



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

LUCAS LOBATO OLIVEIRA 201431288

**IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO
ELETRÔNICO APLICADO A MOTORES DE CICLO OTTO**

SÃO LUÍS/MA
2021

LUCAS LOBATO OLIVEIRA 201431288

**IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO
ELETRÔNICO APLICADO A MOTORES DE CICLO OTTO**

Monografia de graduação apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Kaio Henrique Ferreira Nogueira de Nogueira

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA MONOGRAFIA DEFENDIDA PELO(A) ALUNO(A) LUCAS LOBATO OLIVEIRA E ORIENTADA PELO(A) PROF(A). ME.(A) KAIO HENRIQUE FERREIRA NOGUEIRA DE NOGUEIRA.

ASSINATURA DO(A) ORIENTADOR(A)

SÃO LUÍS/MA

2021

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA CENTRAL - UEMA

Oliveira, Lucas Lobato.

Implementação e análise de um sistema de gerenciamento eletrônico aplicado a motores de ciclo Otto / Lucas Lobato Oliveira. – São Luís, 2021.

45 folhas

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2021.

Orientador: Prof. Me. Kaio Henrique Ferreira Nogueira de Nogueira.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO
ELETRÔNICO APLICADO A MOTORES DE CICLO OTTO**

Autor: Lucas Lobato Oliveira

Orientador: Prof. Me. Kaio Henrique Ferreira Nogueira de Nogueira

Coorientador:


A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta monografia:



Prof. Me. Kaio Henrique Ferreira N. de Nogueira
Instituição UEMA



Prof. Me. Valdirson Pereira Mendes
Instituição UEMA



Prof. Me. José de Ribamar Ferreira Barros Junior.
Instituição

São Luís/MA, 27 de Novembro de 2021

Dedicatória

Dedico este trabalho a Deus e a minha família, por toda a força concedida durante a execução deste trabalho e por ser sustento diário nas nossas vidas.

Agradecimentos

Agradeço a Deus, por ser a maior força e sempre dar repostas nos momentos mais difíceis dessa caminhada.

Aos meus pais, Faustina Alves Lobato Oliveira e Carlos Roberto de Souza Oliveira (in memorian) que sempre dedicaram as suas vidas para que hoje fosse possível realizar o sonho de concluir este curso.

Agradeço ao meu irmão Gustavo Lobato Oliveira, por nos ensinar todos os dias o verdadeiro significado de cuidado, carinho e amor verdadeiro.

Agradeço aos bons amigos, Leandro Moreira e Rafael Brasil por toda a parceria ao longo dessa jornada.

Agradeço a Equipe Coyote que permitiu que fizesse parte desse projeto incrível, gerando o fruto desse trabalho.

Resumo

Com o uso da injeção eletrônica foi possível desenvolver técnicas que passaram a auxiliar o motorista na busca por menores consumos e emissões, assim como promoveram melhor dirigibilidade. Dentre elas podemos destacar o cutt-off que corta a injeção de combustível quando a central interpreta condições favoráveis a fazê-la, exemplo disto é quando o veículo se encontra a velocidades acima de 50 km/h com marcha engrenada, como numa descida longa, e não necessita do trabalho do motor para manter aquela velocidade. O motor não “apaga” pelo fato da transmissão estar conectada ao motor, fazendo com que o peso do veículo junto ao plano mantenha o trabalho deste. O objetivo geral do trabalho consiste em estudar sobre a implementação e análise sobre um sistema de gerenciamento eletrônico buscando novas perspectivas relacionada a eficiência do motor de combustão, mostrando os ganhos em termo de economia e eficiência. Já com os objetivos específicos destacam-se: entender sobre o funcionamento de motor de combustão interna ciclo otto; discutir sobre o sistema de gerenciamento eletrônico de motor por injeção eletrônica e por fim demonstrar sobre a eficiência do motor GX-35 utilizado para este experimento. Verificando e atestando os resultados obtidos através desta melhoria. Os resultados alcançados mostraram que o sistema de gerenciamento de injeção eletrônica estudada neste trabalho é capaz de gerenciar um motor do ciclo Otto e ir além, permitindo melhores características técnicas conforme as necessidades da pesquisa.

Palavras-chave: Motor Ciclo Otto. Gerenciamento Eletrônico. Motor de Combustão.

Abstract

With the use of electronic injection, it was possible to develop techniques that started to help the driver in the search for lower consumption and emissions, as well as promoting better drivability. Among them, we can highlight the cutt-off that cuts fuel injection when the central interprets favorable conditions to do so, an example of which is when the vehicle is at speeds above 50 km/h with geared gear, as in a long descent, and it doesn't need the engine work to maintain that speed. The engine does not “switch off” because the transmission is connected to the engine, making the vehicle's weight close to the plane to maintain its work. The general objective of the work is to study the implementation and analysis of an electronic management system seeking new perspectives related to combustion engine efficiency, showing the gains in terms of economy and efficiency. With the specific objectives, the following stand out: understanding about the functioning of the Otto cycle internal combustion engine; discuss about the electronic engine management system by electronic injection and finally demonstrate about the efficiency of the GX-35 engine used for this experiment. Verifying and attesting the results obtained through this improvement. The results achieved showed that the electronic injection management system studied in this work is capable of managing an Otto cycle engine and going beyond, allowing better technical characteristics according to the research needs.

Keywords: Otto Cycle Engine. Electronic Management. Combustion Engine.

Lista de Ilustrações

Figura 1.1 - Motor de quatro tempos do ciclo otto (Adaptado de Varella, 2016)	12
Figura 1.2 - Posição das válvulas no pistão na fase de admissão (Adaptado de Varella, 2016)	13
Figura 1.3 - Posição da válvula do pistão na fase de compressão (Adaptado de Varella, 2016)	13
Figura 1.4 - Posição da válvula na terceira fase de expansão (Adaptado de Varella, 2016)....	14
Figura 1.5 - Posição da válvula no estágio 4 na fase de descarga (Adaptado de Varella, 2016)	15
Figura 1.6 - Ciclo termodinâmico de um motor ciclo Otto (Adaptado de Varella, 2016)	15
Figura 1.7 - Ilustração de uma válvula eletromagnética injetora de combustível (Adaptado de Bosch, 1988).....	24
Figura 1.8 - Posição de válvulas injetoras em um sistema com injeção indireta multiponto (Adaptado de Bosch, 1995)	25
Figura 1.9 - Comparação entre os tipos de injeção.....	26
Figura 1.10 – Carburador utilizado nos VW Fuscas produzidos no ano de 1970	16
Figura 1.11 - Sistema de marcha lenta	17
Figura 1.12 - Exemplo de motor.....	29
Figura 1.13 - Controlador da ECU	30
Figura 1.14 - Esquema dos componentes mecânicos	32
Figura 1.15 - Ligação de força do injetores (Conector A)	32
Figura 1.16 - Representa as ligações dos sensores	33
Figura 1.17 - Projeto feito pela equipe Coyote.....	33
Figura 1.18 - Resultados da montagem do sistema	34
Figura 1.19 - Dados do software	35
Figura 1.20 - Injetor Honda 16450-K03-H11	37
Figura 1.21 - Mapa de injeção	38
Figura 1.22 - Correção por rotação.....	39
Figura 1.23 - Gráfico em 3D do software.....	39
Figura 1.24 - Mapas de ignição	40
Figura 1.25 - Final Results.....	42

Lista de Tabelas

Tabela 1.1 - Informações do motor tipo TPS3	30
Tabela 1.2 - Informações dos componentes usados no projeto.....	31
Tabela 1.3 - Informações sobre sequência e resultados dos testes.....	35
Tabela 1.4 - Resultados satisfatório	40
Tabela 1.5 - Resultados competição.....	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1	CICLO OTTO EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA.....	12
2.2	SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO POR CARBURADOR	16
2.2.1	Emissão de Gases de Motor de Combustão Interna.....	18
2.2.2	Eficiência de Motores de Combustão Interna	20
2.3	GERENCIAMENTO ELETRÔNICO.....	21
2.3.1	Controle Eletrônico dos Motores	21
2.3.2	Injeção Eletrônica de Combustível	22
2.3.3	Roda Fônica.....	27
2.3.4	Sistema de Ignição	28
3	DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL.....	29
3.1.1	ANÁLISE E IMPLEMENTAÇÃO.....	29
4	CONCLUSÃO	43

1 INTRODUÇÃO

Devido ao crescente número de veículos automotores nas ruas, tornou-se necessário o desenvolvimento tecnológico destes, em busca de reduzir não só a poluição que acomete a qualidade de vida nos grandes centros urbanos, mas também como meio de melhorar o rendimento energético, a fim de torna-los mais eficientes e menos nocivos ao meio ambiente.

Para isto, em 1986, criou-se o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). Este serve como balizador para melhoria continua da qualidade do ar, utiliza como referência normas Internacionais já vigentes na Europa (Programa Euro).

A cada ano estas regulamentações tornam-se mais rigorosas. Com o advento da evolução tecnológica e da eletrônica cada vez mais presente nos veículos, os fabricantes passaram a dispor de meios para cumprir tais exigências. Uma delas foi a utilização de sistemas microprocessados aliados a sensores que monitoravam o funcionamento do motor e dispunham de um banco de dados para alterar seu funcionamento á medida que houvesse necessidade.

Até meados dos anos 90, todos os veículos fabricados no Brasil eram constituídos por sistemas de alimentação de combustível e ignição puramente mecânicos, o famigerado carburador devido as suas limitações já não conseguiam atender aos padrões de emissão, economia ou desempenho. Com isto tornou-se necessário a utilização de novos sistemas eletrônicos, a fim de alcançar melhor rendimento energético.

A injeção eletrônica em carros nacionais surgiu em 1989 com o Gol GTi, esta substituiu os carburadores trazendo melhores marcas de consumo, menores emissões de poluentes, melhor performance e um funcionamento mais estável aos motores. Todos esses benefícios também são desejáveis como resultado deste trabalho, que visa implementar um sistema de gerenciamento eletrônico em motor de ciclo Otto de baixa cilindrada, utilizando para isso sensores e atuadores comerciais, interligados a uma injeção eletrônica configurável.

