

CENTRO PAULA SOUZA
FATEC SANTO ANDRÉ
Tecnologia em Eletrônica Automotiva

Luiz Gustavo Eufrasio de Freitas
Maurilo Minineli Machado da Paz

**DESENVOLVIMENTO DE KITS DIDÁTICOS PARA SIMULAÇÃO DOS
SISTEMAS DE IGNIÇÃO E INJEÇÃO ELETRÔNICA**

Santo André
2023

Luiz Gustavo Eufrazio de Freitas

Maurilo Minineli Machado da Paz

**DESENVOLVIMENTO DE KITS DIDÁTICOS PARA SIMULAÇÃO DOS
SISTEMAS DE IGNIÇÃO E INJEÇÃO ELETRÔNICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de
Graduação em Eletrônica
Automotiva da FATEC Santo André,
orientado pelo Profº Paulo
Alexandre Pizará Hayashida e co-
orientado pelo Profº Marco Aurélio
Fróes como requisito parcial para
obtenção do título de Tecnólogo em
Eletrônica Automotiva.

Santo André

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

F866d

Freitas, Luiz Gustavo Eufrazio de
Desenvolvimento de kits didáticos para simulação dos sistemas de ignição e injeção eletrônica / Luiz Gustavo Eufrazio de Freitas, Maurilo Minineli Machado da Paz. - Santo André, 2023. – 122f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2023.

Orientador: Prof. Paulo Alexandre Pizará Hayashida

1. Eletrônica. 2. Sistemas de injeção. 3. Sistemas de injeção eletrônica. 4. Kits didáticos. 5. Tecnologia. 6. Simulação. 7. Metodologias ativas. 8. Sistemas embarcados. 9. Desenvolvimento. I. Paz, Maurilo Minineli Machado da. II. Desenvolvimento de kits didáticos para simulação dos sistemas de ignição e injeção eletrônica.

629.2

LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 24 DE JUNHO DE 2023.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA: “KITS DIDÁTICOS PARA SIMULAÇÃO DOS SISTEMAS DE IGNIÇÃO E INJEÇÃO ELETRÔNICA” DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

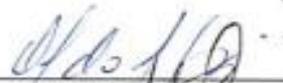
PRESIDENTE:

PROFº MARCO AURÉLIO FRÓES

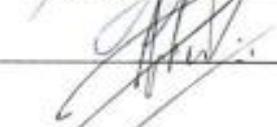


MEMBROS:

PROF. ORLANDO DE SALVO JUNIOR

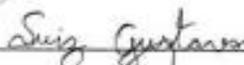


PROF. FERNANDO GARUP DALBO



ALUNOS:

LUIZ GUSTAVO EUFRASIO DE FREITAS



MAURILO MININELI MACHADO DA PAZ



Este trabalho é dedicado primeiramente a Deus, e em seguida aos nossos familiares e amigos, que sempre nos apoiaram e nos deram forças quando mais precisávamos. Em especial, dedicamos a 4 amigos. Sendo eles: Danillo Gabriel Pereira Santos, Fellipe Pereira Godoy, Lucas Santana Novais Zumba e Pedro Heleno Gouveia Neto, que nos acompanharam de perto nesses 3 anos, ajudaram a superar dificuldades encontradas no caminho, e nunca nos deixaram desistir.

AGRADECIMENTO

Agradecemos aos nossos professores das disciplinas de Trabalho de Graduação I e II, Profº Dr. Roberto Bortolussi e Profº Fernando Garup Dalbo, respectivamente. Juntamente aos Orientadores Profº Marco Aurélio Fróes, Profº Me. Paulo Hayashida e Profº Dr. Armando Antonio Maria Laganá, que, com seu vasto conhecimento, dispuseram de seu tempo para nos orientar da forma mais concisa possível.

"Eu sei, estou mais forte. Mas se cheguei até aqui, eu tive alguém para me ajudar, porque ninguém vence sozinho. Mesmo se eu não puder, eu estarei sempre aqui para o que precisar. Nossa amizade para sempre sei que vai durar!" – Abertura da segunda temporada de Super Onze.

RESUMO

Atualmente, com todas as novas tecnologias de hardwares e softwares automotivos, sistemas embarcados que fazem medições, monitoram valores, previnem acidentes e controlam ações de componentes eletrônicos, são constantemente desenvolvidos através de diversas pesquisas científicas e de satisfação dos condutores de veículos automotores. Primeiro a globalização, depois a informatização que, juntas ao Ensino Superior e o mercado de trabalho, levaram as instituições de ensino a adotarem metodologias que trazem os alunos para perto da realidade, a fim de que conheçam na prática aquilo que de melhor está sendo implementado. Sabendo disso, a integração, proximidade e a troca de conhecimentos entre professores das faculdades públicas e privadas, e os alunos que serão tecnólogos e engenheiros, são de extrema importância e precisam de uma infraestrutura atualizada que disponibiliza equipamentos, peças, kits e ferramentas. Sendo assim, a manutenção e prevenção destes materiais bem como a sua devida utilização, é de extrema importância, para que durem e possam ser utilizados por todo o corpo docente e estudantil. O objetivo principal deste projeto é conceber e desenvolver conjuntos de kits didáticos especialmente projetados para atender às necessidades da Faculdade de Tecnologia de Santo André e a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP).

Palavras-chave: Eletrônica Automotiva. Instituições de Ensino Superior. Kits Didáticos. Metodologias Ativas. Sistemas Embarcados.

ABSTRACT

Currently, with all the new automotive hardware and software technologies, embedded systems that make measurements, monitor values, prevent accidents and control actions of electronic components, are constantly being developed through various scientific research and the satisfaction of motor vehicle drivers. First globalization, then computerization which, together with Higher Education and the job market, led educational institutions to adopt methodologies that bring students closer to reality, so that they get to know in practice the best that is being implemented. Knowing this, the integration, proximity and exchange of knowledge between professors from public and private colleges, and students who will be technologists and engineers, are extremely important and need an updated infrastructure that provides equipment, parts, kits and tools. Therefore, the maintenance and prevention of these materials, as well as their proper use, is extremely important, so that they last and can be used by the entire faculty and student body. The main objective of this project is to conceive and develop sets of teaching kits specially designed to meet the needs of the Faculty of Technology of Santo André and the Polytechnic School of the University of São Paulo (USP).

Keywords: Active Methodologies. Automotive Electronics. Didactic Kits. Embedded Systems. Higher Education Institutions.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ciclo de quatro tempos no motor Otto.....	29
Figura 2 - Componentes que formam o sistema de ignição convencional com distribuidor.....	32
Figura 3 – Bateria automotiva.....	34
Figura 4 – Sistema de ignição automotivo.....	35
Figura 5 – Bobina de Ignição.....	36
Figura 6 – Distribuidor de ignição.....	37
Figura 7 – Circuito de ignição com destaque ao platinado.....	38
Figura 8 – Vela de Ignição.....	39
Figura 9 – Princípio de funcionamento de um transformador.....	40
Figura 10 – Armazenamento e descarga.....	41
Figura 11 – Temperatura e pressão interna.....	42
Figura 12 – Distribuição da temperatura na vela de ignição.....	43
Figura 13 – Dissipação de calor nas velas quentes e frias.....	44
Figura 14 – Componentes do Sistema LE-Jetronic.....	48
Figura 15 – Esquema do Sistema de Combustível.....	49
Figura 16 – Bomba elétrica de combustível.....	50
Figura 17 – Filtro de combustível.....	51
Figura 18 – Regulador de pressão.....	53
Figura 19 – Tubo distribuidor.....	54
Figura 20 - Amortecedor de oscilações.....	54

