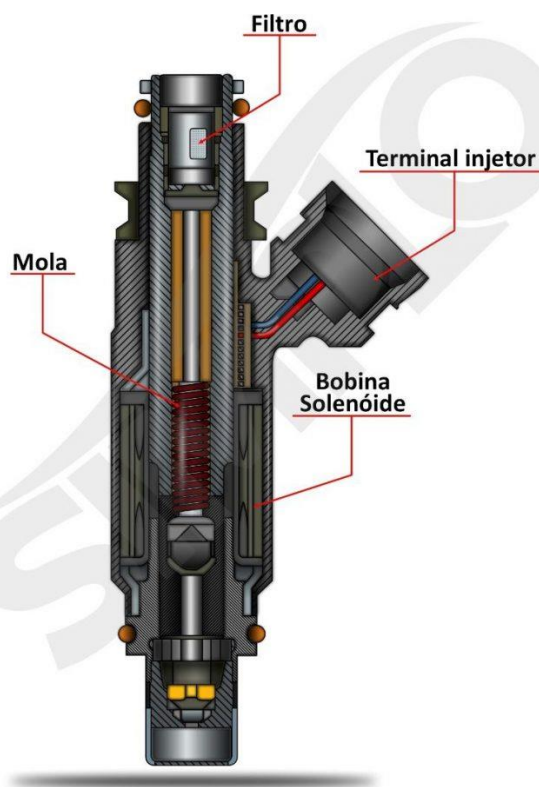


Figura 31 - Corte em seção do bico injetor
Fonte: Rabelo (2021)

As injeções também podem ser monoponto, quando existe apenas um injetor para todos os cilindros ou multiponto, quando se tem um injetor por cilindro (RABELO, 2021).

2.5.3.3. Bomba de combustível

As bombas de combustíveis são componentes muito importantes no sistema de injeção eletrônicas, pois são responsáveis por enviarem o combustível do tanque até os bicos injetores. Existem dois tipos de bombas de combustível, as mecânicas e as elétricas, no caso de injeções eletrônicas, é mais comum encontrarmos as elétricas, que podem ser divididas em internas e externas. A bomba de combustível interna aspira o combustível de dentro do fundo do tanque, já a externa, é fixada ao chassi e suga o combustível do tubo coletor dentro do tanque (MAGNETRON, 2018).

2.5.3.4. Bobinas

A função básica das bobinas é criar uma alta tensão, em torno de 20 a 30 mil Volts, a partir da tensão de alimentação do carro (12 V). Essa transformação se dá pelo princípio da indução eletromagnética, basicamente, a bobina contém dois circuitos elétricos, o primário, que é o qual recebe a alta corrente e baixa tensão da bateria e que produz uma variação na corrente, essa variação na corrente gera uma variação no fluxo magnético da bobina, induzindo assim uma alta tensão no circuito secundário. E essa alta tensão é utilizada para produzir a centelha das velas, que dará início à queima da mistura ar-combustível (LALLI, 2019).

2.5.3.5. Atuador de marcha lenta

É uma válvula que pode ser controlada por um motor de passo ou um solenoide, é responsável por regular o ar da marcha lenta e a rotação do motor por meio de um desvio (*by-pass*), controlando a quantidade de ar antes da borboleta de aceleração para depois da borboleta, quando essa se encontra totalmente fechada.

Quando há alguma mudança brusca na condição de carga do motor, seja pelo acionamento de um sistema de ar condicionado, ou até mesmo uma queda na velocidade do motor abaixo de um patamar mínimo aceitável pela ECU, esse atuador é acionado, aumentando o fluxo de ar na câmara de combustão (HELLA, 2018; COSTA, 2002). O sistema do atuador está representado na Figura 32.

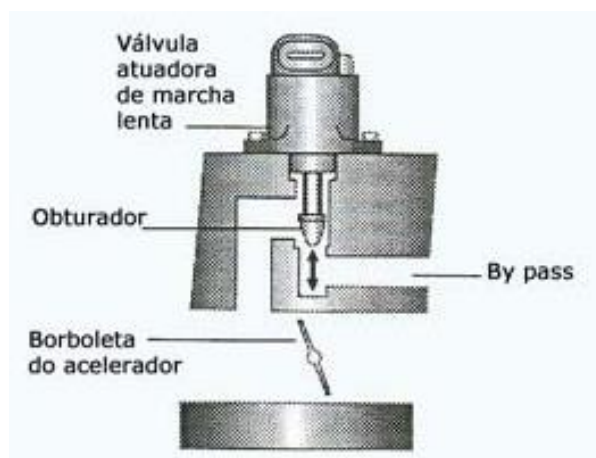


Figura 32 - Atuador de marcha lenta
Fonte: Costa (2002)

3. METODOLOGIA

A Figura 33 apresenta o fluxograma da proposta das atividades para execução do projeto.

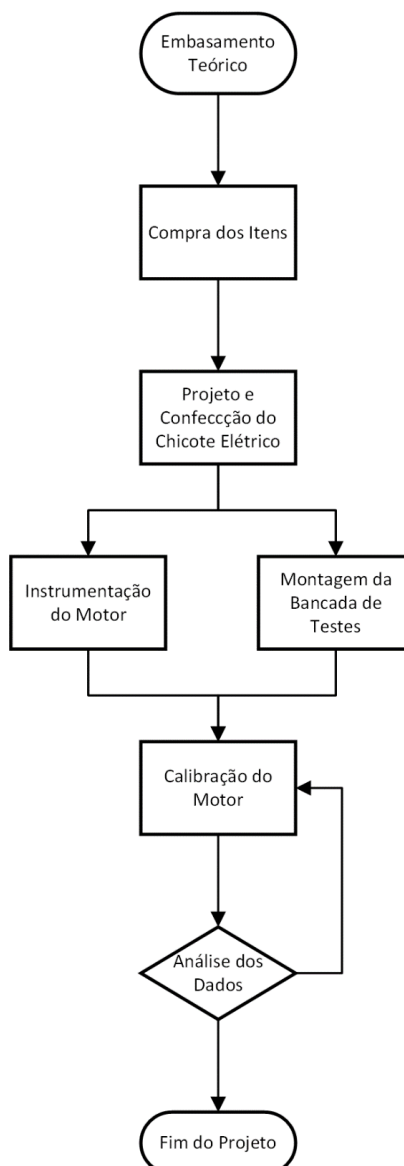


Figura 33 – Fluxograma
Fonte: Próprio Autor

Para um melhor desenvolvimento do trabalho em questão, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre o assunto de injeções eletrônicas com o intuito de entender melhor o seu princípio de funcionamento.