Buscando novas perspectivas acerca da eficiência dos motores de combustão, como objeto de estudo foi feito uso do motor a gasolina de 4 tempos, Motor GX-35 Honda. Este motor é utilizado pela Equipe Coyote da Universidade Estadual do Maranhão nas competições da qual ela participa. Originalmente é comercializado sem nenhum tipo de componente eletrônico, gerando assim a oportunidade de se implementar um gerenciamento eletrônico a este e verificar as potencialidades obtidas através desta melhoria.

Com o uso da injeção eletrônica foi possível desenvolver técnicas que passaram a auxiliar o motorista na busca por melhores marcas de consumo e emissões, assim como promoveram melhor dirigibilidade. Dentre elas podemos destacar o cutt-off que corta a injeção de

combustível quando a central interpreta condições favoráveis a fazê-la, exemplo disto é quando o veículo se encontra a velocidades acima de 50 km/h com marcha engrenada, como numa descida longa, e não necessita do trabalho do motor para manter aquela velocidade. O motor não “apaga” pelo fato da transmissão estar conectada a este, fazendo com que o peso do veículo junto ao plano o mantenha em funcionamento.

Controlado mecanicamente através do carburador, este componente tem como objetivo dosar a mistura entre o ar e o combustível, para fazer isso de forma eficaz é necessário que ocorra uma boa regulagem, se houver mais combustível que ar o motor irá “afogar” por excesso de combustível. (Conhecido como mistura rica, relação estequiométrica > 1). Se houver menos combustível que ar o motor ficará sem rendimento. (Conhecido como mistura pobre, relação estequiométrica < 1) As duas condições prejudicam o desempenho e o consumo.

Para se obter melhores resultados a partir da condição original do objeto deste experimento, se faz necessário buscar trabalhos relacionados a este tema além de entender melhor sobre o funcionamento, o ciclo e as fases de um motor de combustão interna. A partir disto será possível ter um entendimento melhor e abrangente sobre a estratégia geral de gerenciamento eletrônico, além dos componentes que fazem parte do sistema deste sistema de trabalho.

O objetivo geral do trabalho consiste em efetuar um breve review sobre os meios de controle utilizados anteriormente, revisão bibliográfica acerca dos motores de combustão interna do Ciclo Otto e desenvolver, implementar e analisar um sistema de gerenciamento eletrônico aplicado. Buscando assim novas perspectivas relacionadas a eficiência do motor de combustão, demonstrando os ganhos em termo de economia e eficiência. Já com os objetivos específicos destacam-se: tornar funcional todo o sistema de gerenciamento eletrônico, fazendo com que os diferentes tipos de sensoriamentos utilizados possam interagir e convergir entre si, demonstrando a eficiência obtida através do motor GX-35 utilizado como base.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CICLO OTTO EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

De acordo com Varella (2016), os motores de quatro tempo - Ciclo Otto - possuem sistema de lubrificação sendo o cárter o depósito de óleo lubrificante do motor. Esse motor realiza o ciclo em quatro modos, isso significa que o virabrequim faz duas voltas de 360° a cada ciclo total de trabalho. A Figura 1.1 ilustra a formação dos motores de quatro tempos do ciclo otto, composto por pistão, vela, válvula de admissão, válvula de descarga e virabrequim.

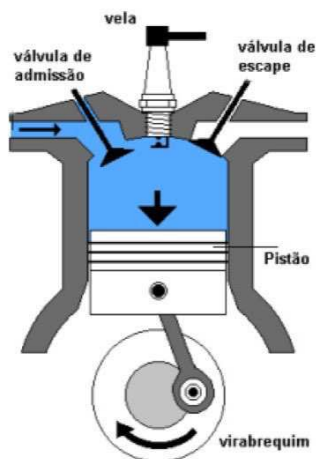


Figura 1.1 - Motor de quatro tempos do ciclo otto (Adaptado de Varella, 2016)

O motor de combustão interna ciclo Otto, possui ciclo de trabalho definido em quatro tempos que se completam com duas voltas completas do eixo virabrequim. Os quatro tempos de um motor ciclo Otto são: admissão, compressão, explosão e descarga.

O processo de admissão é a entrada do ar com a mistura do combustível por meio da válvula que admite o ar, seu movimento é do ponto morto superior (PMS) ao ponto morto inferior (PMI). Nesse momento a válvula de admissão é aberta e a válvula de descarga é fechada, percebe-se isso na Figura 1.2. O volume admitido é o volume de admissão ou cilindrada parcial do motor, (VARELLA, 2016).

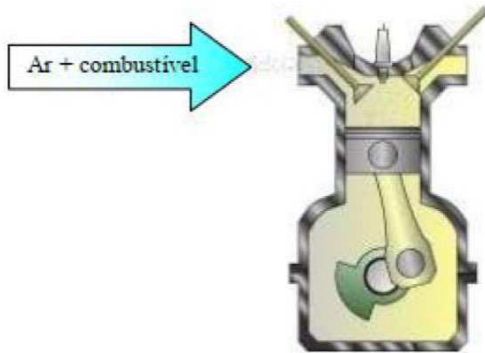


Figura 1.2 - Posição das válvulas no pistão na fase de admissão
(Adaptado de Varella, 2016)

Na compressão é o momento que o pistão comprime a mistura do ponto morto inferior para o ponto morto superior. Antes de chegar ao PMS, a vela de ignição dá início ao processo de combustão através de uma centelha elétrica, que provocará a explosão da mistura admitida através do coletor de admissão na fase anterior, trazendo consequentemente um aumento / elevação da pressão total na câmara de combustão.

Nesta fase as válvulas de admissão e exaustão estão fechadas, a Figura 1.3 ilustra exatamente o funcionamento de ambas as válvulas de admissão e descarga fechadas. (VARELLA, 2016).

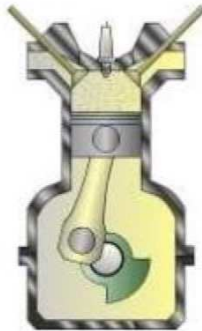


Figura 1.3 - Posição da válvula do pistão na fase de compressão
(Adaptado de Varella, 2016)

A expansão e a queima da mistura, ocorre uma elevação da pressão no cilindro, de maneira a promover o deslocamento do pistão para o ponto morto inferior, resultando na realização de trabalho. Nesse momento também as válvulas de admissão e descarga permanecem fechadas. Esse tempo de expansão é denominado de tempo motor.

O pistão se desloca do PMS para o PMI, ocorre a expansão, isto é, ocorre a combustão e a força produzida desloca o pistão realizando trabalho. Durante a expansão as válvulas de admissão e descarga estão fechadas ilustrada na Figura 1.4, (VARELLA, 2016).

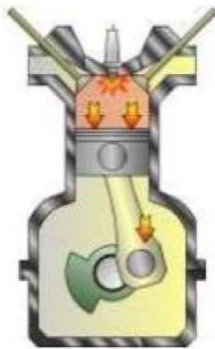


Figura 1.4 - Posição da válvula na terceira fase de expansão
(Adaptado de Varella, 2016)

A exaustão é um deslocamento do PMI ao PMS com a válvula de escapamento aberta, o pistão expulsa os gases queimados do cilindro para a atmosfera.

Entende-se que o cilindro se movimenta do ponto morto inferior para o ponto máximo superior. Nesta fase do ciclo ocorre a exaustão dos gases resultantes da mistura, onde estes são eliminados para a atmosfera através do sistema de descarga/exaustão. Durante esta fase a válvula de descarga está completamente aberta e a válvula de admissão do sistema está completamente fechada, conforme ilustrado na Figura 1.5.

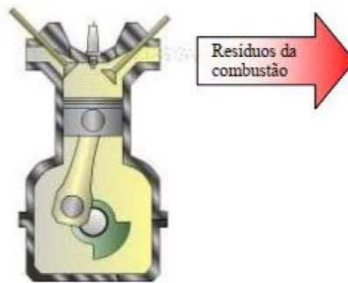


Figura 1.5 - Posição da válvula no estágio 4 na fase de descarga
(Adaptado de Varella, 2016)

A Figura 1.6 exemplifica o ciclo termodinâmico do motor ciclo otto, demonstrando de forma clara as 4 fases de operação do mesmo.

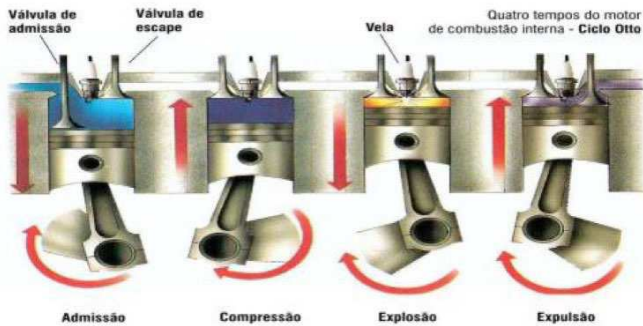


Figura 1.6 - Ciclo termodinâmico de um motor ciclo Otto
(Adaptado de Varella, 2016)

Ao chegar ao PMS - ponto morto superior - significa que o pistão atingiu o ponto mais alto dentro da câmara de combustão, é findado o ciclo atual e dado início a um novo ciclo de trabalho, com o pistão descendo até ao PMI – ponto morto inferior – onde este, atinge o ponto mais baixo dentro da câmara de combustão. Um motor de combustão moderno, aplicado em operações de alta performance pode chegar a 15.000 rotações por minuto. Já um motor para uso convencional, geralmente oscila como valores máximos entre 6000 a 7000 rpm.

2.2 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO POR CARBURADOR

O sistema de alimentação por carburador teve em seu início um funcionamento puramente mecânico, o qual foi recebendo atualizações com a implementação de componentes eletrônicos até ser totalmente substituído pelo sistema de injeção eletrônica, presente na quase totalidade dos veículos comercializados atualmente. No entanto, o sistema de alimentação por carburador ainda é utilizado em motocicletas e alguns veículos de competição, com alto desempenho.

O carburador, figura 1.10, componente principal do sistema de alimentação por carburador, tem a função de realizar a mistura do ar e do combustível, controlando a dosagem de combustível que é enviada ao motor, de acordo com seu nível de carga. A mistura do ar e do combustível é realizada no tubo de Venturi, onde o ar admitido é acelerado e arrasta o combustível contido em uma cuba. Uma borboleta de aceleração controla a quantidade de ar e combustível que é admitida no motor, aumentando ou diminuindo sua rotação e potência.