Figura 21 – Válvula de Injeção.....	56
Figura 22 – Sistema de Comando e seus sinais.....	57
Figura 23 – Fluxo de ar aspirado pelo motor.....	60
Figura 24 - Enriquecimento da partida através do comando de partida.....	62
Figura 25 – Estado inicial do kit de ignição.....	63
Figura 26 – Tábua encapada do kit de ignição.....	63
Figura 27 – Layout da etiqueta do kit de ignição da FATEC Santo André.....	64
Figura 28 - Layout da etiqueta do kit de ignição da USP.....	64
Figura 29 – Placa de circuito do PIC.....	65
Figura 30 – Sinal de rotação a 1000RPM.....	68
Figura 31 – Sinal de rotação a 3000RPM.....	68
Figura 32 – Sinal de rotação a 6000RPM.....	69
Figura 33 – Sinal de comando da ignição com 1ms de carga a 1000RPM.....	71
Figura 34 – Sinal de comando da ignição com 2ms de carga a 1000RPM.....	72
Figura 35 – Sinal de comando da ignição com 4ms de carga a 1000RPM.....	72
Figura 36 - Modelo simplificado do sistema de controle da ignição.....	73
Figura 37 – Esquema elétrico do circuito de acionamento das velas de ignição.....	74
Figura 38 – Placa de acionamento da ignição.....	75
Figura 39 – Kit de ignição completo.....	76
Figura 40 – Estado inicial do kit de injeção eletrônica.....	77
Figura 41 – Tábua encapada do kit de injeção.....	78
Figura 42 – Sinais de comando das válvulas com 1ms de injeção a 1000RPM.....	80
Figura 43 – Sinais de comando das válvulas com 2ms de injeção a 1000RPM.....	81
Figura 44 – Sinais de comando das válvulas com 4ms de injeção a 1000RPM.....	81

Figura 45 – Sinais de comando das válvulas ao longo de mais de uma volta da roda fônica.....	82
Figura 46 - Esquema elétrico do circuito da placa de acionamento das válvulas injetoras.....	83
Figura 47 – Placa de acionamento da injeção eletrônica.....	87
Figura 48 – Kit de injeção completo.....	87

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Descrição de temperatura de cada componente do motor de combustão interna.....	43
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lista de materiais do kit de ignição.....	89
Tabela 2 – Lista de materiais do kit de injeção.....	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

USP – Universidade de São de Paulo

A – *Ampère*, unidade de medida de corrente elétrica

ABP – Aprendizagem baseada em problemas

PBL – *Problem based learning*, que significa: Aprendizagem baseada em problemas

MCI – Motor de combustão interna

ECU – *Eletronic Control Unit*, que significa: Unidade de controle eletrônico

IDE – *Integrated Development Enviroment*, que significa: Ambiente de desenvolvimento integrado

MAC OS - *Macintosh*, uma das linhas do sistema operacional da *Apple*

PMS – Ponto morto superior

V – *Volt*, unidade de medida de tensão elétrica

PIC - *Programmable Interface Controller*, que significa: Controladore de interface programável

RPM – Rotações por minuto

CCP - *Capture Compare Pwm*, que significa: Captura, comparação de PWM

PWM - *Pulse Weidt Modulation*, que significa: Modulação por largura de pulso

MS – Milissegundo(s)

μS – Microssegundo(s)

CI – Circuito integrado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	18
1.1 Objetivo geral.....	19
1.2 Objetivos específicos.....	20
1.3 Motivação.....	20
1.4 Conteúdo e Organização.....	21
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1 Metodologias.....	22
2.1.1 Apresentação.....	23
2.1.2 Técnicas e Oficinas.....	23
2.1.2.1 Técnicas Lúdicas.....	23
2.1.2.1.1 Técnica balança, mas não cai.....	24
2.1.2.1.2 Técnica Bird box.....	24
2.1.2.2 Oficinas criativas.....	25
2.1.2.3 Técnicas baseadas em problemas.....	25
2.1.2.4 Técnicas envolvendo jogos e simulações.....	26
2.1.2.5 Técnicas ou ferramentas existentes e adaptadas para o Ensino Superior.....	27
2.2 Motor Otto.....	28
2.2.1 Funcionamento.....	28
2.2.2 Ciclo de quatro tempos.....	29
2.2.2.1 Tempo de aspiração.....	29
2.2.2.2 Tempo de compressão.....	30
2.2.2.3 Tempo de trabalho.....	30
2.2.2.4 Tempo de exaustão.....	31
2.3 Ignição.....	31
2.3.1 Componentes de um sistema de ignição convencional.....	31
2.3.1.1 Bateria.....	33
2.3.1.2 Chave de ignição.....	34
2.3.1.3 Bobina de ignição.....	35
2.3.1.4 Distribuidor de ignição.....	36

2.3.1.5	Platinado.....	37
2.3.1.6	Velas de ignição.....	38
2.3.2	Princípio de funcionamento.....	39
2.4	Sistema de injeção de combustível.....	44
2.4.1	LE-Jetronic.....	45
2.4.1.1	Função.....	46
2.4.1.2	Vantagens.....	46
2.4.1.3	Princípio de funcionamento.....	47
2.4.2	Sistema de combustível.....	49
2.4.2.1	Bomba de combustível.....	50
2.4.2.2	Filtro de combustível.....	51
2.4.2.3	Regulador de pressão.....	51
2.4.2.4	tubo distribuidor.....	53
2.4.2.5	Amortecedor de oscilações.....	54
2.4.2.6	Válvula de Injeção.....	55
2.4.2.7	Formação da mistura.....	56
2.4.3	Sistema de Comando.....	56
2.4.3.1	Grandezas de medição principais.....	57
2.4.3.2	Grandezas de medição para adaptação.....	57
2.4.3.3	Grandezas de medição para ajustes finos.....	57
2.4.3.4	Processamento dos impulsos.....	58
2.4.3.5	Medição do fluxo de ar.....	58
2.4.3.6	Partida a frio.....	60
3.	METODOLOGIA.....	62
3.1	Kit de Ignição.....	62
3.1.1	Softwares associados aos kits de ignição.....	64
3.1.1.1	Rotação.....	65
3.1.1.1.1	Sinais de rotação gerados.....	66
3.1.1.2	Controle da ignição.....	69
3.1.1.2.1	Sinais de controle da ignição obtidos.....	70
3.1.2	Hardware.....	73
3.1.2.1	Pinagem utilizada nos microcontroladores.....	73
3.1.2.2	Placa de acionamento.....	74
3.1.2.3	Alimentação do sistema.....	75

3.2 Kit de Injeção.....	76
3.2.1 Softwares associados aos kits de injeção.....	78
3.2.1.1 Controle das válvulas injetoras.....	79
3.2.1.1.1 Sinais de controle da injeção obtidos.....	79
3.2.2 Hardware.....	82
3.2.2.1 Dimensionamento dos componentes do circuito de acionamento das válvulas.....	84
3.2.2.1.1 Cálculo do resistor de Shunt.....	84
3.2.2.1.2 Cálculo do Conjunto Capacitor-Resistor (Ct-Rt).....	85
3.2.2.2 Placa de acionamento.....	85
4. CONCLUSÕES.....	88
5. PROPOSTAS FUTURAS.....	88
6. BIBLIOGRAFIA.....	89
7. APÊNDICES.....	90
APÊNDICE A – Kit de Ignição.....	90
APÊNDICE B – Kit de Injeção.....	91
APÊNDICE C - Código gerador do sinal de rotação.....	92
APÊNDICE D - Código de comando da ignição.....	99
APÊNDICE E - Código de comando da injeção.....	106
APÊNDICE F - Código do arquivo externo LCD.c.....	114
APÊNDICE G - Código do arquivo externo LCD.h.....	119
APÊNDICE H - Código do arquivo externo Config.h.....	120

1. INTRODUÇÃO

Todas as instituições de ensino brasileiras que dispõem de cursos superiores, sendo eles tecnólogo, bacharelado ou licenciatura, possuem equipamentos específicos para cada curso, que estimulam o aprendizado e são convidativos. Apenas o conhecimento teórico de livros, apostilas e artigos, não capacita cem por cento o aluno para o mercado de trabalho, que está cada vez mais exigente. As empresas não querem somente um certificado de conclusão de curso, elas exigem que o candidato prove suas técnicas através de testes práticos, questionários e projetos a curto prazo.