Após esse embasamento, leu-se o regulamento da principal competição no Brasil desse projeto estudantil, a *Shell Eco-Marathon*, para analisar e validar se todos os pontos foram atendidos e nenhuma regra está sendo desrespeitada.

Com todos esses pontos levantados, comprou-se todos os itens necessários para a implantação do sistema de injeção eletrônica, tal como o motor a combustão e a ECU FuelTech FT300. Alguns itens foram adquiridos por meio de doação e os que foram comprados, receberam um auxílio da UTFPR para projetos de extensão, todos os itens comprados, bem como os preços estão listados na Tabela 1.

Item	Preço
Motor Honda GX35 4 tempos	R\$2200,00
Injeção Eletrônica Programável FuelTech FT300	R\$1300,00
Sonda Lambda Bosch LS 7351	R\$474,00
Sensor de Temperatura do Ar Marflex 5053	R\$67,50
Sensor de Temperatura da Água Marflex 4053	R\$67,50
Sensor de Rotação Fiat 46442091	R\$70,00
TBI Honda Biz 125	R\$400,00
Condensador da Sonda Lambda FuelTech WBO ₂ Nano	R\$589,00
Cabo de comunicação USB-CAN FuelTech	R\$290,00

Fonte: Próprio Autor

3.1. PROJETO DO CHICOTE

Inicialmente, verificou-se no manual da ECU a saída dos pinos de todos os sensores e atuadores. Todas essas saídas podem ser observadas na Figura 34.



Figura 34 - Pinos de ligação Fueltech FT300
Fonte: Fueltech (2021)

Todas essas saídas foram organizadas em uma planilha eletrônica no *software* Excel para facilitar a visualização de quais saídas realmente serão utilizadas no projeto. As ligações, bem como os respectivos sensores podem ser observados no Quadro 1.

Ligação	Pino	Cor	Observação
-	1	Verde	
-	2	Amarelo 3	
Temperatura do Ar	3	Branco/Azul	Será ligada posteriormente
-	4	Amarelo 2	
Sonda Lambda	5	Branco	
-	6	Amarelo 1	
Temperatura Óleo	7	Rosa	Será ligada posteriormente
-	8	Amarelo 4	
-	9	Azul	
-	10	Cinza 5	
TPS	11	Laranja	
-	12	Cinza 4	
-	13	Amarelo/Vermelho	
-	14	Cinza 3	
-	15	Verde/ Amarelo	
-	16	Cinza 2	
Rotação	17	Branco	
Ignição	18	Cinza 1	Será ligada posteriormente
Negativo	19	Preto	Direto da bateria
5v dos sensores	20	Verde/Vermelho	
Entrada 12v Pós-Chave	21	Vermelho	
Terra de potência	22	Preto/Branco	
-	23	Marrom	
Injetor Cilindro 1	24	Lilás	

Quadro 1 - Ligações FT300

Fonte: Próprio Autor

Após essa organização, todos os sensores e o atuador foram colocados em uma outra planilha para contabilizar quantos cabos e entraram serão utilizados. As entradas usadas pelos sensores e a saída usada pelo atuador estão nos Quadro 2 e Quadro 3, respectivamente.

Sensor	Pino	Entrada ECU	0V - ECU	0V - Bateria	5V	12V
Rotação	17	Branco	1	-	-	-
TPS	11	Laranja	-	1	1	-
Temperatura Óleo	7	Rosa	-	1	-	-
Temperatura do Ar	3	Branco/Azul	-	1	-	-
TOTAL	-	-	1	3	1	0

Quadro 2 - Ligações Sensores

Fonte: Próprio Autor

Atuador	Pino	Saída ECU	Terra	12V
Injetor Cilindro 1	24	Lilás	-	1
TOTAL	-	-	0	1

Quadro 3 - Ligação Atuador

Fonte: Próprio Autor

Com isso, foi possível projetar a utilização de 1 cabo do 0V da ECU, 3 cabos do 0V da bateria e um cabo para o 5V, além dos quatro pinos da ECU. Além do mais, para o injetor, foi utilizado apenas um 12V e o pino 24 da ECU.

Além disso, o sistema de ignição e os sensores de temperatura do ar e do óleo não foram feitos no presente trabalho por conta do tempo de execução, porém, os cabos de ligação para esses sistemas foram separados para instalação futura e estão representados com uma linha tracejada na Figura 35 - Diagrama elétrico, que representa o diagrama elétrico da instalação.