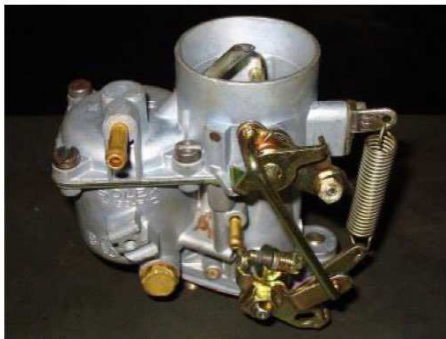


Figura 1.6 – Carburador utilizado nos VW Fuscas produzidos no ano de 1970
(Adaptado de Neto, 2016)

Os carburadores mais simples são, em geral, divididos em dois sistemas básicos: o sistema de marcha lenta e o sistema de marcha acelerada. No sistema de marcha lenta, figura 1.11, a borboleta de aceleração permanece quase totalmente fechada, permitindo apenas a passagem de ar para funcionamento do motor na menor rotação possível, (NETO 2016).

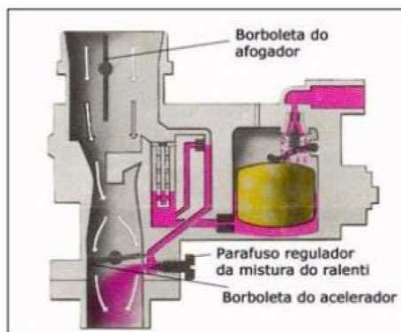


Figura 1.7 - Sistema de marcha lenta
(Adaptado de Neto, 2016)

Nesse caso, em carburadores de fluxo descendente, o combustível é injetado abaixo da borboleta de aceleração em pequenas quantidades devido à baixa depressão causada pelo ar, que não possui alta velocidade. A pequena quantidade de ar arrastado implica em uma mistura pobre em combustível. A quantidade de combustível injetado é regulada, além da depressão causada no tubo de Venturi, pelo orifício do parafuso de regulagem, denominado *gicleur*, (NETO, 2016).

Conforme Nystrom (1958), em seus estudos em Clewend, onde mostrou sobre o sistema Bosch de injeção de combustível. Este sistema era composto por componentes mecânicos. A quantidade de combustível que a bomba injetora fornecia para as válvulas injetoras era determinada por um controlador de acordo com a condição de operação do motor. Foram realizados ensaios dinamométricos em um motor V8 e mostrou que o motor com o sistema de injeção apresentava uma curva de torque melhor, com um torque máximo maior que com o motor carburado. Percebeu que o consumo específico foi menor com o sistema de injeção, ensaios de pista mostraram que teve uma melhora de 5 a 15% no consumo do combustível. Os objetivos principais dos sistemas de injeção visaram eliminar os problemas com carburador, fornecendo uma mistura ar-combustível ideal para todas as condições de operação do motor, além de exterminar problemas com a partida a frio e aquecimento, podendo assim obter uma maior economia de combustível. (NETO, 2016)

As vantagens do sistema de alimentação por injeção eletrônica são: apresenta melhor controle de dosagem de ar e combustível e principalmente menores índices de emissão de poluentes. A produção de veículos dotados de injeção eletrônica de combustível, no Brasil, se intensificou no início dos anos 90 devido às normas de emissão de poluentes que se tornaram

mais rigorosas naquela época. Nesse período, passou-se também a adotar catalisador no sistema de escapamento.

Para o melhor controle do motor, o sistema de alimentação por injeção eletrônica utiliza uma série de sensores e atuadores, controlados por uma central eletrônica que processa a informação oriunda dos sensores e comanda os atuadores de forma a obter a melhor mistura ar-combustível.

2.2.1 Emissão de Gases de Motor de Combustão Interna

Conforme Câmara (2006), um motor de combustão interna real não tem eficiência total para queimar completamente o combustível. Existem vários fatores que provocam a queima incompleta do combustível, são eles:

- Tempo reduzido para a reação entre o combustível e o oxigênio do ar;
- A mistura ar combustível não é formada perfeitamente, deixando locais com excesso de oxigênio e outros com falta, tornando a queima no interior da câmara de combustão heterogênea;
- O ar admitido contém outros elementos além do oxigênio (Nitrogênio e outros gases em menor proporção);
- O combustível não é puro;
- A chama tem contato com superfícies resfriadas no interior dos cilindros;
- A geometria da câmara de combustão não permite que todo o seu volume seja atingido pela frente de chama resultante da centelha da vela de ignição. Um exemplo são os pequenos espaços formados entre os pistões, anéis de segmento e cilindro;
- Variações de carga, rotação, temperatura do ar e do próprio motor provocam alterações na combustão, demandando o fornecimento de misturas fora da razão estequiométrica, (CÂMARA, 2006, p.27).

É notório que o modelo da câmara de combustão não atinge todo o seu volume, exemplo disso são os espaços entre os pistões, anéis de segmento e o próprio cilindro. Soma-se a isso o fato de o ar capturado do ambiente não ser completamente puro, tendo a presença de outras substâncias que reagem de forma diferente no momento da combustão, reduzindo assim consideravelmente a eficiência total da queima deste ciclo.

Idealizando o trabalho de uma máquina perfeita, onde esta executaria um trabalho teórico com rendimento a 100% - Idealizado nos Ciclos de Carnot - onde toda a mistura relacionada entre ar e combustível manteria uma proporção ideal fazendo com que estes possuam uma queima completa e consequentemente toda a energia produzida fosse transformada em trabalho.

Diante do pressuposto acima, os gases resultantes da queima tenderiam a ser ideais, fato é que o mesmo não ocorre na mistura real produzida por motores de combustão interna regidos

pelo Ciclo Otto. Onde os podemos citar a presença de gases como Monóxido de Carbono, Dióxido de Carbono, Água e outros tipos de Óxidos de Nitrogênio.

A mistura real proporciona uma queima não ideal, produzindo outros subprodutos, muitos dos quais tóxicos e com emissão restrita pelo PROCONVE – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores, (BRASIL, 2002).

Amaral (2000), afirma que pelo fato do Brasil utilizar combustíveis exclusivos (etanol hidratado e gasolina mais 20% de etanol anidro) são produzidos poluentes singulares. Os aldeídos, por exemplo, são considerados um poluente “típicamente brasileiro”, tendo seus limites máximos estabelecidos a partir de 1992. Abaixo cita sobre os gases não poluentes e os gases poluentes.

2.2.1.1 Gases não poluentes

Para Câmara (2016), os gases do descarga de um motor são formados por 99% de gases não poluentes, que em sua maioria não trazem problemas à saúde. São descritos abaixo:

Nitrogênio – parte integrante do ar que respiramos, não participa como fonte de energia na queima – 71%;
Vapor d’água – compõe cerca de 9% dos gases de descarga;
Dióxido de carbono (CO₂) – compõe cerca de 18% dos gases eliminados. Apesar de não ser considerado poluente, é um dos responsáveis pelo Efeito estufa, contribuindo de forma significativa para a elevação da temperatura global;
Oxigênio e gases inertes – cerca de 1% dos gases do escapamento. Corresponde ao oxigênio que não reagiu com o combustível durante a queima e os outros gases que compõe o ar atmosférico em reduzida quantidade, tais como argônio, hélio etc, (CÂMARA, 2016, p. 29).

2.2.1.2 Gases poluentes

Szwarcfiter (2004), os gases poluentes compõem apenas 1% dos gases ejetados, e proporcionam danos irreversíveis à saúde e ao meio ambiente, o que os torna indesejados e alvo de restrito controle pelas legislações ambientais ao redor do mundo, podem ser eles:

Monóxido de carbono, é inodoro e incolor, o CO é muito tóxico. Ao respirar esse gás com concentração de 0,3% em volume pode ocasionar a morte em minutos. O gás faz uma combinação com os glóbulos vermelhos do sangue, de maneira a impedir o transporte de oxigênio. A eficiência dos catalisadores e sistemas de gerenciamento de motores atuais elimina até 99% do CO emitido, (MARTINS, 2005).

Óxidos de Nitrogênio – representados genericamente por NO_x, são formados pela oxidação do Nitrogênio atmosférico, em temperaturas próximas a da combustão de combustíveis, e pela oxidação de compostos de Nitrogênio presentes no próprio combustível. Combinados com o vapor d'água na atmosfera, os NO_x podem formar o ácido nítrico. Esses elementos, além de nocivos à saúde, são fatores responsáveis pela formação de chuva ácida, (CÓNSUL, 2003).

Hidrocarbonetos – correspondem ao combustível não queimado, ou queimado parcialmente. Formam fuligem – aquela substância que escurece os tubos de descarga dos carros.

Compostos de enxofre – o enxofre, não totalmente eliminado na produção da gasolina, pode provocar a formação de compostos que, combinados ao vapor d'água, se transformam em ácidos sendo nocivos à saúde e danificando o escapamento e causando o envenenamento do catalisador, uma vez que os metais nobres desses são susceptíveis a reações com compostos de enxofre que podem causar a desativação dos catalisadores, (ZOTIN, 1999).

Aldeídos (CHO) – são voláteis cancerígenos e provocam irritações nas vias respiratórias. São especialmente gerados através da queima do álcool puro (etanol) ou do álcool anidro presente à gasolina. Os veículos que rodam com gasolol (Gasolina com álcool) emitem álcool não queimado, especialmente quando frios. Os veículos automotores leves são responsáveis por grande parte das emissões de aldeídos presentes na atmosfera urbana, uma vez que emitem aldeídos primários pelo gás de descarga, além de óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos, que são formadores de aldeídos secundários, (AMARAL, 2000).

2.2.2 Eficiência de Motores de Combustão Interna

De acordo com Carvalho (2011), desde a concepção dos primeiros projetos e protótipos de MCI já havia a preocupação com a eficiência. Heywood (1988) exemplifica através de um dos primeiros trabalhos sobre motores de combustão, cuja autoria foi atribuída a Beau das Rochas em 1862, onde o inventor descrevia as condições em que a máxima eficiência dos motores de combustão interna poderia ser alcançada. São pontos destacados no trabalho de Rochas em que a eficiência do motor pode ser maximizada:

- a) O maior volume possível do cilindro, porém, com as menores superfícies de fronteiras;
- b) A maior velocidade de trabalho possível;
- c) A maior taxa de expansão possível;

d) A maior pressão possível no começo do tempo de expansão.