A sua utilização resulta na troca de conhecimento entre o corpo docente, professores, coordenadores, diretores, e os alunos matriculados. Um bom aproveitamento deles é de suma importância, pois aquele que faz bom uso das aulas práticas, destaca-se entre os demais. Mantê-los em bom estado, vai da disciplina de cada um e a metodologia passada em sala de aula.

Em uma faculdade de tecnologia que leciona um curso tão específico no que diz respeito à área de atuação, mas também muito abrangente em conhecimento, pessoas de todas as idades buscam fazê-lo. Há dois extremos: Adolescentes ingressando numa graduação e pessoas mais velhas que já trabalham, e querem aperfeiçoar seu negócio ou obter embasamento teórico com aquilo que estão trabalhando. Ambos necessitam destas ferramentas operacionais, simuladores, programas e oficinas. Evidentemente, nem tudo é perfeito e nem todo material disponível é utilizado, muitas vezes estes estão deixados de lado ou quebrados, esperando serem consertados e usados novamente.

Este trabalho visa fazer a manutenção e atualização de 4 tipos de kits didáticos usados para aulas dos cursos da Faculdade de Tecnologia de Santo André encontrados na sala 20 do Bloco F. Com os reparos e atualizações, podemos utilizar os kits em diversas disciplinas, entre elas: Motores de Combustão Interna I e II, Gerenciamento de Motores, Carga e Partida e Eletrônica Analógica I e II.

São 2 tipos de sistemas: Ignição e Injeção eletrônica. Todos possuem componentes que são encontrados no carro, como exemplo, as velas de ignição e as válvulas injetoras. Cada um deles necessita de um tratamento específico, desde

a limpeza da carcaça, passando pela parte estética, como a organização dos fios, o envoltório com papel autoadesivo e, por fim, a criação de placas de circuito impresso que, juntas a *Electronic Control Unity (ECU)*, cuja tradução é: Unidade de controle eletrônico, formam o hardware e fazem todo o controle dos componentes. Para toda a parte de programação, é utilizado o simulador *MPLAB IDE*, abreviação de: *Integrated Development Environment*, que significa: Ambiente de desenvolvimento integrado, ele é um software utilizado em *Windows*, *MAC OS*, a *Macintosh*, uma das linhas do sistema operacional da *Apple* e *Linux* para o desenvolvimento de aplicações utilizando microcontroladores e controladores digitais.

1.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste projeto é conceber e desenvolver conjuntos de kits didáticos especialmente projetados para atender às necessidades da Faculdade de Tecnologia de Santo André e a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). Esses kits têm como finalidade essencial estimular ativamente a utilização dos recursos educacionais, estabelecendo um ambiente propício à interação enriquecedora entre professores e alunos. Através dessa abordagem, pretende-se diminuir as barreiras e distâncias entre esses dois grupos, permitindo um compartilhamento efetivo de experiências, conhecimentos e perspectivas.

Além disso, esse projeto ambiciona identificar os desafios e obstáculos mais prementes encontrados no mercado de trabalho atual, oferecendo soluções abrangentes, claras e concisas para superá-los. Por meio de uma análise criteriosa das demandas e tendências do setor, busca-se fornecer aos alunos um conjunto de ferramentas e conhecimentos que os capacitem a enfrentar e solucionar os problemas práticos e complexos que surgem na área. Como resultado direto e almejado desse empreendimento, espera-se estimular e promover a adoção recorrente das Metodologias Ativas de ensino, proporcionando uma experiência de aprendizado mais imersiva e significativa. Com o uso especificamente dos sistemas de ignição e injeção automotiva, os kits didáticos permitem que os alunos experimentem de forma prática e tangível o funcionamento desses sistemas, enriquecendo seu conhecimento teórico com a aplicação direta e a vivência concreta de situações do mundo real.

1.2 Objetivos específicos

O objetivo primordial é identificar e realizar diagnósticos minuciosos das falhas presentes nos kits didáticos inutilizáveis, com vistas a promover melhorias substanciais em suas funcionalidades por meio de implementações de software e hardware, a fim de conferir-lhes total prontidão para um uso efetivo em sala de aula.

Além disso, propõe-se estabelecer processos meticolosos e altamente eficientes com o propósito de maximizar o aproveitamento dos diversos componentes contidos nos simuladores, tais como velas de ignição e válvulas de injetoras, buscando, assim, otimizar seu desempenho e funcionalidade em níveis superiores.

Na mesma perspectiva, há uma consideração fundamental em relação às modificações estéticas sugeridas, cujo enfoque primordial reside na otimização da distribuição estratégica dos equipamentos, assim como no aprimoramento das placas de acionamento e controle, levando em conta atentamente sua disposição e layout. Paralelamente, um esforço concentrado é dedicado à organização metódica e ao encaminhamento apropriado dos fios que compõem os sistemas, almejando, dessa maneira, uma funcionalidade otimizada e harmoniosa em sua execução.

Por último, porém não menos importante, é imperativo compreender e atribuir a devida valorização à significância do uso dos kits didáticos como elemento intrínseco e inalienável das aulas ministradas na renomada Faculdade de Tecnologia de Santo André. Reconhece-se, com base nessa perspectiva, que tais kits desempenham um papel crucial e imprescindível no processo de aprendizagem, contribuindo para a formação acadêmica e o desenvolvimento competente dos estudantes.

1.3 Motivação

Realizando uma análise minuciosa, torna-se evidente a existência de uma lacuna na interação prática do corpo docente com os alunos matriculados, além da subutilização de recursos educacionais, como equipamentos, simuladores, bancadas de teste, atividades extracurriculares e visitas técnicas. Essa constatação

despertou uma oportunidade promissora para a concepção de um projeto de pesquisa e desenvolvimento voltado à melhoria e criação de materiais didáticos nas áreas de Eletrônica, Mecânica Automotiva e Mecatrônica Industrial, as quais desempenham um papel primordial como fontes de inspiração e aprendizado na Unidade de Ensino Superior.

Além das mencionadas lacunas que impulsionaram a criação desse projeto, é importante ressaltar a motivação pessoal dos autores, que, como usuários desses equipamentos e colaboradores da renomada FATEC Santo André, compartilham um compromisso contínuo e efetivo com a melhoria da qualidade do ensino oferecido pela instituição.

Para acentuar ainda mais a relevância desse projeto, visando contribuir com o estímulo aos alunos na busca por conhecimentos práticos e teóricos por meio do estabelecimento sólido dos fundamentos abordados nessa pesquisa.

1.4 Conteúdo e Organização

No capítulo 2, denominado Revisão Bibliográfica, é demonstrado todo conteúdo teórico que foi pesquisado para o entendimento deste trabalho. Entre estes estão os sistemas de ignição e injeção, seus funcionamentos, gráficos de temperatura, de tempo, figuras ilustrativas, tabelas e detalhes relevantes ao desenvolvimento do projeto. Já no capítulo 3, encontra-se o método, que acompanha todo o processo feito durante esses 2 semestres, com descrições de metas, tarefas a serem cumpridas a curto e longo prazo, circuitos elétricos, diagramas de blocos, fotos comparativas, e propostas futuras para sua possível continuação após a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso.