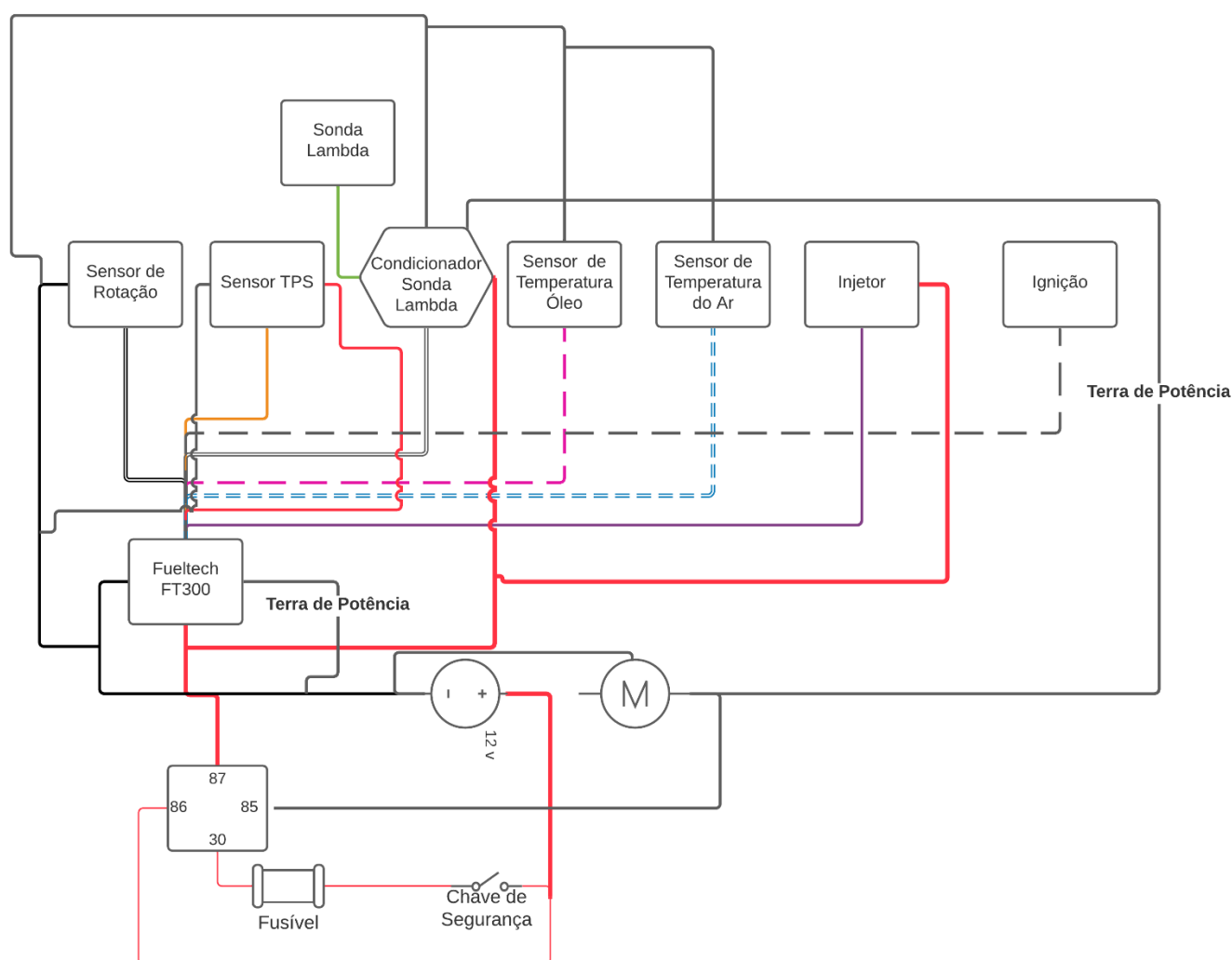


Figura 35 - Diagrama elétrico
Fonte: Próprio Autor

Por conta da pandemia do COVID-19, os demais subsistemas do carro não estavam trabalhando, então o chicote foi feito com os cabos em um comprimento fixo de 2 metros para conseguir se adequar ao novo chassi do veículo, independente do seu tamanho (para a instalação futura, esse comprimento deve ser adequado).

Por conta disso, o motor e o sistema de injeção foram colocados em uma bancada para melhor apresentação. Todos os cabos foram organizados e identificados com etiquetas para melhor organização, conforme é possível observar nas Figura 36 e Figura 37.



Figura 36 - Chicote elétrico organizado e identificado
Fonte: Próprio Autor



Figura 37 - Identificação dos cabos
Fonte: Próprio Autor

3.2. INSTRUMENTAÇÃO DO MOTOR

Para o funcionamento do motor com a injeção eletrônica, deve-se substituir e adaptar alguns componentes do motor. Na Figura 38 está ilustrado o motor original.



Figura 38 - Motor Honda NX35
Fonte: Honda (2021)

Inicialmente, retirou-se o tanque de combustível, pois o sistema de alimentação de combustível é composto por uma bomba, um tanque externo e um regulador de pressão, com retorno para a bomba de combustível, pois o edital da *Shell Eco Marathon* não permite o retorno de combustível para o tanque de gasolina. O esquema simplificado está descrito na Figura 39.

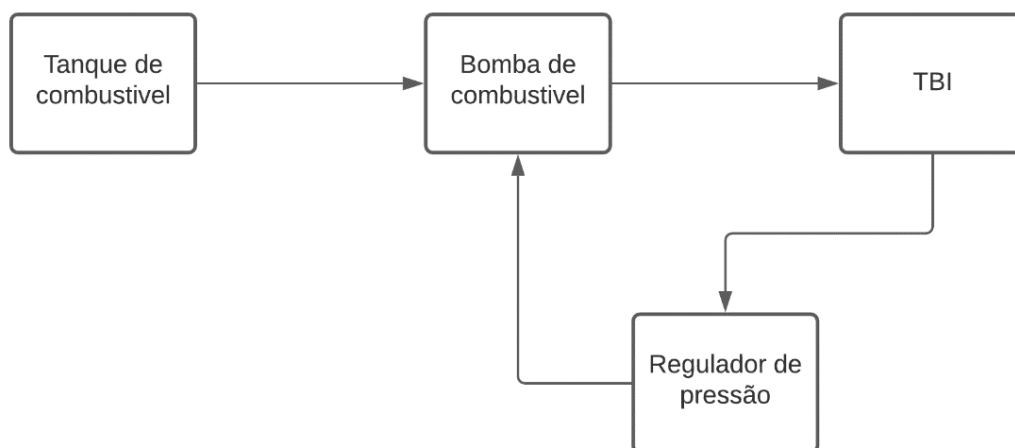


Figura 39 - Esquema alimentação de combustível
Fonte: Próprio Autor

Depois, projetou-se o suporte para substituir o carburador do motor pelo TBI da Honda Bis 125 no *software* SolidWorks. Esse suporte inclui uma saída para uma mangueira que coleta a pressão MAP e envia para a ECU. Nas Figura 40 e Figura 41, é possível observar o primeiro projeto do suporte.

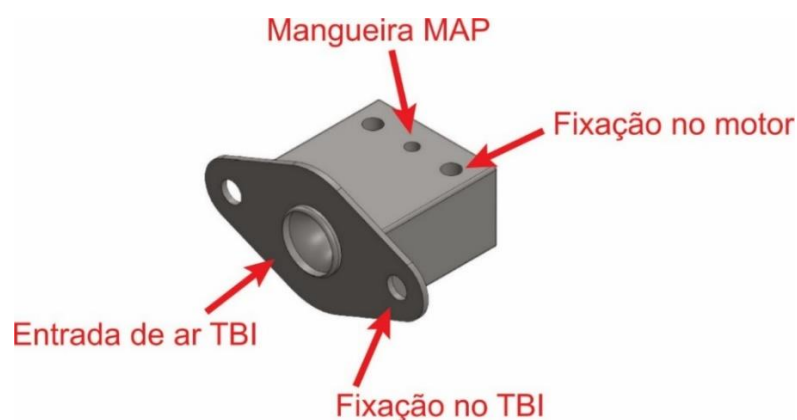


Figura 40 – Projeto inicial adaptador TBI
Fonte: Próprio Autor



Figura 41 - Projeto inicial adaptador TBI – Vista auxiliar
Fonte: Próprio Autor

A fim de validar todos os encaixes e dimensões do projeto, foi feito um protótipo utilizando a manufatura aditiva da impressão 3D, no protótipo, o furo para a mangueira do MAP não foi incluído por particularidades da impressão 3D. Na Figura 42, pode-se observar o TBI instalado com o protótipo impresso em 3D.