Para se ter um motor de combustão interna eficiente não é só uma necessidade de economia e tecnologia, mas também garantir a sustentabilidade do meio ambiente. Portanto dessa forma, na maioria dos países os índices de emissões veiculares são regulamentados, exigindo que os fabricantes de veículos cumpram os limites normatizados para obterem o direito de comercializar os veículos, (CARVALHO, 2011).

Diante disso, levando-se em consideração a questão ambiental, a produção por motores de combustão interna mais econômicos e que causem menos poluição tem sido alvo de estudos e pesquisas para tal problema. Percebe-se que várias tecnologias têm sido utilizadas na melhoria do desempenho e eficiência de motores na otimização da combustão em vários regimes de trabalho do motor.

Outro ponto para a melhoria da eficiência em MCI é a diminuição dos atritos do sistema. As perdas devidas aos atritos afetam diretamente a máxima potência do motor e o consumo de combustível. O autor afirma que o que diferencia um bom projeto de motor de um projeto “razoável” é a diferença entre as perdas por atritos, (CARVALHO, 2011).

Podem ser considerados como trabalho de atrito toda a diferença entre o trabalho do fluido motor nos cilindros (compressão e expansão) e o trabalho entregue no virabrequim. Como exemplos, estão os atritos devidos a efeitos de bombeamento, atritos entre os diversos componentes do sistema e atritos devidos aos acessórios que são acoplados no motor, (CARVALHO, 2011).

O melhor aproveitamento do combustível está associado ao melhor desempenho e menor consumo. Assim essa maior eficiência também proporciona menores quantidades de emissões de gases que são prejudiciais a vida e ao meio ambiente.

O rendimento do motor pode ser visto como um produto de vários outros rendimentos, que mostram o resultado específico a cada parâmetro, tais como as perdas por atritos, a eficiência do enchimento dos cilindros por ar, a eficiência da combustão, etc. (CARVALHO, 2011).

2.3 GERENCIAMENTO ELETRÔNICO

2.3.1 Controle Eletrônico dos Motores

Para gerenciamento total de um motor a combustão, faz-se necessário a utilização de diversos sistemas para informação e controle. Podemos citar como vital e mais importante o

sistema de injeção de combustível. Sendo este o responsável por controlar e a quantidade ideal de combustível inserida no coletor de admissão, levando-se em consideração as mais variadas condições de trabalho do motor. Podemos citar também os sistemas de medição de ar na fase de admissão, compreendidos pelos sensores de massa de ar, temperatura do ar, o sistema de pressão de ar no coletor. Em se tratando do sistema de ignição, podemos citar como principais os sistemas de leitura da rotação do motor, bobinas, cabos e velas de ignição, sendo que estes variam de acordo com o projeto estipulado pelo fabricante. A unidade de controle permite que estes sistemas atuem de forma integrada, garantindo assim o perfeito funcionamento do motor, permitindo que este possa funcionar de modo a obter o seu rendimento máximo. Garantindo melhor consumo de combustível, menor emissão de poluentes, com máxima capacidade de geração de energia aos sistemas de transmissão. (MILHOR, 2002).

Para que todos estes sistemas pudessem conversar e interagir entre si, exigiu-se um grande desenvolvimento por parte dos sistemas eletrônicos responsáveis por gerenciar, calcular e informar qual a melhor estratégia de trabalho para aquela condição específica.

Para que o sistema de controle possa gerenciar o funcionamento do motor, é necessário que a UCE receba sinais de sensores indicando a condição de funcionamento em um dado momento. Esses sinais são processados, pela UCE, e então, sinais de comando são enviados para os atuadores de forma que o motor opere de acordo com o mapeamento.

2.3.2 Injeção Eletrônica de Combustível

A ECU responsável por controlar todo o sistema de injeção de combustível, tem como objetivo efetuar o correto balanceamento entre a quantidade de combustível injetada x as condições de operação do motor (temperatura, carga, pressão) x a quantidade de massa de ar admitida através da abertura da borboleta de aceleração. Após correlacionar estes valores a central interpreta a melhor condição e limita a quantidade de combustível injetada através do controle do tempo de abertura do bico injetor - válvula eletromagnética injetora de combustível - (VEIC), (MILHOR, 2002).

Silva define sobre a injeção eletrônica como:

A injeção eletrônica veicular é um sistema que monitora e controla o funcionamento do motor através da entrada e saída de dados, com a função de proporcionar a mistura ideal de ar e combustível no motor em qualquer regime de funcionamento. Todos os dados importantes são captados por sensores eletrônicos e enviados para uma unidade central de comando (ECU) onde são comparados aos dados de calibração do veículo previamente estabelecidos. A partir desses dados, essa mesma unidade central

comanda os atuadores que irão corrigir os parâmetros de injeção, se necessário. (SILVA, 2019, p.06).

O sistema de injeção pode ser dividido em dois subsistemas, o subsistema de combustível e o subsistema de ar. O subsistema de combustível é responsável por enviar combustível sobre pressão em todas as faixas de operação e funcionamento do motor. O combustível é pressurizado por uma bomba de combustível geralmente localizada dentro do tanque de combustível, o combustível passa pelo filtro de combustível e é levado através de tubulação até o tubo distribuidor, ou flauta como é conhecida popularmente. Os bicos injetores são fixados na flauta e no coletor de admissão onde injetam o combustível. O sistema deve manter uma pressão estável, por isso funciona com mais combustível do que é usado para evitar 27 oscilações na pressão, sendo necessário um regulador de pressão e um sistema de retorno de combustível, (BRUNETTI, 2012).

Os sistemas de injeção podem ser classificados de acordo com: Tipo de central de processamento, podendo ser analógica ou digital; Quantidade de válvulas injetoras, podendo ser monoponto ou multiponto; Tipo de injeção, podendo ser intermitente, banco a banco ou sequencial; Controle de mistura ar/combustível, podendo ser malha aberta ou fechada, (BRUNETTI, 2012).

Com a evolução da eletrônica digital tornou-se possível a utilização de estratégias mais complexas e eficientes para o controle do motor. Na injeção eletrônica digital, temos injeção multiponto, central eletrônica com processadores mais velozes e memória, sendo que os parâmetros de funcionamento do motor são software, ou seja, não são físicos, o que possibilita o uso de uma mesma central de processamento em vários veículos, sendo alterado somente os softwares, reduzindo assim o custo. Na injeção digital o controle de sensor de oxigênio (lambda) é através de malha fechada possibilitando assim um melhor controle da mistura e a utilização de mais de um combustível. Os sistemas digitais também possuem sistema de diagnose embarcada (OBDII) que identifica falhas no sistema, armazena na memória as falhas e são indicadas através da luz LIM (Lâmpada indicadora de Mau Funcionamento) no painel. A ignição também é controlada pela central eletrônica que pode variar sem a necessidade de partes mecânicas, (BRUNETTI, 2012).

➤ Válvulas Eletromagnéticas Injetoras de Combustível (Veic)

As válvulas eletromagnéticas injetoras de combustível são dispositivos dosadores de combustível. Além deste tipo de atuador, outros componentes podem ser utilizados para esta

função como carburador convencional e eletrônico, válvulas injetoras mecânicas, válvulas piezoelétricas, entre outros. As VEICs se tornaram o dispositivo mais utilizado, dentre os outros tipos de válvulas, devido às vantagens relacionadas à confiabilidade e ao custo. (PASSARINI, 1993, p. 1.38)

O método de operação de uma válvula eletromagnética injetora de combustível se baseia na atuação de uma válvula solenoide, onde o seu funcionamento é regulado através de pulsos elétricos enviados pela central. Os detalhes construtivos de uma VEIC típica podem ser observados na figura 1.7.

1 Pino, 2 Agulha da válvula, 3 Armadura, 4 Mola de retorno, 5 Bobina indutora, 6 Conector elétrico, 7 Filtro de combustível.

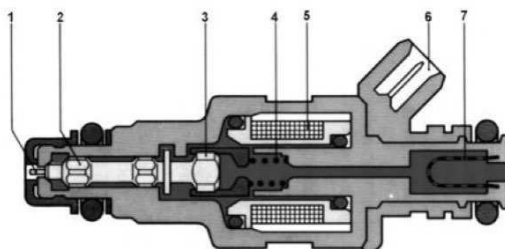


Figura 1.8 - Ilustração de uma válvula eletromagnética injetora de combustível (Adaptado de Bosch, 1988)

Durante o estado de repouso, não há passagem de corrente pela bobina, não havendo portanto força eletromagnética, e desta forma, a mola de retorno pressiona o conjunto válvula-armadura contra o assento, não permitindo a passagem do combustível. Com a excitação pelo circuito de potência, a bobina é energizada deslocando o conjunto válvula-armadura no sentido de fechar o circuito magnético (deslocamento contrário à ação da mola) devido à f.e.m. gerada, abrindo a passagem para o combustível fluir, (BOSCH, 1988; PASSARINI 1993).

Segundo RIBBENS e MANSOUR (1993), através dos sinais obtidos pelos mais diferentes sensores instalados para coleta de dados nos motores, a ECU identifica a melhor estratégia de funcionamento para a manutenção da operação deste, efetuando cálculos extremamente rápidos e impondo modos de controle para as mais diversas condições de funcionamento.

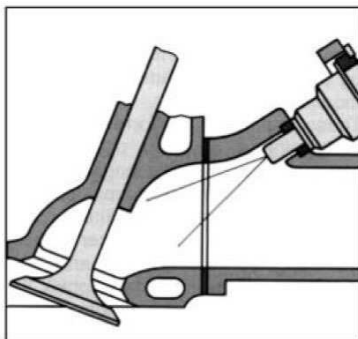


Figura 1.9 - Posição de válvulas injetoras em um sistema com injeção indireta multiponto (Adaptado de Bosch, 1995)

Para sistemas designados como Monoponto, onde: A válvula injetora é instalada próximo ao corpo da borboleta de aceleração. Desta forma, utiliza-se um único bico injetor, fazendo com que o combustível seja pulverizado e carregado através do coletor de admissão.