O capítulo 4 demonstra os resultados obtidos, sendo eles os desejados ou não pelos integrantes do grupo, bem como seus respectivos comentários e discussões. Finalmente, há também os capítulos 5, 6 e 7, onde temos, no primeiro, a Bibliografia, que nada mais é do que todas as fontes de onde foram tirados os textos e imagens. No segundo, o Apêndice, referenciando os códigos-fonte dos microcontroladores utilizados e as listas de materiais para cada tipo de kit didático,

dentre outros. E no terceiro, as Propostas Futuras, onde estão inseridas informações de como o projeto poderia ter um prosseguimento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo aborda o embasamento teórico, pesquisas e busca por conhecimentos necessários para uma compreensão aprofundada dos temas relacionados à confecção dos kits didáticos. Iniciando com o item 2.1, são apresentadas as Metodologias atualmente aplicadas nas instituições de ensino superior, visando transformar o ambiente de estudo em um espaço de troca de experiências e conhecimento prático. Para a realização desse projeto, é fundamental compreender os motores de combustão interna com Ciclo Otto, que são apresentados e detalhados no subcapítulo 2.2 deste trabalho.

Os subcapítulos 2.3 e 2.4 abordam definições, contextos históricos, fórmulas, testes práticos, adaptações realizadas por indústrias e grandes empresas, além dos métodos de implementação contínua dos sistemas de ignição e injeção, respectivamente.

2.1 Metodologias

Nas palavras de Monteiro (2021), é de extrema importância que novas metodologias de ensino e recursos didáticos sejam implementados no Ensino Superior com o objetivo de melhorar a aprendizagem e a construção do conhecimento. As metodologias podem ser classificadas em quatro grandes grupos: Metodologias Ativas, que foca nos papéis desempenhados no processo e nas atividades; Metodologias Ágeis, cujas atenções se voltam para o elemento tempo disponível e envolvem a duração pontual da atividade proposta de aprendizagem; Metodologias Imersivas, que se apoiam intensamente em mídias e tecnologias; e, por fim, Metodologias Analíticas, com preocupação mais voltada para a avaliação dos estudantes.

2.1.1 Apresentação

Falando sobre cada uma, as Metodologias Ativas dependem bastante da atuação humana, ou seja, professores, alunos, especialistas, representantes da comunidade. As Metodologias Ágeis, Imersivas e Analíticas valorizam bastante a contribuição das mídias e tecnologias na educação. As duas primeiras classes de metodologia costumam ser mais familiares no mundo escolar e universitário. Embora não sejam prerrogativas únicas dessas classes de metodologias, elas contam com profissionais com dedicação exclusiva à tarefa de ensinar, permitindo-lhes desenvolver atividades que exigem acompanhamento e tutorial mais intenso e, por isso, dependem da atuação humana.

2.1.2 Técnicas e Oficinas

Todas as técnicas ou oficinas visam implementar parte do conteúdo relacionado nos planos de ensino dos respectivos cursos. Essas então, para melhor entendimento, foram divididas em cinco grupos, descritos como: Técnicas lúdicas, Oficinas criativas, Técnicas baseadas em problemas, Técnicas envolvendo jogos e simulações, Técnicas ou ferramentas existentes e adaptadas para o Ensino Superior. Metodologia adotada, lições extraídas e pontos para discussão, serão descritos em cada técnica, oficina ou ferramenta.

Todas essas técnicas, oficinas ou ferramentas descritas podem e devem ser adequadas para cada contexto, considerando os objetivos, o assunto e tipo de aprendizagem, o perfil do aluno, o tempo disponível, as condições físicas, experiência do docente, entre outros.

2.1.2.1 Técnicas Lúdicas

Segundo Angélica (2019), as atividades lúdicas, que se baseiam na utilização de recursos simples e acessíveis, desempenham um papel fundamental na melhoria da aprendizagem, na participação ativa e no desenvolvimento das habilidades e

atitudes necessárias para se tornar um profissional eficiente. A seguir, serão apresentadas as duas principais vertentes das Técnicas Lúdicas.

2.1.2.1.1 Técnica balança, mas não cai

Também conforme Angélica (2019), o espaço universitário exige uma certa formalidade no processo de aprendizagem. Mas para que o conhecimento seja assimilado de forma mais enriquecedora, é necessário que essa aprendizagem tenha significado para o aluno e seja prazerosa.

São vários aspectos envolvidos em um projeto de construção de um produto de software: Nível de abstração, pessoas, processo, comunicação, tecnologias utilizadas, segurança, mudanças constantes, entre outros. Esses aspectos e as necessidades de softwares cada vez mais funcionais e sofisticados tornam o processo de construção de um produto de software, uma atividade bastante complexa. Os desenvolvedores precisam atender à demanda de um público cada vez mais exigente, os clientes podem comunicar de forma incorreta o que desejam, pois talvez não compreendam realmente o que querem. Ou seja, são muitos fatores que podem interferir e, de fato, interferem no processo de construção de um produto.

Portanto, entender a complexidade de construção de um projeto, e alguns dos aspectos envolvidos, como a comunicação entre os participantes, o pouco conhecimento dos desenvolvedores da tecnologia a ser adotada, a necessidade de atender a todos os requisitos nos prazos determinados, é importante para todos discentes que estão iniciando no caminho da Engenharia de Software.

2.1.2.1.2 Técnica Bird box

Conforme cita Salete (2013), o processo de desenvolvimento de software, umas das etapas é o levantamento de requisitos. Os requisitos descrevem o que o software deve fazer, e o que ele não deve fazer, mas sem dizer como fazer.

A etapa de levantamento de requisitos é baseada na comunicação. Comunicação entre os desenvolvedores e todos os demais interessados. Essa comunicação pode ser realizada por meio de entrevistas, workshops e reuniões. Entender as dificuldades inerentes a essa etapa do desenvolvimento de um produto

de software é muito importante para que o aluno possa reconstruir seus conhecimentos sobre o assunto e visualizar alternativas para melhoria da comunicação nesse contexto. Assim, a técnica lúdica pedagógica de desenho tem como objetivo demonstrar a importância da comunicação, as dificuldades encontradas entre emissor e receptor e, conseqüentemente, seu impacto no levantamento de requisitos.

2.1.2.2 Oficinas criativas

Como diz Calazans (2019), as oficinas pedagógicas são instrumentos poderosos para o aperfeiçoamento didático em uma escala. Trata-se de uma situação de aprendizagem aberta e dinâmica, que possibilita a inovação, a troca de experiências e a construção de conhecimentos.

As instituições de ensino reservam um espaço para a aprendizagem coletiva. Nele, os educadores têm a oportunidade de interação com o grupo, o que torna a experiência ainda mais enriquecedora.

A rotina de um universitário é muito corrida: Grande demanda de trabalhos, os conteúdos extensos e a necessidade de desprender uma quantidade significativa de tempo em tarefas burocráticas, podem e geram a tendência de repetir práticas de ensino de aprendizagem. Eis algumas características de oficinas criativas pedagógicas: É um espaço de diálogo, o foco é a construção coletiva de conhecimento. Portanto, a ideia de ter informações como uma via de mão única não condiz com esse tipo de experiência.

2.1.2.3 Técnicas baseadas em problemas

De acordo com Wakke (2017), uma coisa é certa: Os problemas fazem parte de nosso dia a dia. Eles aparecem de várias formas diferentes e nos mais variados lugares: Tanto no âmbito social quanto na escola e, claro, no emprego. Os problemas fazem parte até mesmo da educação, como é observado nos exercícios de matemática, física, cálculo e de várias outras disciplinas.