Figura 42 - Protótipo 3D instalado
Fonte: Próprio Autor

Após essa verificação, a próxima etapa deveria ser a confecção do adaptador em alumínio em uma máquina CNC, porém, por questões de disponibilidade das máquinas de manufatura, o projeto sofreu uma adaptação – sem perder a funcionalidade original - com o objetivo de facilitar a manufatura em um torno e fresa convencional. O novo projeto, assim como a peça usinada em alumínio instalada podem ser observados nas Figura 43 e Figura 44, respectivamente.



Figura 43 - Novo projeto adaptador TBI
Fonte: Próprio Autor



Figura 44 - Adaptador TBI instalado
Fonte: Próprio Autor

Para a aquisição da rotação do motor, foi necessário instalar uma roda fônica 60-2 e um sensor indutivo. Para a instalação da roda fônica, foi projetado no *software SolidWorks* um adaptador que se encaixa na embreagem do motor e se conecta à roda fônica. Nas Figura 45 e Figura 46, é possível ver o projeto no *software* e a roda fônica já instalada.

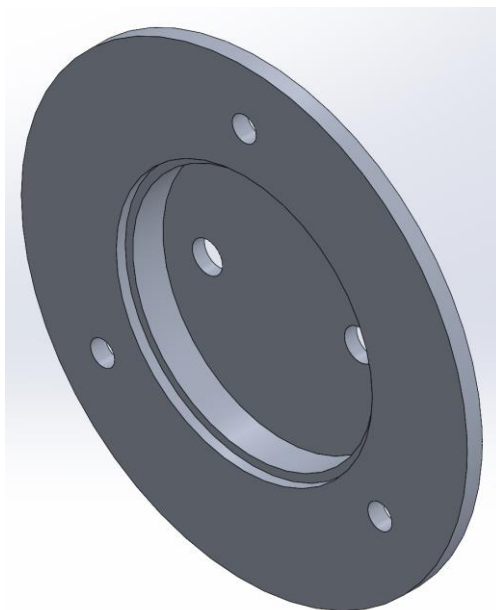


Figura 45 - Projeto adaptador roda fônica
Fonte: Próprio Autor



Figura 46 - Roda fônica instalada
Fonte: Próprio Autor

Já o sensor de rotação foi adaptado utilizando um suporte impresso na impressora 3D, futuramente, esse sensor deve ser instalado junto ao chassi do carro. A Figura 47, mostra sensor de rotação instalado.



Figura 47 - Sensor de rotação instalado
Fonte: Próprio Autor

A sonda lambda também teve que ser adaptada no motor, para isso, utilizou-se uma porca M18 que foi arredondada e cortada utilizando um torno convencional, após isso, furou-se o filtro do escapamento e soldou-se a porca utilizando o processo TIG, com isso, a sonda lambda é capaz de fazer a leitura correta dos gases de exaustão do motor. A sonda lambda instalada pode ser observado na Figura 48.



Figura 48 - Sonda Lambda adaptada ao motor
Fonte: Própria Autor

3.3. CONFIGURAÇÃO INICIAL DO MOTOR

Com o sistema todo instalado e validado, a ECU FuelTech FT300 foi conectada ao computador e iniciou-se a configuração no *software* FuelTech ECU Manager, como é possível observar na Figura 49.

O tipo de calibração escolhido foi o “Aspirado por MAP” devido à dificuldade em manter a abertura do corpo de borboleta (TPS) constante.

Além disso, definiu-se alguns parâmetros básicos como o tipo de motor e o número de cilindros, que no caso do motor Honda GX35 é apenas um.

No manual do motor, o fabricante informa que a marcha lenta ocorre em cerca de 3000 rpm, após alguns testes iniciais, verificou-se que em termos da pressão MAP, a marcha lenta ocorre entre -0,4bar e -0,5 bar.

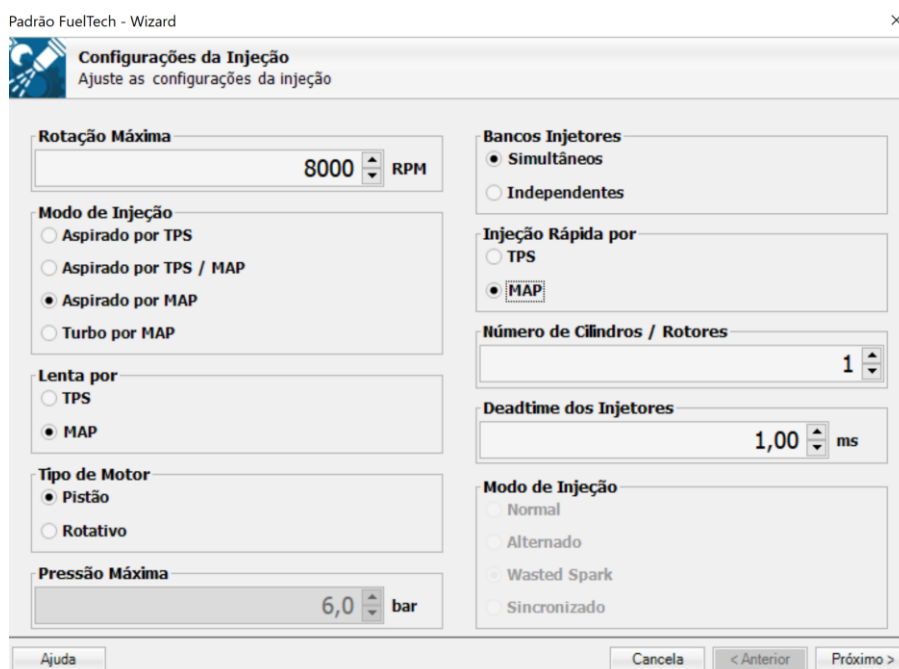


Figura 49 - Configuração inicial
Fonte: Próprio Autor

Após a inserção das informações adicionais, o *software* gera um mapa inicial que relaciona a pressão MAP e o tempo de abertura dos bicos de injeção, em milissegundos. Na Figura 50 está ilustrado o mapa inicial.