Nos sistemas designados como Multiponto, é utilizado uma válvula injetora para cada número de cilindros, onde estes são responsáveis por alimentar exatamente a quantidade necessária para cada cilindro. (MILHOR, 2002).

(BOSCH, 1998, p. 40): Para sistemas com injeção individual, estas podem ser classificadas como; Injeção simultânea, onde as válvulas injetoras são acionadas duas vezes a cada ciclo; Injeção em Grupo, onde cada grupo de válvulas é responsável por injetar uma vez a cada ciclo, sendo que em motores com mais de 1 cilindro, o acionamento ocorre a cada volta da árvore de manivelas. Este método permite um melhor controle dos tempos de injeção de combustível, tendo em vista que existe um controle individual para cada cilindro, porém ainda limitado ao ciclo do virabrequim. (MILHOR, 2002).

Atualmente, o tipo de injeção mais utilizado consiste no método sequencial, onde é possível um maior grau de liberdade entre os ciclos e os cilindros, pode-se efetuar injeções de combustível livremente, até mesmo com o pistão indo do PMS para o PMI após a fase de explosão.

Todas estas estratégias dependem do tipo de projeto concebido pelo fabricante, onde cada um desenvolve o motor com o tipo de injeção ou ignição adequada ao meio de utilização do motor, devendo-se considerar também o fator custo. Sistemas com grande capacidade de processamento tem custo mais elevado.

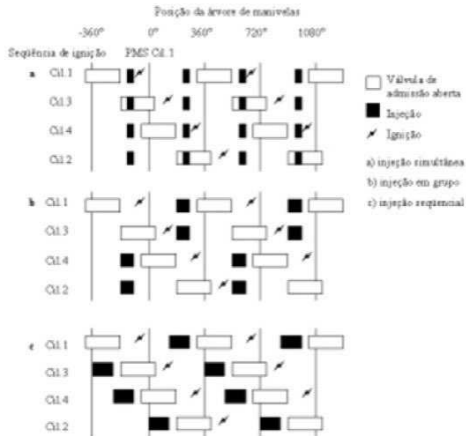


Figura 1.10 - Comparação entre os tipos de injeção
(Adaptado de Bosch, 1995)

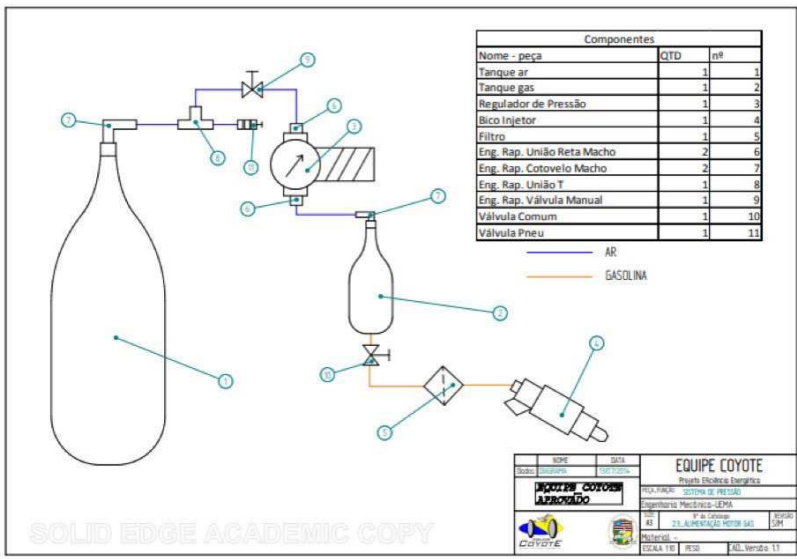


Figura 1.11 – Sistema de Injeção
(Adaptado de autor, 2021)

2.3.3 Roda Fônica

A medida que o eixo da árvore de manivelas se movimenta é necessário que este processo seja mapeado pela ECU, de modo que esta possa identificar em qual fase do ciclo de operação está cada cilindro. É sabido que cada volta do eixo virabrequim possui 360° , sendo que um ciclo completo compreende duas voltas do eixo, totalizando 720° . (BRUNETTI, 2012).

De modo que seja possível controlar e mapear estes ciclos, se faz necessário a utilização de roda fônica, existem os mais variados tipos sendo mais comum a utilização do modelo 60-2. Onde a engrenagem, possui 60 dentes – 2 dentes, que servem como ponto de referência para a unidade de controle. O número de dentes é divisível pela posição angular do motor, sendo assim, para uma roda fônica de 60-2 dentes, cada dente representa 6° de deslocamento angular do virabrequim. (BRUNETTI, 2012).

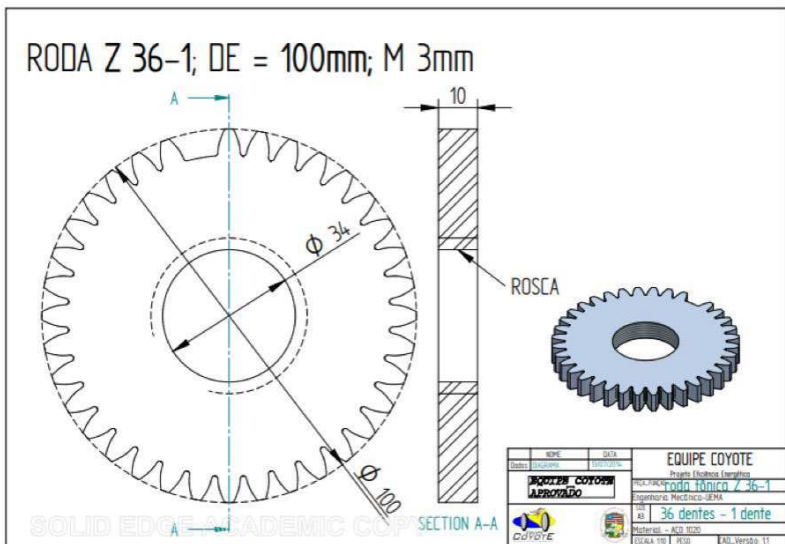


Figura 1.11 – Roda Fônica - Projeto Equipe Coyote
(Adaptado de autor, 2021)

2.3.4 Sistema de Ignição

Em paralelo ao sistema de injeção de combustível, atua o sistema de ignição eletrônica tendo papel semelhante para a perfeita operação do conjunto, pode-se citar como componentes as velas de ignição, cabos e bobinas.

A bobina de ignição tem como função fornecer tensão adequada através dos cabos para a vela de ignição. Através deste processo é gerado a centelha responsável por dar início ao processo de queima na câmara de combustão do motor. (MILHOR, 2002).

Para tal, a bobina recebe o comando da ECU através de um sinal elétrico, sendo que esta é permanentemente alimentada pela bateria, fazendo com que ocorra transformação de energia de baixa tensão para energia de alta tensão, isto ocorre através do princípio de indução eletromagnética.

O princípio da indução magnética ocorre através de dois circuitos elétricos, um circuito primário e outro secundário. No primário, a corrente chega na forma de baixa tensão e alta corrente, a variação de corrente no primário gera uma excitação no fluxo magnético da bobina, gerando assim alta tensão enviada diretamente as velas.

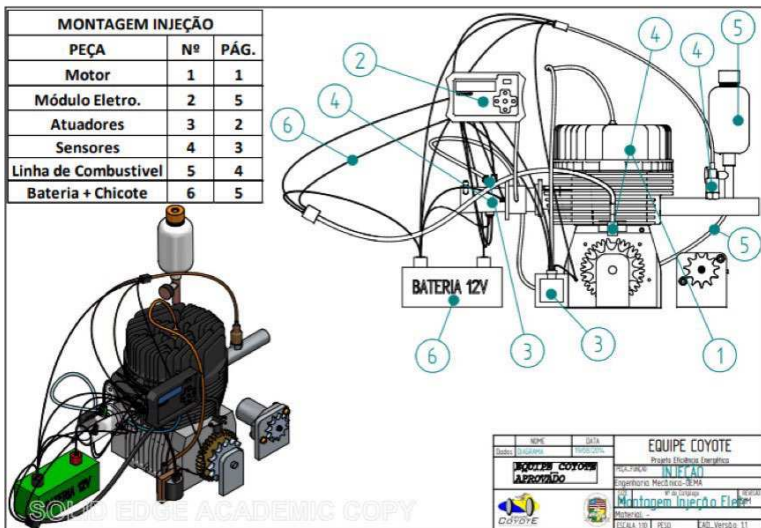


Figura 1.12 – Sistema de Injeção/Ignição – Projeto Equipe Coyote (Adaptado de autor, 2021)

3 DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL.

3.1.1 ANÁLISE E IMPLEMENTAÇÃO

O material objeto deste trabalho é responsável pela propulsão do Protótipo EC-05 da Equipe Coyote de Eficiência Energética, projeto de eficiência energética da UEMA – Universidade Estadual do Maranhão. Consiste em um motor de Tipo TPS3 tendo como características construtiva a concepção monocilíndrica, 4 tempos, OHC (Over Head Camshaft) – possui o comando de válvulas no bloco do motor – tendo como potência líquida máxima 1,4 CV a 7000rpm.

O mesmo possui originalmente 35,8 cm³ com partida retrátil e sistema de lubrificação por salpico, utilizando exatamente 100ml de lubrificante 0w30. O eixo de manivelas principal do motor transfere a potência gerada através de um sistema de embreagem centrifuga, promovendo o acoplamento através de mola à medida que se aumenta a rotação do motor.

Potência essa que chega até as rodas por meio de um sistema de transmissão CVT – Fabricante Wildfire – este sistema utiliza correia de deslizamento do tipo em V, com relação de transmissão 7:1. Tendo a polia principal com diâmetro de 77mm. É um sistema simples e robusto capaz de conferir boa performance de partida e velocidade de cruzeiro com baixa rotação. A figura 1.12 mostra sobre um exemplo de transmissão utilizado no estudo.