A aprendizagem baseada em problemas (ABP), ou, como também é conhecida, *problem based learning (PBL)*, é, portanto, uma metodologia voltada para à aquisição do conhecimento por meio da resolução de situações.

A abordagem baseada na resolução de problemas tem como principal objetivo mesclar alguns dos princípios básicos da educação, ou seja, a teoria e a prática. A intenção aqui é fazer com que o aprendizado seja mais dinâmico e ocorra de forma simultânea, fazendo com que o aluno tenha as bases teóricas e teste-as ao mesmo tempo.

A ABP faz com que os alunos se tornem muito mais engajados, especialmente por dar vez a outros métodos de ensino que diferem bastante da educação das salas de aula tradicionais. Isso cativa o interesse da turma e, simultaneamente, os ajuda a desenvolver seus conhecimentos de forma mais abrangente.

O principal pilar da ABP é, portanto, a organização da proposta pedagógica em torno da resolução de problemas e não com a separação das disciplinas, conforme o modelo tradicional. Além disso, há a preocupação com o ato de lecionar a teoria e fazer com que a classe aplique os conteúdos vistos imediatamente, fixando o aprendizado e explorando os conceitos mais profundamente.

2.1.2.4 Técnicas envolvendo jogos e simulações

Segundo Breunig et al. (2018), existe um amplo campo de recursos e estratégias que podem auxiliar o professor na utilização de diferentes modalidades didáticas. Entre elas os jogos didáticos têm sido indicados.

Os jogos ganham espaço como ferramenta de aprendizagem, na medida em que estimula o interesse do aluno, desenvolve níveis diferentes de experiência pessoal e social, ajuda a elaborar novas descobertas a partir de desafios e problemas, desenvolve e enriquece sua personalidade, além de ser considerado um instrumento pedagógico que leva o professor à condição de condutor, estimulador e avaliador da aprendizagem. O jogo educativo tem duas funções.

A primeira é a função lúdica, proporcionando diversão e prazer quando escolhido voluntariamente. A segunda é a função educativa, ensinando qualquer coisa que complete o indivíduo em seu saber e compreensão de mundo. Os jogos

didáticos devem ter um equilíbrio entre estas duas funções e ser elaborados com o objetivo de atingir conteúdos específicos para serem utilizados no meio escolar. Além disso, jogos didáticos contribuem para o estreitamento da relação aluno-aluno, podendo facilitar o processo de inclusão. Os jogos didáticos têm ainda a função relacionada à aprendizagem de conceitos, não sendo uma atividade totalmente livre e descomprometida, mas uma ação intencional e orientada pelo professor.

Um jogo didático pode estar presente no planejamento pedagógico do professor para:

- (1) apresentar um conteúdo programado;
- (2) ilustrar aspectos relevantes de conteúdo;
- (3) avaliar conteúdos já desenvolvidos;
- (4) revisar e/ou sintetizar pontos e conceitos importantes do conteúdo;
- (5) destacar e organizar temas e assuntos relevantes;
- (6) integrar assuntos e temas de forma interdisciplinar;
- (7) contextualizar conhecimentos.

2.1.2.5 Técnicas ou ferramentas existentes e adaptadas para o Ensino Superior

Nas citações de Silva (2022), são as metodologias ativas no ensino superior que desenvolvem essas competências. Elas promovem a descentralização da sala de aula e a rapidez no alcance de informações.

Por isso, elas têm o potencial de despertar a curiosidade e de motivar a construção de conhecimentos e capacidades técnicas, com o aluno no centro do próprio aprendizado.

Apesar de serem consideradas grandes tendências para a educação e possuírem inúmeros benefícios, ainda há muitos desafios para aplicação das metodologias ativas no ensino superior e em outros níveis educacionais.

Entre os principais desafios das metodologias ativas estão:

- Resistência do corpo docente para aplicação das metodologias, uma vez que elas representam uma mudança profunda no ensino tradicional;

- Falta de tempo e/ou de conhecimento para elaboração de planos de aulas com metodologias ativas;
- Falta de acesso a tecnologias, dispositivos e conexão por parte da IES, professores e/ou alunos;
- O uso da tecnologia como um recurso restrito ao professor e não ao aluno, o que interfere na autonomia desse diante do conteúdo a ser aprendido;
- Resistência na transformação da cultura das Instituições de Ensino Superior, que pode estar atrelada a noções tradicionais de ensino-aprendizagem.

Paralisar a transformação na simples ação de incluir equipamentos e dispositivos na sala de aula, sem alterar o planejamento e o formato das aulas. Desse modo, os alunos não observam uma mudança significativa no seu processo de ensino-aprendizagem e não se tornam figuras centrais dele.

É importante destacar, porém, que alguns desses desafios podem ser superados ao implementar as metodologias ativas no ensino superior de forma bem planejada e organizada.

2.2 Motor Otto

De acordo com Brunetti (2021), o motor de ciclo Otto é um tipo de motor de combustão interna (MCI), onde ocorre uma reação química entre um combustível e um comburente, com ignição por centelha elétrica. Esse motor converte a energia contida nos combustíveis, como gasolina, álcool, gás natural e compressão, em energia mecânica.

2.2.1 Funcionamento

No ciclo de funcionamento desse motor, a mistura de ar e combustível é formada fora da câmara de combustão, onde estão presentes a gasolina e os gases. Este trabalho abordará somente o sistema de injeção indireta.

Após cada ciclo de combustão, os gases resultantes são expelidos do cilindro, e uma nova mistura ar-combustível é aspirada. Essa troca de gases ocorre

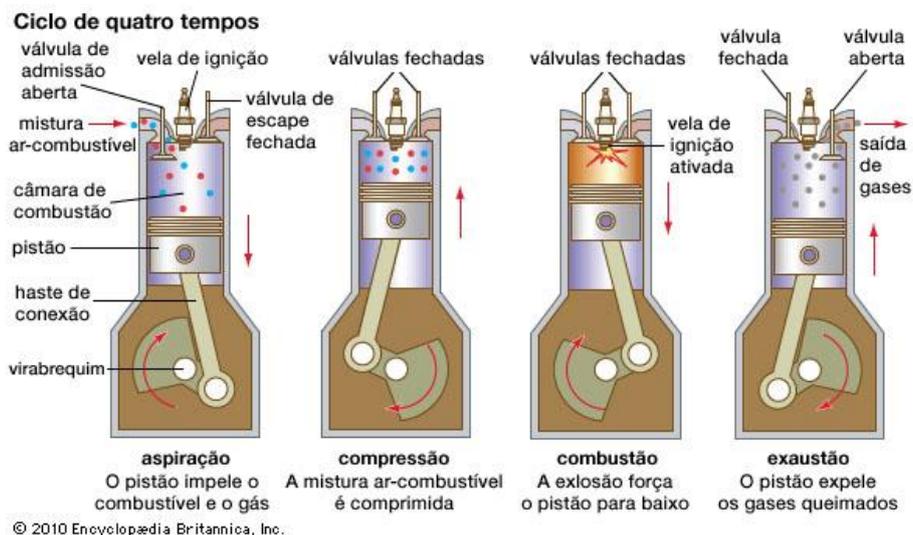
por meio do ciclo de quatro tempos. Para que um ciclo completo seja realizado, a árvore de manivelas, também conhecida como virabrequim, precisa fornecer dois giros.

2.2.2 Ciclo de quatro tempos

As válvulas de admissão e de escape são responsáveis por controlar a troca de gases no motor de ciclo Otto. Elas abrem ou fecham os canais de entrada e saída dos cilindros:

- Primeiro tempo: Há a aspiração;
- Segundo tempo: Ocorre a compressão e a ignição;
- Terceiro tempo: Queima e trabalho;
- Quarto tempo: Ciclo de exaustão/escape.