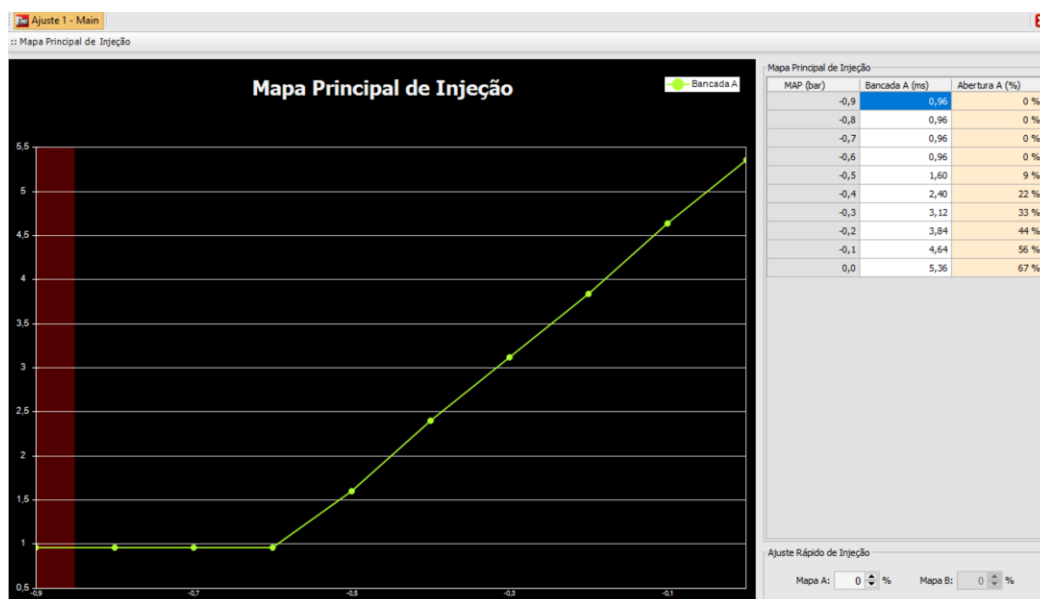


Figura 50 - Mapa inicial
Fonte: Próprio Autor

Nesse primeiro mapa gerado, entre as pressões de -0,4 e -0,5 bar, o tempo de injeção seria entre 2,40ms e 3,12ms.

O processo de calibração foi feito com o ajuste desse tempo de abertura dos bicos injetores e a análise dos dados coletados pela ECU, o principal parâmetro analisado foi o valor da sonda lambda, que deve estar na região mais pobre possível, ou seja, em valores superiores a 1,00.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. CHICOTE ELÉTRICO E INSTRUMENTAÇÃO DO MOTOR

Após a instalação completa na bancada de testes, pode-se obter um chicote totalmente personalizado para o sistema, utilizando apenas os cabos necessários para o melhor funcionamento e monitoramento do motor, mesmo que o comprimento não seja ainda o ideal, o projeto teve que se adaptar a dificuldade imposta pela pandemia do COVID-19, no qual parou o trabalho dos demais subsistema da equipe, apesar disso, o chicote foi planejado e estruturado da maneira mais organizada possível.

Com o chicote montado, organizado, todos os componentes integrantes da injeção eletrônica devidamente adaptados no motor e o *setup* inicial da ECU feito, foi possível dar partida no motor utilizando inteiramente um sistema de injeção eletrônica.

Na Figura 51, pode-se observar todo o sistema instalado e ligado.

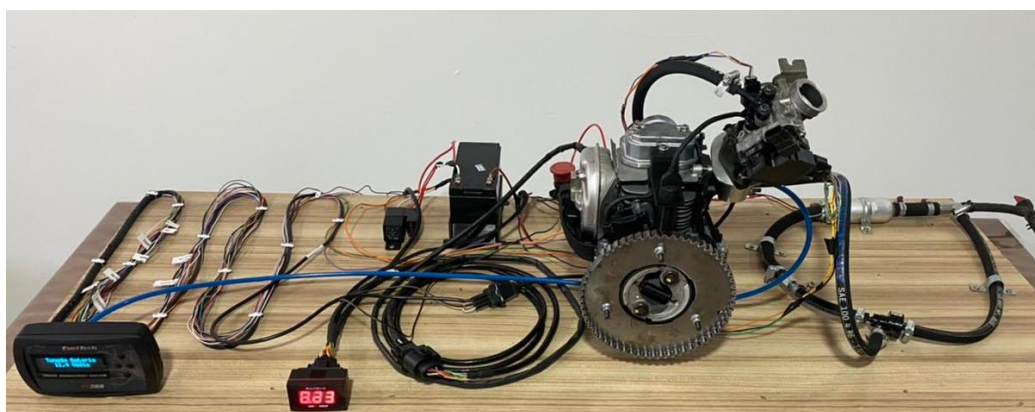


Figura 51 - Sistema instalado
Fonte: Próprio Autor

4.2. CALIBRAÇÃO DO MOTOR

Na Figura 52, observa-se o dados gravados pela ECU com o mapa da Figura 50. A curva de MAP – representada pela cor vermelha - está variando entre -0,4 e -0,5, indicando que o motor está em marcha lenta e nessas condições o valor de lambda é de cerca de 0,86, ou seja, um valor muito rico.

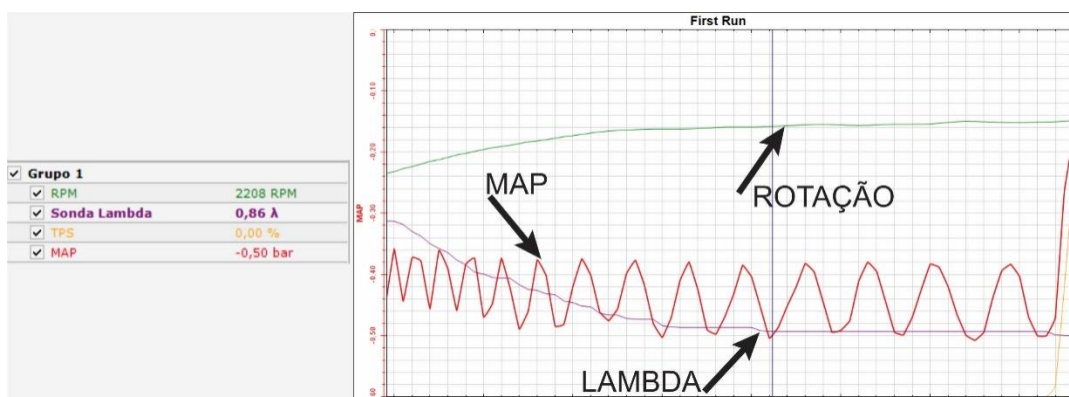


Figura 52 - Dados iniciais
Fonte: Próprio Autor

Portanto, foi necessário fazer a primeira alteração no mapa e diminuir o tempo de injeção de combustível com o objetivo de elevar o valor lido pela sonda lambda, obtendo uma mistura mais pobre.