Figura 1.7 - Exemplo de motor

Originalmente, este motor é alimentado por carburador do tipo diafragma, isso significa que a medida que o motor ganha rotação o mesmo gera maior vácuo e isto faz com que o diafragma se movimente e forneça maior abertura a agulha, componente responsável pela passagem do combustível ao sistema de giclê principal, na tabela 1.1 tem-se informações sobre o motor.

Tabela 1.1 - Informações do motor tipo TPS3
 Fonte: Manual do Proprietário

Tipo	TPS3
Características	4 Tempos / OHC / Monocilíndrico
Potência líquida/rotação **	1,4 CV / 7000 rpm
Cilindrada	35,8 cm ³
Sistema de Partida	Manual (retrátil)
Capacidade do Tanque Combustível	630 ml
Sistema de lubrificação ***	Por salpico
Capacidade de óleo do Cârtter	100 ml
Alerta de Óleo	Não
Dimensões CxLxA	205x234x240 mm
Peso seco	3,46 Kg
Eixo	-
Carburador	Diagrama
Consumo de Combustível	0,71 l/h
Filtro de Ar	Espuma
Acessórios	-

** Conforme Norma SAE J1349

*** Óleo Honda SAE 10W-30 SJ JASO MA

Devido ao objetivo deste trabalho vários sistemas e componentes deste equipamento foram alterados, visando garantir melhor performance e consumo de combustível ao protótipo da Equipe Coyote. Diante da necessidade, foi feito o completo sensoriamento do funcionamento do motor, com a inclusão de sensores do tipo MAP, IAT, TPS, Sensor de Rotação, Roda Fônica, Sensor de Temperatura do Óleo, Sonda Lambda, Injetor Eletrônico de Combustível e um módulo de Injeção Pando Fuel Inject, mostrado na figura 1.13.



Figura 1.8 - Controlador da ECU
 (Adaptado de Manual do proprietário, 2021)

Historicamente, este motor é altamente utilizado por outras equipes em projetos semelhantes buscando alto rendimento energético nas mais variadas competições em que a equipe participa. Entretanto, a quantidade e qualidade de informação técnica disponível para os trabalhos de evolução e melhoria é limitada. Sendo necessário o estudo dedicado e minucioso de cada componente para evolução.

Segundo o manual do proprietário, originalmente este motor tem consumo médio de 0,71 litros por hora (l/h) a sua rotação mínima de $\cong 2000$ rpm e considerando um funcionamento sem carga. Abaixo na tabela 1.2 os componentes utilizados no projeto e suas respectivas descrições.

Tabela 1.2 - Informações dos componentes usados no projeto
(Adaptado de autor, 2021)

Item	Descrição
Motor de Combustão Interna	Honda GX-35 (TPS3)
ECU	Pandoo Fuel Inject
Sensor IAT	6700 - Sensor Híbrido MTE-THOMSON
Sensor TPS	6701 - Sensor Híbrido MTE-THOMSON
Sensor MAP	6702 - Sensor Híbrido MTE-THOMSON
Sensor de Rotação	Indutivo 70333 - MTE-THOMSON
Roda Fônica	VW 03113173
Sensor de Temperatura	HONDA 37750-KPH-701
Sonda Lambda	NTK ZD0102-HG002
Bico Injetor	HONDA 16450-K03-H11
Corpo de Injeção	HONDA 16400-K62-B01
Coxins de Fixação	Borracha de Radiador
Sistema de Exaustão	Tubo de 3/8" Aço Carbono 1020
Tanque de Combustível	Padrão Shell Eco-Marathon 250 ml
Mangueiras	Transparente Silicone 6 mm
Regulador de Pressão	Regulador de Pressão 3 bar 0 a 150 kg/cm ³
Fios elétricos	1 mm
Condutes elétricos	3 metros Antichamas
Bateria	12 Volts
Fusíveis	10A / 20A
Relê	40A

Após definidos os materiais a serem utilizados no projeto, iniciou-se a campanha de montagem dos mesmos, de modo que fosse possível testar o conjunto em bancada antes de utilizá-lo em definitivo no projeto. O esquemático dos componentes pode ser exemplificado na imagem abaixo, a figura 1.14 representa o esquema dos componentes mecânicos, figura 1.15

representa a ligação de força dos injetores (Conector A) e a figura 1.16 conector B) representa as ligações dos sensores.

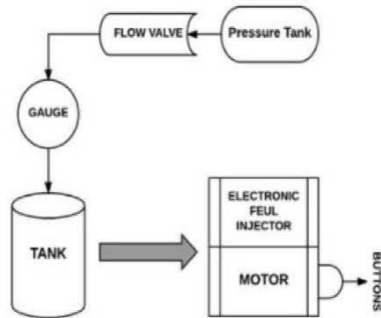


Figura 1.9 - Esquema dos componentes mecânicos
(Adaptado do autor, 2021)

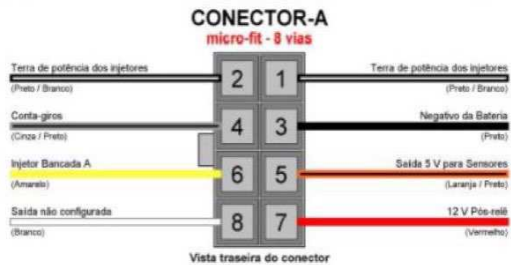


Figura 1.10 - Ligação de força do injetores (Conector A)
(Adaptado do autor, 2021)

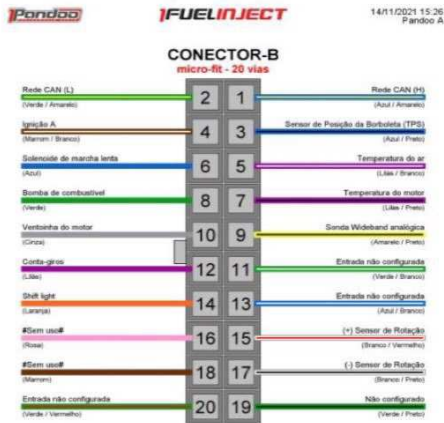


Figura 1.11 - Representa as ligações dos sensores
(Adaptado do autor, 2021)

Para a etapa de montagem em bancada, foram identificados alguns contratempos, sendo necessário o desenvolvimento de um coletor de admissão por parte do time de projeto da Equipe Coyote, visando ser possível a ligação entre o corpo de injeção com diâmetro de 32mm e a entrada do motor que possui um diâmetro de 17mm, mostrado na figura 1.17.

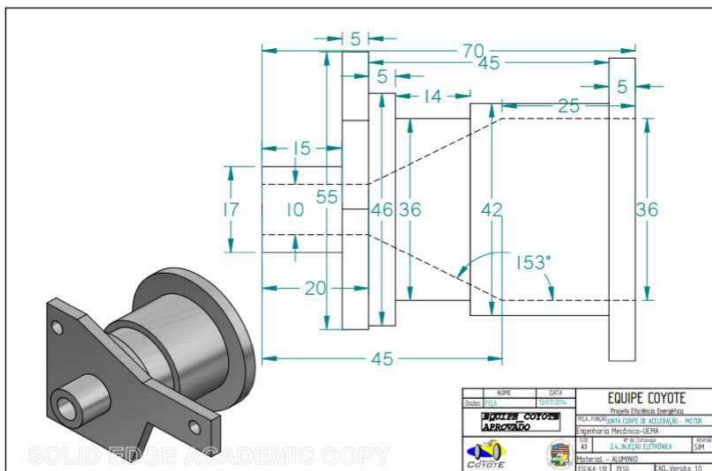


Figura 1.12 – Coletor de Admissão - Equipe Coyote
(Adaptado do autor, 2021)

Após as etapas de montagem, obteve-se o seguinte resultado na figura 1.18:



Figura 1.13 - Resultados da montagem do sistema
(Adaptado do autor, 2021)

3.1.1.1 Avaliação do Desempenho

Naturalmente, como o nome sugere, a avaliação do desempenho deveria seguir regida por uma norma onde fosse possível atestar e comparar os resultados. Anteriormente, foi citado que a quantidade de documentos técnicos e padrões para este trabalho é escassa, tendo como único dado disponível o consumo de 0,71 l/h informado pelo fabricante, decidiu-se num primeiro momento repetir o mesmo teste aplicado pelo fabricante.

Nesta etapa, somente haviam sido montados os componentes mecânicos e elétricos no motor, o mínimo de modo que isto garantisse o seu funcionamento básico. Ainda sem nenhum tipo de acerto fino por parte do software de injeção. Apenas com o mapa inicial formulado, conforme figura 1.19 abaixo:

Configurações do módulo

Configurações iniciais

Modo de operação	Aspirado MAP	Leitura rotação	Roda fônica
Número de Cilindros	1	Roda fônica	60-2
Edição dos Mapas	Simples	Dente de sincronismo	15
Limite mapa (MAP)	0,00 bar	Sensor de rotação	Indutivo - Subida
Limite mapa (RPM)	6000 rpm	Modo de ignição	Centelha perdida
Marcha lenta por	TPS	Tipo de bobina	Individual por cilindro
Marcha lenta TPS abaixo de	1 %	Deteção de fase por	Pulso simples
Marcha lenta abaixo de	1500 rpm	Sincronismo de fase	Antes PMS #1
Modo de injeção Bancada A	Normal	Pulsos de fase antes PMS #1	1
Bancada A utiliza	1 saída(s) de injetor(es)	Sensor fase	Hall - Subida
Bancada B utilizada?	Não	Aguardar sinal de fase?	Não
Deadtime	0,50 ms	Múltiplas centelhas?	Não
		Módulo de ignição	Bobina ignição interna
		Ordem de ignição	Não configurada
		Motor frio	20 °C
		Motor quente	80 °C

Figura 1.14 - Dados do software
(Adaptado do autor, 2021)

Para esta análise, foi simulado a condição do protótipo em repouso e quantidade de 250 ml de combustível em tanque, rotação de ponto-morto por volta de 2000rpm. A partir da primeira partida e estabilização do motor, começa a se contar o tempo de modo que seja possível obter uma comparação do consumo. Existem vários fatores que afetam o consumo de combustível e um deles é a temperatura do motor no estágio inicial de funcionamento, o 1° teste não obteve resultados tão satisfatórios.