Figura 1 – Ciclo de quatro tempos do motor ciclo Otto



Fonte – <https://educacaoautomotiva.com/2017/07/06/motor-4-tempos-como-funciona/> -
Acesso em: 12/07/2023 às 16:03.

2.2.2.1 Tempo de aspiração

No Tempo de aspiração temos a seguinte situação:

- Válvula de admissão: Aberta;
- Válvula de escape: Fechada;
- Movimento do pistão: Para baixo;
- Combustão: Nenhuma.

2.2.2.2 Tempo de compressão

No Tempo de compressão temos a seguinte situação:

- Válvula de admissão: Fechada;
- Válvula de escape: Fechada;
- Movimento do pistão: Ascendente;
- Combustão: Fase de inflamação, ou ainda, fase de ignição.

Durante o movimento ascendente do pistão, o volume do cilindro diminui e comprime a mistura ar-combustível. A combustão é iniciada em um ponto específico, pouco antes de atingir o ponto morto superior (PMS), utilizando a vela de ignição para inflamar a mistura ar-combustível. A relação de compressão varia de 7 a 13 e depende do tipo de construção do motor.

À medida que a relação de compressão de um motor aumenta, sua eficiência térmica também aumenta proporcionalmente, o que resulta em um melhor aproveitamento do combustível.

O limite de detonação pode ser deslocado para uma maior compressão por meio do uso de combustível adequado e de uma câmara de combustão apropriada.

2.2.2.3 Tempo de trabalho

No Tempo de trabalho temos a seguinte situação:

- Válvula de admissão: Fechada;
- Válvula de escape: Fechada;
- Movimento do pistão: Descendente;
- Combustão: Fase de queima.

Após a centelha da vela de ignição inflamar a mistura comprimida de ar-combustível, a temperatura se eleva em função da combustão interna propriamente dita.

A pressão no cilindro aumenta e empurra o pistão para baixo. Pela biela, ele transmite o movimento de trabalho a árvore de manivelas, disponível como potência de motor.

2.2.2.4 Tempo de exaustão

No Tempo de exaustão temos a seguinte situação:

- Válvula de admissão: Fechada;
- Válvula de escape: Aberta;
- Movimento do pistão: Ascendente;
- Combustão: Nenhuma.

Os gases da combustão são expulsos pelo movimento ascendente do pistão, através da válvula de escape aberta.

2.3 Ignição

De acordo com Brunetti (2021), o Sistema de Ignição de um veículo desempenha a função de fornecer uma centelha elétrica, comumente chamada de centelha, em cada um dos cilindros, para promover a combustão interna da mistura ar-combustível.

As velas de ignição são os componentes responsáveis por iniciar a queima da mistura de ar-combustível admitida pelo motor. Elas são instaladas no cabeçote do motor, na parte superior da câmara de combustão, próximas às válvulas de admissão e escapamento.

Para gerar essa centelha na vela de ignição, é necessária uma tensão aproximada de 5 kV a 20 kV, dependendo do motor, de seu estado e das condições de funcionamento. A unidade de medida, quilovolts, é equivalente a 1000 volts.

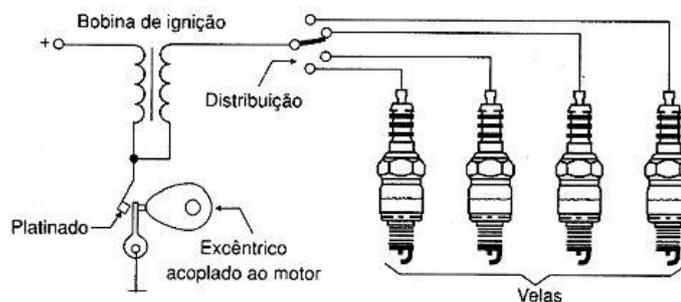
2.3.1 Componentes de um sistema de ignição convencional

Um sistema de ignição deve ser capaz de realizar 3 funções distintas e igualmente importantes, sendo elas:

1. Função transformadora: O sistema deverá estar apto a elevar a tensão disponível na bateria para valores de tensão necessários para a geração de centelha;
2. Função distribuidora: O sistema deverá distribuir a centelha nos cilindros na ordem correta de ignição;
3. Função avanço/atraso: O sistema deverá, automaticamente, liberar a centelha no interior do cilindro, compatível com o estabelecido no desenvolvimento do motor.

A Figura 2 demonstra os componentes essenciais que formam o sistema de ignição convencional de um veículo automotor, sendo ele utilizado por muitos anos no Brasil.

Figura 2 – Componentes que formam o sistema de ignição convencional com distribuidor



Fonte – <https://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/6713-como-funciona-o-sistema-de-ignicao-art1342> - Acesso em: 12/07/2023 às 16:19.

Conforme mencionado anteriormente, é necessário atingir uma tensão mínima de aproximadamente 5 kV na vela de ignição para gerar a centelha elétrica. No entanto, a bateria convencional de chumbo-ácido fornece apenas 12V, o que requer a inclusão de um segundo componente no sistema, conhecido como bobina de ignição. A bobina eleva a tensão para os níveis exigidos pelas velas de ignição.

A partir da tensão gerada por essa bobina de ignição, é necessário distribuí-la para cada vela de ignição instalada no motor, além de seguir a sequência de ignição definida previamente no projeto das funcionalidades e operações do motor.

Nesse sentido, surge o terceiro componente do sistema de ignição: O distribuidor. Ele é acoplado diretamente ao comando de válvulas do motor e transmite a alta tensão adequadamente para as velas de ignição. O quarto componente do sistema de ignição é o rotor, utilizado para a conexão entre o distribuidor e as velas de ignição.

As centelhas devem ser geradas nos momentos precisos, nos pontos de interesse específicos, e não de forma contínua. Para isso, é necessário um elemento responsável por interromper a alta tensão disponibilizada pela bobina de ignição de acordo com a rotação do motor. Esse quinto componente é conhecido como platinado.

2.3.1.1 Bateria

Nilsson e Riedel (2008) exploram de forma abrangente os princípios e conceitos fundamentais dos circuitos elétricos, apresentando uma abordagem didática e clara para o estudo dessa área da engenharia elétrica, sendo assim, a bateria é um dispositivo que atua como um acumulador, convertendo a energia química em energia elétrica e vice-versa, por meio de uma reação de oxirredução. O polo negativo é chamado de ânodo, onde ocorre a oxidação, enquanto o polo positivo é o cátodo, geralmente protegido por um terminal vermelho, como ilustrado na Figura 3. Os elétrons fluem do ânodo para o cátodo, gerando uma corrente elétrica.

Figura 3 – Bateria automotiva



Fonte - <https://www.moura.com.br/produtos/baterias-para-veiculos-leves/> - Acesso em: 12/07/2023 às 16:13.