Na Figura 53, está sendo mostrado o novo mapa, com os valores de injeção reduzidos em cerca de 30%. Todas as reduções devem ocorrer de maneira proporcional para evitar quedas bruscas no mapa de injeção, o que refletiria em movimentos bruscos no motor, podendo causar danos.

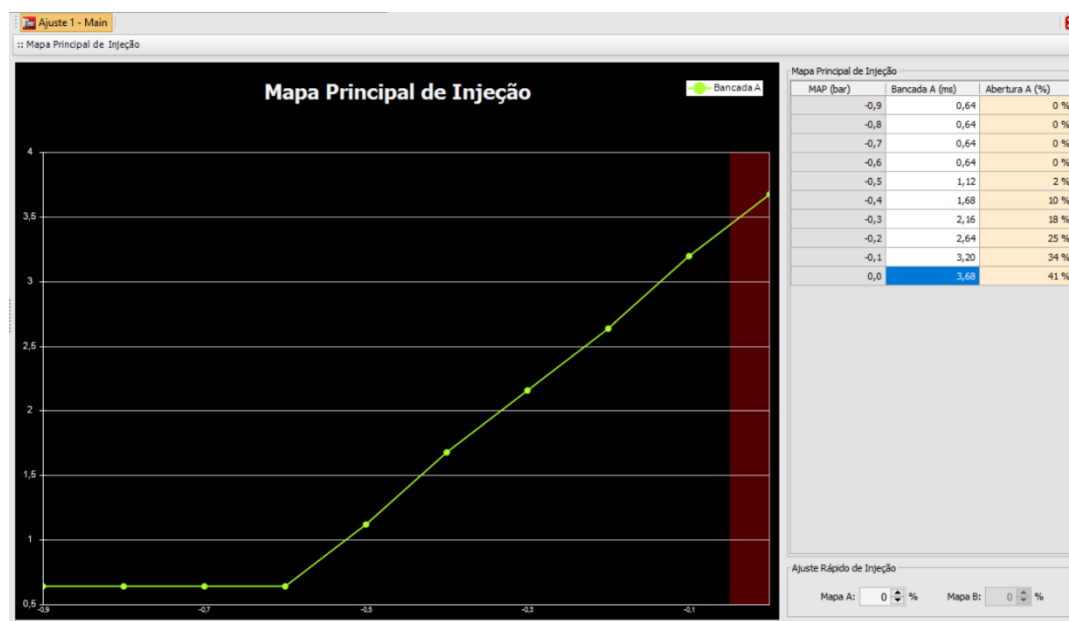


Figura 53 - Primeiro ajuste do mapa de injeção
Fonte: Próprio Autor

Na análise dos dados da ECU, percebeu-se que houve uma melhora no desempenho do motor, com o valor da sonda lambda aumentando para em torno de 1,24, como é possível observar na Figura 54.

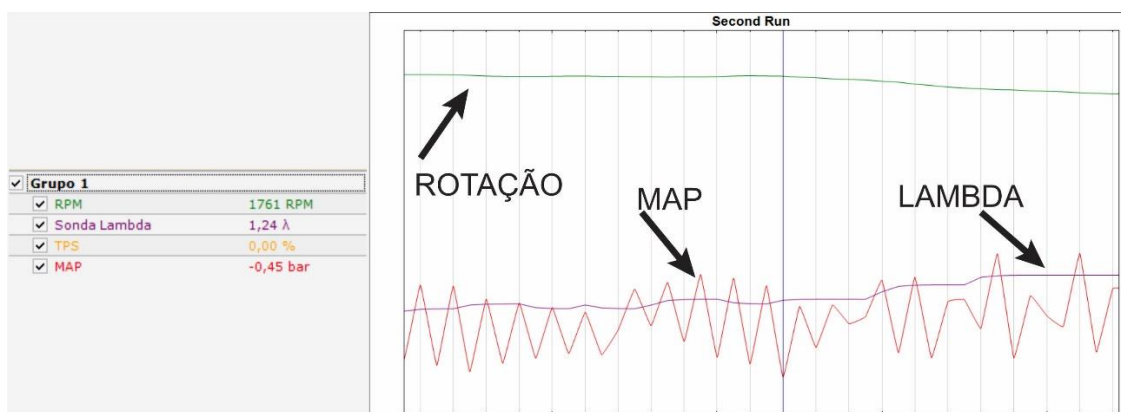


Figura 54 - Dados após primeiro ajuste
Fonte: Próprio Autor

Porém, visando utilizar a menor quantidade de combustível possível, diminuiu-se em cerca de 10% os valores de abertura da válvula de injeção do combustível no motor. Os novos valores estão na Figura 55.