Os testes subsequentes já com o motor em temperatura ideal de funcionamento apresentaram ligeira melhora, entretanto ainda seguiam acima dos valores informados pelo fabricante. Demonstrando assim uma piora em relação aos valores de consumo nominal na tabela 1.3.

Tabela 1.3 - Informações sobre sequência e resultados dos testes
(Adaptado do autor, 2021)

Sequencia	Resultados
1° teste	0,80 l/h
2° teste	0,78 l/h
3° teste	0,78 l/h

Diante dos resultados prévios obtidos, deu-se início a etapa de configuração básica da ECU. Ponto fundamental para a obtenção de sucesso do projeto, pois a partir desta etapa é

encontrado o ponto básico para as configurações de Rotação Máxima, Rotação Mínima Ponto de Eficiência do Motor, Correções pela Leitura da Sonda Lambda, Correções pelo ângulo de abertura medido pelo Sensor TPS, Correções pela temperatura do Ar admitido, correções por tensão de Bateria.

Um dos pontos de maior dificuldade é calcular corretamente o tempo de abertura do eletro injetor, isto conseqüentemente tem influência direta na eficiência do mesmo, tendo em vista que quanto maior a quantidade de combustível injetada não necessariamente se traduzirá em maior performance e quanto menor a quantidade injetada maior será a temperatura gerada na câmara de combustão. Devendo-se encontrar o ponto ótimo de modo que seja possível obter todas as boas características de funcionamento desejadas.

Tal cálculo, pode ser efetuado através da fórmula abaixo:

$$Vazão\ Injetores = \frac{Potência * BSFC * Combustível}{N(injet) * Aproveitamento}$$

Onde:

- Vazão dos Injetores = Vazão do Injetor Utilizado
- Potencia = Potencia estimada do Motor
- BSFC = Sigla para Consumo Específico de Combustível. Em motores aspirados utiliza-se o valor de 0,5 e turbo alimentados o valor de 0,6.
- Combustível = Combustível utilizado, em motores alimentados por gasolina utiliza-se o valor de 1, para álcool 1,4 e para metanol 2,1
- N(injet) = Número de Injetores utilizados
- Aproveitamento = Utiliza-se no máximo 0,8 ou 80%

Fazendo uso da fórmula é possível dimensionar o eletro injetor a ser utilizado.

$$Vazão\ Injetores = \frac{2 * 0,5 * 1}{1 * 0,8} \cong 1,25\ lb/h$$

Isto significa que os injetores selecionados para o projeto atendem perfeitamente, tendo estes uma vazão máxima de 8 lb/h. A figura 1.20 mostra o injetor honda 16450-K03-H11.



Figura 1.15 - Injetor Honda 16450-K03-H11
(Adaptado De Catálogo de Peças Honda, 2021)

Partindo-se do pressuposto do triângulo de fogo, onde é necessário que tenhamos 3 elementos básicos para que haja uma combustão, sendo estes o combustível (que fornece a energia necessária para a queima), o Ar (na forma de comburente reage na mistura com o combustível) e o calor (necessário para iniciar a reação entre ar e combustível) aqui representado pela vela de ignição.

O tempo de abertura do eletro injetor é cuidadosamente calculado e alinhado com a quantidade de ar admitida pelo motor através da abertura do corpo de borboleta e medido através do sensor TPS e MAF – buscando relacionar a quantidade de massa de ar admitida no sistema, para motores alimentados a gasolina estima-se 10 partes de massa de ar para 1 parte de combustível.

O eletro injetor deve abrir através de pulsos elétricos emitidos pela ECU exatamente na fase de admissão do motor, variando em poucos graus à medida que se ajusta a estratégia de acerto do motor. Para este trabalho, foi utilizado a estratégia de correção do tempo de abertura do injetor através do ângulo de abertura da borboleta de admissão.

A cada % de abertura da borboleta de admissão é controlado o tempo de injeção em milissegundos, tendo como resultado a figura 1.21 base abaixo:

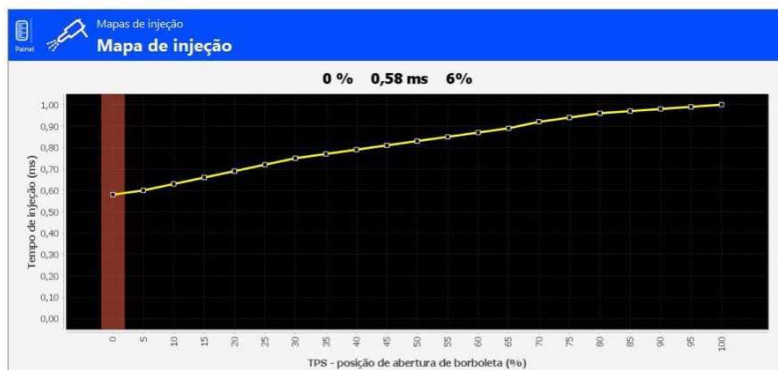


Figura 1.16 - Mapa de injeção
(Adaptado De Catálogo de Peças Honda, 2021)

Tendo como base uma máquina perfeita, o mapa de injeção acima seria exatamente proporcional a quantidade de Ar admitida, com 50% da abertura da borboleta, teríamos mais 50% de combustível sendo admitido na mistura em relação a fase inicial a 0%. Ocorrendo o mesmo para os valores de 100% de TPS. Devido ao foco deste trabalho ser voltado ao consumo combustível e ao corpo de borboleta ser de diâmetro maior que o diâmetro original do motor a carburado, limitou-se em 60% o curso máximo de abertura do acelerador. Não havendo prejuízo de performance, pois este valor entrega a quantidade máxima de massa de ar admitida pelo motor em condições de aspiração natural via carburador.

De acordo com Câmara (2006), a quantidade de mistura admitida pelo cilindro varia de acordo com a rotação, este princípio rege a eficiência volumétrica, haja visto que a mistura leva um tempo para ir do coletor de admissão e preencher todo o espaço da câmara de combustão na fase de admissão e descida do cilindro. Nesta etapa é criado um vácuo que succiona a mistura, entretanto, em velocidades mais altas a velocidade de admissão da mistura não consegue preencher por completo o volume total da câmara.

O limite máximo de preenchimento da câmara casa com a rotação de torque máximo, em rotações superiores à de torque máximo o motor começa a perder eficácia, sendo necessário a utilização de correções do tempo injeção x rotação, conforme a figura 1.22 abaixo:

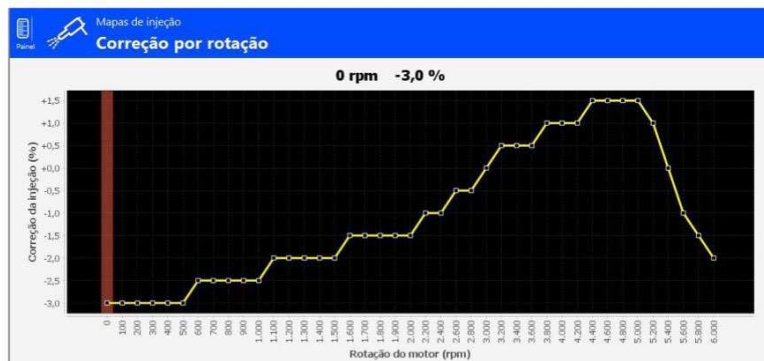


Figura 1.17 - Correção por rotação
(Adaptado do autor, 2021)

Tendo como referenciais o tempo de injeção, a rotação do motor e % de abertura do corpo de borboleta foi possível gerar o gráfico, mostrado na figura 1.23 em 3D através do software de controle da Injeção Programável.

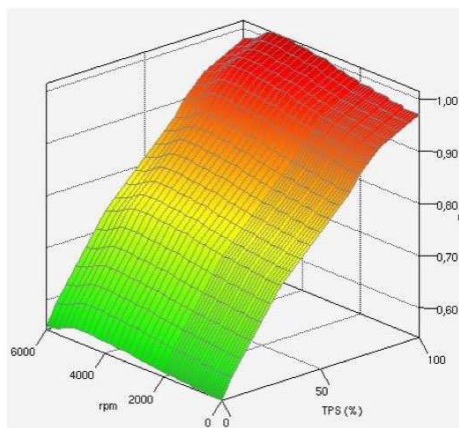


Figura 1.18 - Gráfico em 3D do software
(Adaptado do autor, 2021)

Visando adquirir conhecimento e produzir um trabalho confiável, num primeiro momento não foram utilizadas correções por ponto de ignição, sendo a mesma alimentada através do

sistema de magneto transistorizado fornecido originalmente com o motor. Diante disso, os ajustes de correções por ignição foram zerados como mostra a figura 1.24.

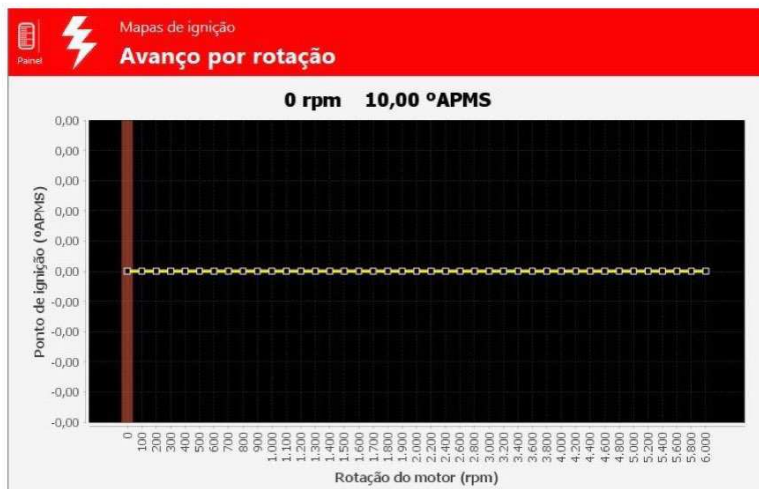


Figura 1.19 - Mapas de ignição
(Adaptado do autor, 2021)

Dessa forma, é finalizada a etapa de acerto da injeção eletrônica, sendo iniciado a 2ª etapa de testes a fim de validarmos as informações adicionadas ao software de gerenciamento da ECU.