2.3.1.2 Chave de ignição

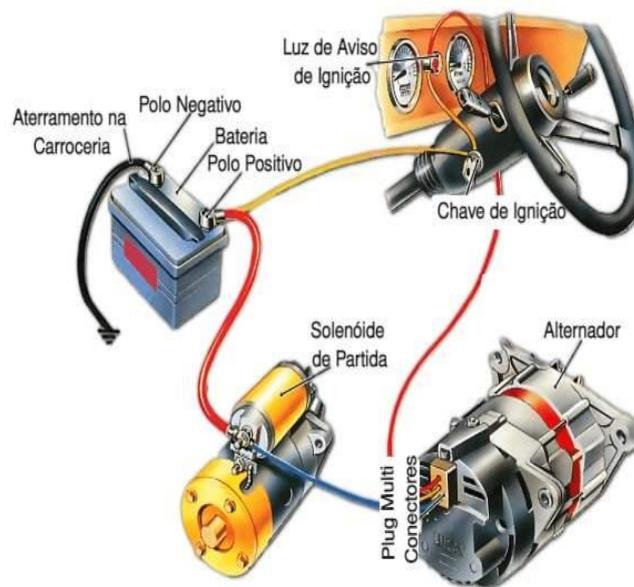
Ao ser acionada, a chave inicia o sistema, ativando toda a parte elétrica do veículo e, assim, retirando a energia armazenada na bateria mencionada no item 2.3.1.1. Essa energia elétrica é mantida em baixa tensão e, em seguida, convertida em alta tensão pela bobina de ignição. A conexão entre a bateria e a chave de ignição é ilustrada na Figura 4.

Assim que isso ocorre, a energia elétrica segue até o distribuidor, que também é um dos componentes do sistema de ignição.

Juntamente com a ativação da parte elétrica que irá resultar na fagulha da explosão, a virada de chave faz com que a energia da bateria seja enviada para o sistema de injeção eletrônica ou para o carburador.

Uma das primeiras ativações é a da bomba de combustível, que cria uma diferença de pressão para retirar uma quantidade do combustível do tanque e enviá-lo ao filtro de combustível, onde é purificado de suas impurezas.

Figura 4 – Sistema de ignição automotivo



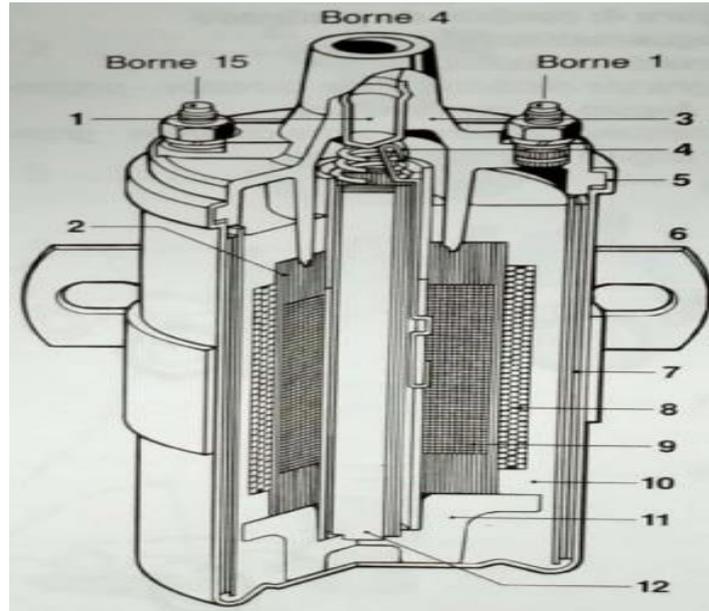
Fonte - <https://www.pngegg.com/pt/png-weeqn> - Acesso em: 12/07/2023 às 16:20.

2.3.1.3 Bobina de ignição

No que se refere ao funcionamento, a corrente primária, que é controlada pelo platinado, o sistema usado na época do carburador, percorre o enrolamento primário da bobina de ignição. O valor dessa corrente é determinado pela tensão da bateria no borne 15, conforme ilustrado na Figura 5, e pela resistência do enrolamento primário. Essa resistência pode variar entre 0,2 e 3Ω. No ponto de ignição, a tensão aumenta no borne 4. A velocidade de aumento é influenciada pela indução secundária e pela carga capacitiva do borne.

Quando a tensão de ruptura na vela de ignição é alcançada, a tensão diminui até atingir a tensão de ignição da vela e a energia armazenada na bobina de ignição é liberada para gerar a centelha de ignição. A bobina de ignição foi projetada como um autotransformador, de modo que o lado secundário se conecta ao borne 1 ou 15.

Figura 5 – Bobina de Ignição



Fonte - Apostila técnica "Gerenciamento de Motor para Motores Otto – Ignição"

2.3.1.4 Distribuidor de ignição

Nas palavras de Brunetti (2021), o distribuidor é o componente com o maior número de funções no sistema de ignição. Ele gira com metade da velocidade da árvore de manivelas. Em um distribuidor para motor de quatro cilindros, existem quatro saídas, cada uma fornecendo um impulso de ignição por rotação do motor. Na Figura 6, é possível identificar separadamente essas quatro saídas mencionadas anteriormente.

Externamente, são visíveis principalmente a carcaça em forma de panela e a tampa do distribuidor de ignição, feita de um material isolante, com as conexões de entrada e saída de alta tensão. Devido às altas exigências de precisão do distribuidor de ignição, é necessário um encaixe muito preciso.

Na carcaça do componente, encontram-se o sistema de avanço centrífugo, o mecanismo de acionamento do avanço a vácuo e a ativação da ignição. O condensador e a cápsula de avanço são fixados na parte externa da carcaça do distribuidor. Além disso, também é encontrada a base para fixação da tampa do distribuidor e a conexão elétrica.

Figura 6 – Distribuidor de ignição



Fonte - <https://blog.mixauto.com.br/o-que-e-e-como-funciona-o-distribuidor/> - Acesso em: 12/07/2023 às 16:24.

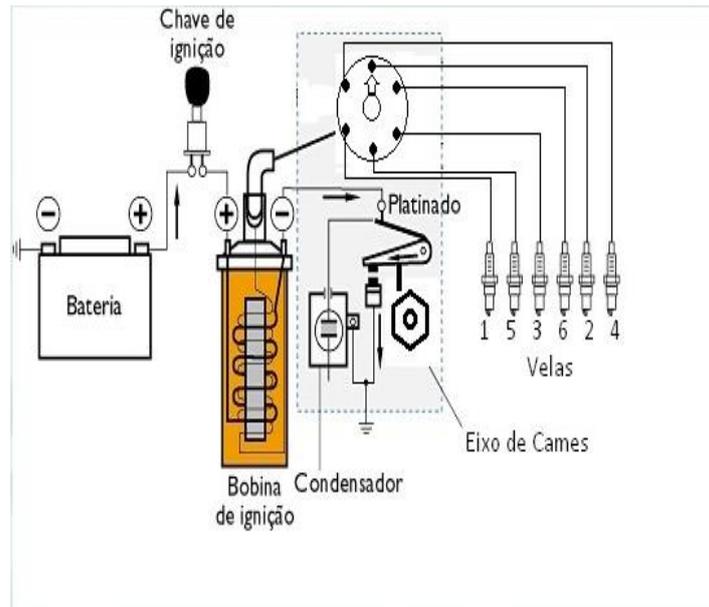
2.3.1.5 Platinado

A ativação do platinado é feita pelo eixo de comando do distribuidor, que terá tantos ressaltos quantos forem os cilindros do motor. O platinado pode ser girado no eixo do distribuidor de ignição; ele se ajusta de acordo com o avanço do ponto de ignição determinado pelo avanço centrífugo na dependência da rotação.

Dessa forma será estabelecido o ângulo de permanência para um sistema de ignição com comando por contato, invariável em toda a faixa de rotação. O ângulo de permanência, entretanto, sofre alterações durante o tempo de funcionamento do motor devido ao desgaste da fibra do martelete do platinado. A Figura 7 mostra um Circuito de ignição que evidencia o platinado.

O contato deve comandar uma corrente de até 5A, onde A = Ampère, unidade de medida de corrente elétrica, e bloquear uma tensão de até 500V. Os contatos que estão danificados provocam um carregamento insuficiente na bobina, ponto de ignição indefinido, conseqüentemente alto consumo do combustível e índices ruins de gás de escape.