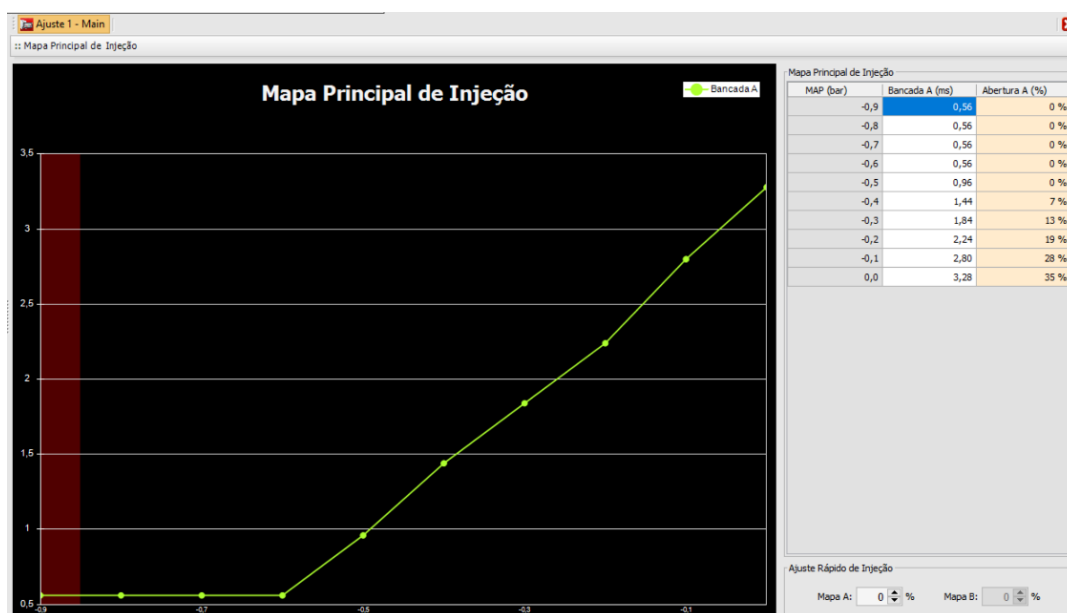


Figura 55 – Ajuste final do mapa de injeção
Fonte: Próprio Autor

Nessa condição, observa-se um valor de lambda extremamente pobre, com cerca de 1,5, como é possível ver nos dados da Figura 56.

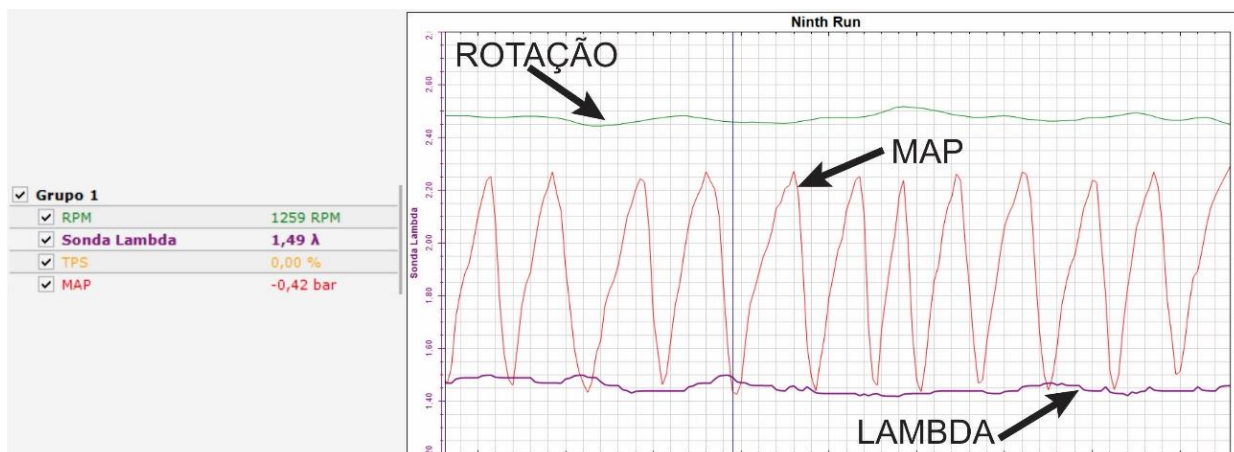


Figura 56 - Dados após ajuste final
Fonte: Próprio Autor

É importante também destacar a queda da rotação do motor de 2208 rpm - no mapa com o lambda mais rico - para 1259rpm no mapa da Figura 55 – Ajuste final do mapa de injeção, ambos operando com a mesma pressão MAP, contudo, como o objetivo do projeto é a economia de combustível e não a performance do motor, isso não foi considerado um agravante.

Outros testes foram realizados diminuindo ainda mais o tempo de injeção de combustível no motor, porém, o valor de combustível injetado era tão pequeno, que o motor não foi capaz de dar partida e, por conta disso, estes testes não foram incluídos no trabalho para não poluir os dados e gerar dúvidas.

Com isso, conclui-se que para essa condição de carga, os valores no qual o motor apresenta melhor funcionamento são os da Figura 55.

5. CONCLUSÃO

Com este trabalho, no qual se realizou a instalação de um sistema de injeção eletrônica programável em um motor originalmente carburado, foi possível compreender o funcionamento de um motor no geral e especialmente do funcionamento de um sistema de injeção eletrônica. Para tanto, alguns adaptadores mecânicos foram projetados, prototipados utilizando impressão 3D e por fim, fabricados em alumínio. Além disso, foi necessário montar um sistema de alimentação de combustível e um chicote elétrico para a correta implementação de todos os sensores e atuadores.

Com todos estes sistemas instalados, validados e operando de forma satisfatória, iniciou-se o processo de calibração inicial da injeção eletrônica programável, este procedimento se deu pelo ajuste dos tempos de injeção de combustível no motor e a análise dos dados gerados pela ECU até um valor no qual o motor funcionasse da forma mais econômica.

Vale ressaltar que este motor será instalado em um protótipo que participará em uma competição de eficiência energética de veículos movidos com motor a combustão interna ciclo Otto, sendo que o sistema estruturado neste trabalho agrega valor ao desenvolvimento da equipe como um todo.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a implementação do sistema de ignição eletrônica no motor para obter um controle maior da combustão e, conseqüentemente, maior controle da utilização do combustível. Com este sistema instalado, será possível controlar o ângulo de ignição pela ECU, aumentando assim o controle do consumo de combustível.