Nesta etapa de teste optamos por iniciar as medições após o motor estar com temperatura de funcionamento acima de 80° C. Para tal, o motor foi ligado antes em marcha lenta e após isso foi adicionado combustível até a marca de 250 ml. Tendo obtido resultados satisfatórios na tabela 1.4.

Tabela 1.4 - Resultados satisfatórios
(Adaptado do autor, 2021)

Sequencia	Resultados
1° teste	0,50 l/h
2° teste	0,49 l/h
3° teste	0,50 l/h

Vale ressaltar que os valores que os valores informados acima correspondem a condição de utilização do motor sem carga, entretanto, estes servem como base para a etapa de acerto do motor com carga e condição de rotação do protótipo.

Para tal, foram aplicadas técnicas de modo a obter um melhor rendimento energético em conjunto com menores rotações do motor e uma ligeira melhora dos valores de potência e torque. Os resultados alcançados em bancada demonstram que o sistema de gerenciamento eletrônico do motor, assim como a utilização dos sensores em conjunto são plenamente capazes de oferecer maior rendimento aliado a confiabilidade de utilização.

Entretanto, se fazia necessário utilizar o motor em aplicação real de funcionamento, com peso, carga de aceleração, diferentes regimes de rotação e as mais variadas condições climáticas, tendo em vista que este iria ser utilizado num dia quente em São Luís/MA com temperaturas por volta dos 33°C e logo após seria utilizado em competição na cidade do Rio de Janeiro/RJ com temperatura média de 24°C no mês de outubro.

Para efeito de comparação, só esse dado referente a temperatura já influencia como um todo no trabalho de acerto do motor, pois quanto menor a temperatura do ar melhor será o rendimento energético do motor. Tendo em vista que maior quantidade de massa de ar será absorvida na câmara de combustão.

Diante do citado acima, nos dias que antecederam a competição, foi efetuado na cidade do Rio de Janeiro/RJ o acerto final para utilização durante a competição. Os dados referentes aos valores de configuração, mapas de correção e injeção de combustível são de propriedade intelectual da Equipe Coyote e fazem parte da estratégia de melhoria continua do motor utilizado.

Cabe ressaltar, que a competição nos permite a desativação do motor em períodos onde o protótipo permaneça em movimento, gerando assim maior economia. Segue na tabela abaixo os valores obtidos na campanha de competição:

Tabela 1.5 - Resultados competição
(Adaptado do autor, 2021)

Seqüência	Desejado	Estipulado	Final Obtido*
1º dia	0,25 l/h	0,50 l/h	0,50 l/h
2º dia	0,25 l/h	0,40 l/h	0,50 l/h
3º dia	0,25 l/h	0,40 l/h	0,50 l/h



Shell Eco-marathon Brazil 2017
Final results

Rank	Team name	Country	Organization	Institution type	Competition category	Energy type	Technical Inspection Status	Best attempt Run(s)	Attempt 1 Run(s)	Attempt 2 Run(s)	Attempt 3 Run(s)
11	Escolinha - Osmolina	Brazil	Universidade Federal de Roraima	University	Prototype	Gasoline	Valid	185.9	Invalid	Invalid	Invalid
12	Escola Osmolina	Brazil	Universidade Federal do Rio de Janeiro	University	Prototype	Gasoline	Not pass engine				
18	Escola Caparna	Brazil	Universidade Federal do Rio de Janeiro	University	Prototype	Gasoline	Not pass engine				
20	Escola Caparna ECH	Brazil	Universidade Estadual de Maracá	University	Prototype	Gasoline	Valid		Invalid	Invalid	

Figura 1.25 – Final Results
(Adaptado do autor, 2021)

Como análise global, verificou-se que os resultados obtidos em competição não foram tão favoráveis. Durante as etapas de preparação para validação do projeto junto aos inspetores da competição, a equipe encontrou diversos problemas e um deles foi o entupimento do bico injetor utilizado. Devido as várias condições de testes no qual o motor foi submetido e a limitação do regulamento para não utilização de filtro de combustível na linha de combustível, o bico veio a falhar tendo-se demorado muito para identificar o problema.

Diante disso, a performance do protótipo ficou inviabilizada nos dois primeiros dias de pista livre para tomada de marcas de consumo. O injetor danificado não conseguia pulverizar o combustível de maneira adequada, fazendo com este fosse gotejado no coletor de admissão.

4 CONCLUSÃO

O presente trabalho estudou sobre o motor de combustão interna ciclo Otto em quatro tempos de funcionamento: admissão, compressão, explosão e descarga. A utilização de sensores como medidores de temperatura do ar, temperatura do motor, medidores de massa de ar, assim como a possibilidade de se calcular a quantidade de combustível injetado, elevam em muito a qualidade da informação – junto a central - para alcançar um melhor rendimento.

Os resultados alcançados mostraram que o sistema de gerenciamento de injeção eletrônica estudada no trabalho com o motor GX-35, é capaz de controlar um motor do ciclo Otto, desenvolvido conforme as necessidades da pesquisa e pode atuar com grande eficiência.

O trabalho tem grandes possibilidades de estudo, como modificar os modos de controle, desenvolvimento de novos sensores e até novas formas de combustível para o sistema, calcular as mais diversas variáveis de trabalho e a partir disso interpretar a melhor estratégia para aquela condição. No uso de carburadores é necessário fazer ajustes à medida que uma nova condição de trabalho é imposta e nem sempre essa regulagem é feita de forma rápida e satisfatória. É notório que nos testes o sistema consegue atuar normalmente.

Nos resultados dos testes, observou que o motor em temperatura ideal de funcionamento apresenta ligeira melhora, mas ainda segue acima dos valores informados pelo fabricante. No primeiro teste o resultado foi 0,80l/h, o segundo foi de 0,78l/h e o terceiro teste 0,78 l/h. Diante dos resultados prévios obtidos, deu-se início a etapa de configuração básica da ECU. Ponto fundamental para a obtenção de sucesso do projeto, pois a partir desta etapa é encontrado o ponto básico para as configurações de Rotação Máxima, Rotação Mínima Ponto de Eficiência do Motor, Correções pela Leitura da Sonda Lambda, Correções pelo ângulo de abertura medido pelo Sensor TPS, Correções pela temperatura do Ar admitido, correções por tensão Nesta etapa de teste optamos por iniciar as medições após o motor estar com temperatura de funcionamento acima de 80° C. Para tal, o motor foi ligado antes em marcha lenta e após isso foi adicionado combustível até a marca de 250 ml. Os novos resultados foram no primeiro teste de 0,50l/h, e no segundo teste 0,49l/h e no terceiro foi de 0,50l/h. Observa-se que os resultados mostram uma melhora no sistema, ou seja, utilizando os sensores certos, de maneira certa podem oferecer rendimento ao sistema.

Em trabalhos futuros, sugere-se o desenvolvimento do sistema de controle de ignição, o desenvolvimento de um sistema de medição de potência e torque do motor, além do aprimoramento contínuo do trabalho desenvolvido até aqui.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, Rinaldo Antunes. **Influência de parâmetros geométricos e de funcionamento do motor nas emissões de aldeídos por um veículo a álcool**. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia Mecânica. PUC Minas, 2000. 88p;
- BOSCH (1988). GmbH. **Automotive electric/electronic systems**. 1.ed. Warrendale, P.A.
- BRASIL. **Conselho nacional do meio ambiente-Conama. Resolução N° 297**, de 26 de Fevereiro de 2002. Brasília, 2002. 10p;
- BRUNETTI, Franco: **Motores de combustão interna volume 2**; São Paulo, Edgard Blücher Ltda. 2012
- CÂMARA, Júlio César Chaves. **Monitoramento eletrônico da mistura ar/combustível em motores de combustão interna ciclo Otto**. 2006.
- CARVALHO, Marcio Augusto Sampaio de. **Avaliação de um motor de combustão interna ciclo Otto utilizando diferentes tipos de combustíveis**. 2011.
- CÔNSUL, Julia; THIELE, Daniel; VESES, Renato; BAIBICH, Ione; DALLAGO, Rogério. Decomposição catalítica de óxidos de nitrogênio. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 9p;
- HEISLER, Heinz – *Advanced Engine Technology* . Reino Unido: SAE International, 2002. 794p; Indianapolis, Sams Publishing.
- MARTINS, Jorge. **Motores de Combustão Interna**. 1.ed. Portugal: Publindústria Edições Técnicas, 2005. 437p;
- MILHOR, Carlos Eduardo. Sistema de desenvolvimento para controle eletrônico dos motores de combustão interna ciclo Otto. **São Carlos. 72p. Dissertação de Mestrado-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2002**.
- NETO. Jair Mendes. **Projeto de conversão dos sistemas de alimentação e ignição de um motor de combustão interna de ciclo otto**. Rio de Janeiro, 2016.
- NYSTROM, C.H. (1993). **Automotive Gasoline Injection**. SAE Transactions, v.66, p.65-74. /Apresentado ao meeting of the SAE Cleveland Section, Cleveland, USA, 1957/
- PASSARINI, I. C. (2002). Análise e projeto de válvulas injetoras. 1.ed. São Carlos, SP. EESC/USP, v.1. p.250.
- PELLIZA, Giovani. Análise de Veículos convertidos para o uso do combustível Gás Natural. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Rio Grande do Sul, 2003. 139p;
- RIBBENS, W. B.; MANSOUR, N. P. (1993). *Understanding Automotive Electronics*. 4.ed.

SILVA, Walney Eduardo Teixeira. **Gerenciamento eletrônico de motores de combustão interna do ciclo Otto**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SZWARCFITER, Lila. Opções para o aprimoramento do controle de emissões de poluentes atmosféricos por veículos leves no Brasil: uma avaliação do potencial de programas de inspeção e manutenção e de renovação acelerada da frota. Tese de Doutorado. UFRJ, 2004. 275p;

VARELLA, Carlos Alberto Alves. Princípios de funcionamento dos motores de combustão interna. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2016.

WILDNER, Fabiano Disconzi. Estudo experimental do ponto de ignição e da variação de pressão para diferentes combustíveis. Universidade federal do rio grande do sul, Departamento de engenharia mecânica, 2004. 25p;

ZOTIN, Fátima; NORONHA, Fábio; APPEL, Lúcia. A desativação dos catalisadores automotivos. UERJ, Rio de Janeiro, 1999. 6p.