REFERÊNCIAS

- ASSOBRAV. **O que é e para que serve um carburador**, 2019. Disponível em: <https://www.assobrav.com.br/noticias/curiosidades/o-que-e-e-para-que-serve-o-carburador/>. Acesso em 30 jul. 2021.
- BRUNETTI, Franco. **MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA, VOLUME 1**. São Paulo, BLUCHER, 2012. p. 344.
- CONNECTPARTS. **Sensor MAP Chevrolet Astra Hatch Corsa Meriva Celta Montana Prisma 4 Pinos Coletor Vetor ESM2350**, 2021. Disponível: <https://www.connectparts.com.br/sensor-map-chevrolet-astra-celta-corsa-novo-corsa-meriva-montana-127608/p>. Acesso em: 06 ago. 2021
- CONTESINI, Leonardo. **Afinal o que é ECU? Como elas funcionam?**, 2017. Disponível em: <https://flatout.com.br/afinal-o-que-e-ecu-como-elas-funcionam/>. Acesso em 2 ago. 2021
- COSTA, Paulo G. **Atuador de marcha lenta**, 2002. Disponível em: <http://www.oficinaecia.com.br/bibliadocarro/biblia.asp?status=visualizar&cod=52>. Acesso em 07 ago. 2021.
- DAIMLER CHYSLER DO BRASIL Ltda. **Global training**. Campinas: 2008. 64 p.
- DANTAS, André. **A "MATEMÁTICA" DA RODA FÔNICA**, 2011. Disponível em: <http://www.autoentusiastasclassic.com.br/2011/10/matemagica-da-roda-fonica.html?m=0>. Acesso em 20 nov. 2021
- DOUTOR-IE. **Sensor de Rotação Indutivo: o que é, como funciona e como testar**, 2017. Disponível em: <https://www.doutorie.com.br/blog/sensor-magnetico-indutivo-ou-de-relutancia-variavel-principio-de-funcionamento/>. Acesso em 04 ago. 2021.
- DOUTOR-IE. **Sensor TPS – funcionamento, testes e código de falhas**, 2021. Disponível em: <https://www.doutorie.com.br/blog/sensor-tps/>. Acesso em 04 ago. 2021.
- FERNIE, Michael. **How Do Carburetors Work?**, 2017. Disponível em: <https://www.carthrottle.com/post/carburetors-how-did-they-work/>. Acesso em 10 ago. 2021
- GIBI, Rodrigo. **Motores a Pistão**, 2013. Disponível em: <https://abekwar.wordpress.com/2013/04/09/motores-a-pistao/>. Acesso em 26 jul. 2021.
- HAYNES. **Beginner's Guide: what is a throttle body and what does it do?**, 2020 Disponível em: <https://haynes.com/en-us/tips-tutorials/what-is-car-throttle-body-and-what-does-it-do/>. Acesso em 08 ago. 2021
- HELLA. **Idle speed controller**, 2018. Disponível em: <https://www.hella.com/techworld/uk/Technical/Sensors-&-actuators/Idle-speed-controller-3601/>. Acesso em 06 ago. 2021.

HELLA. **Injection nozzle**, 2018. Disponível em: <https://www.hella.com/techworld/uk/Technical/Sensors-&-actuators/Injection-nozzle-3664/>. Acesso em 05 ago. 2021.

HELLA. **Sensor da temperatura do ar de admissão**, 2020. Disponível em: <https://www.hella.com/techworld/br/Tecnica/Sensores-e-atuadores/Sensor-da-temperatura-do-ar-de-admissao-4326/>. Acesso em 05 ago. 2021.

JOST, Bernd; DOYON, Pete. **Dependable Quality for Automotive Wire Harnesses**, 2018. Disponível em: <https://www.connectorsupplier.com/dependable-quality-for-automotive-wire-harnesses/>. Acesso em 30 jul. 2021

LALLI, Fernando. **Você sabe o real papel da bobina de ignição?**, 2019. Disponível em: <https://revistacarro.com.br/voce-sabe-o-real-papel-da-bobina-de-ignicao/>. Acesso em 06 ago. 2021.

MAGNETRON. **O que é a bomba de combustível**, 2018. Disponível em: <https://www.magnetron.com.br/blog/o-que-e-bomba-de-combustivel/>. Acesso em 06 ago. 2021

MARTINS, Jorge. **Motores de Combustão Interna**. 2. ed. Porto: Publindustria, 2006. 437 p.

MERCEDES BENZ DO BRASIL. **Apostila de treinamento técnico: matemática e metrologia**. Impresso. 2006. 38 p.

MOURA. **Descubra como funciona o chicote elétrico do carro**, 2020. Disponível em: <https://www.moura.com.br/blog/chicote-eletrico/>. Acesso em 25 jul. 2021.

MTE-THOMSON. **Sensor MAP**, 2021. Disponível em: <https://www.mte-thomson.com.br/produtosmte/sensor-map/>. Acesso em 04 ago. 2021.

MTE-THOMSON. **Sensor TPS**, 2021. Disponível em: <https://www.mte-thomson.com.br/produtosmte/sensor-tps/>. Acesso em 04 ago. 2021.

MWM International Motores. **Apostila motores Diesel – Treinamento**. 2009. 74 p.

PRATA, João Pedro Scardini. **Procedimento para modificação de um motor Honda GX35 para um sistema de injeção eletrônica**. 2017. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2017.

PUGLIESI, Márcio. **MANUAL COMPLETO DO AUTOMÓVEL**. São Paulo, HEMUM, 1976. P.269.

RABELO, Laerte. **Válvula injetora: como funciona e como fazer o reparo no bico injetor**, 2021. Disponível em: <https://blog.simplusbr.com/valvula-injetora>. Acesso em 06 ago. 2021.

RIBEIRO, Rodrigo. **As vantagens da injeção direta do novo Hyundai HB20 e por que o novo Onix não tem**, 2019. Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/carros/noticia/2019/12/vantagens-da-injecao-direta-do-novo-hyundai-hb20-e-por-que-o-novo-onix-nao-tem.ghtml>. Acesso em 05 ago. 2021.

RINALDI, Anamaria. **Entenda como funciona e saiba curiosidades sobre o chicote elétrico do carro**, 2019. Disponível em: <https://revistacarro.com.br/entenda-como-funciona-e-saiba-curiosidades-sobre-o-chicote-eletrico-do-carro/>. Acesso em 25 jul. 2021.

ROYAL FIC. **Diferenças entre motores 2 e 4 tempos**, 2017. Disponível em: <https://www.royalficinstitucional.com.br/diferencas-entre-motores-2-e-4-tempos/>. Acesso em 25 de jul. 2021.

SHELL. **SHELL ECO-MARATHON BRASIL**, 2020. Disponível: <https://www.shell.com.br/energia-e-inovacao/ecomarathon/shell-eco-marathon-brasil.html>. Acesso em 22 jul. 2021.

SILVA, Guilherme. **Injeção eletrônica: indireta x direta**, 2020. Disponível em: <https://www.webmotors.com.br/wm1/dicas/injecao-eletronica-indireta-x-direta>. Acesso em 05 ago. 2021.

SIMPLO. **Sensor de rotação indutivo: como funciona e como testar**, 2021. Disponível em: <https://blog.simplusbr.com/sensor-de-rotacao-indutivo>. Acesso em 04 ago. 2021.

SOUSA, Andre. **Entenda o Funcionamento dos Motores 2 Tempos**, 2016. Disponível em: <https://maniamoto.com/entenda-os-motores-2-tempos/>. Acesso em 25 jul. de 2021.

TILLMANN, Carlos Antonio da Costa. **Motores de Combustão Interna e seus Sistemas**. Pelotas: Rede E-Tec Brasil, 2013. 165 p.