Figura 7 – Circuito de ignição com destaque ao platinado



Fonte - <https://www.willysoverland.com.br/ignicao.php> - Acesso em: 12/07/2023 às 16:30.

2.3.1.6 Velas de ignição

As velas de ignição do veículo, representadas na Figura 8, desempenham o papel de criar a centelha dentro da câmara de combustão, que inflama a mistura de ar e combustível, impulsionando o pistão para baixo e movendo o veículo.

Manter as velas desgastadas pode resultar em diversos problemas no veículo, tais como dificuldades para dar partida, desempenho abaixo do esperado, marcha lenta irregular e aumento significativo no consumo de combustível.

Os componentes que compõem uma vela de ignição são: O pino terminal, onde a centelha é gerada; o isolador de cerâmica, que promove o isolamento elétrico e melhora a dissipação térmica; o castelo metálico, que protege contra corrosão e oxidação; o eletrodo central, posicionado na ponta do núcleo; a calafetagem, responsável por reduzir o vazamento de gases, garantindo um grau térmico uniforme para um melhor desempenho da vela e ignição; a ponta do eletrodo central e o eletrodo lateral, ambos feitos de níquel, desempenham a função crucial de minimizar o desgaste natural da vela de ignição e a corrosão.

Figura 8 – Vela de Ignição



Fonte - https://automotivo.ngkntk.com.br/produtos/linha-ngk/velas-de-ignicao_/?country=br&lang=pt –
Acesso em: 12/07/2023 às 16:33.

2.3.2 Princípio de funcionamento

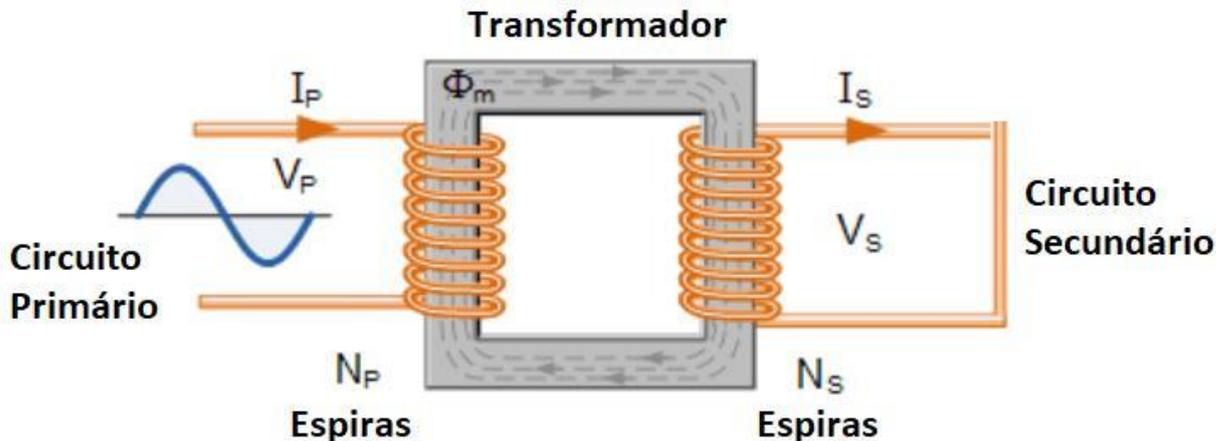
O sistema de ignição é responsável por fornecer uma tensão elevada às velas de ignição, utilizando uma combinação de três fatores: Uma alta tensão elétrica gerada pela bobina de ignição, o chaveamento dessa alta tensão de acordo com a rotação do motor através do platinado e a distribuição dessa alta tensão para as velas de ignição, seguindo a sequência de ignição projetada para o motor.

O transformador de tensão, apresentado na Figura 9, é um componente baseado no princípio da indução eletromagnética, onde a corrente elétrica circula por meio de um indutor, que é um componente passivo. O termo "enrolamento primário" é utilizado para descrever o enrolamento que recebe a energia de uma fonte de tensão externa, normalmente uma fonte de tensão alternada.

A relação entre esses enrolamentos determina se a tensão induzida no enrolamento secundário será maior ou menor do que a tensão aplicada no enrolamento primário, o que define se o transformador será elevador ou abaixador de tensão. A Figura 9 ilustra o princípio de funcionamento da indução

eletromagnética, onde a corrente flui do enrolamento primário para o secundário, gerando a tensão induzida na saída.

Figura 9 – Princípio de funcionamento de um transformador



Fonte - <https://www.suasaulasparticulares.com.br/blog/transformadores-seu-funcionamento> - Acesso em: 12/07/2023 às 16:34.

Quanto maiores forem os coeficientes de acoplamento e a indutância dos enrolamentos, maior será o valor da indutância mútua. Isso ocorre porque a indutância mútua é proporcional à taxa de variação do fluxo magnético entre os enrolamentos em relação à taxa de variação da corrente no outro enrolamento.

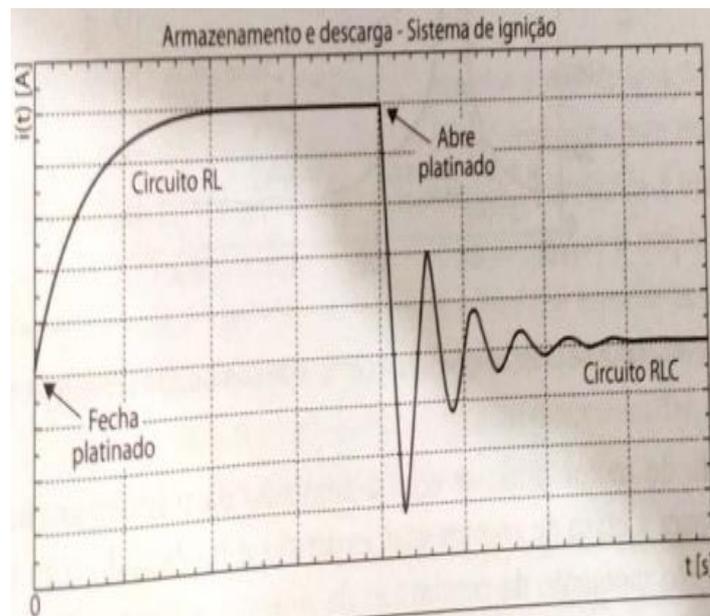
Do ponto de vista da construção, a bobina é semelhante a um transformador de tensão do tipo elevador de tensão. O enrolamento primário é composto por um fio de maior espessura e um número relativamente pequeno de espiras, enquanto o enrolamento secundário é formado por um número maior de espiras e um fio de menor espessura.

No entanto, o funcionamento da bobina não se limita apenas ao efeito de transformação de tensão. Uma tensão alternada é aplicada no enrolamento primário, mas são utilizados os efeitos transitórios gerados pelo chaveamento do platinado.

Quando o platinado se abre, ocorre uma variação intensa de corrente no circuito equivalente da bobina, indo do valor máximo para zero. Essa variação facilita a obtenção dos valores mencionados anteriormente, como 5kV e 20kV, gerando a centelha elétrica nas velas de ignição por meio da combinação construtiva do transformador e do indutor de forma transitória.

No entanto, pode ser que haja uma criação de centelha nos contatos. Para que isso não ocorra, é adicionado um capacitor que atua como condensador em paralelo aos terminais do platinado, evitando o surgimento dessa falha. Caso ela ocorresse, a energia transferida à vela e sua vida útil seriam diminuídas. A curva de armazenamento e descarga está entre o fechamento do platinado, e sua abertura; após seu fechamento o sinal se comporta como uma onda, assim como mostrado na Figura 10.

Figura 10 – Armazenamento e descarga

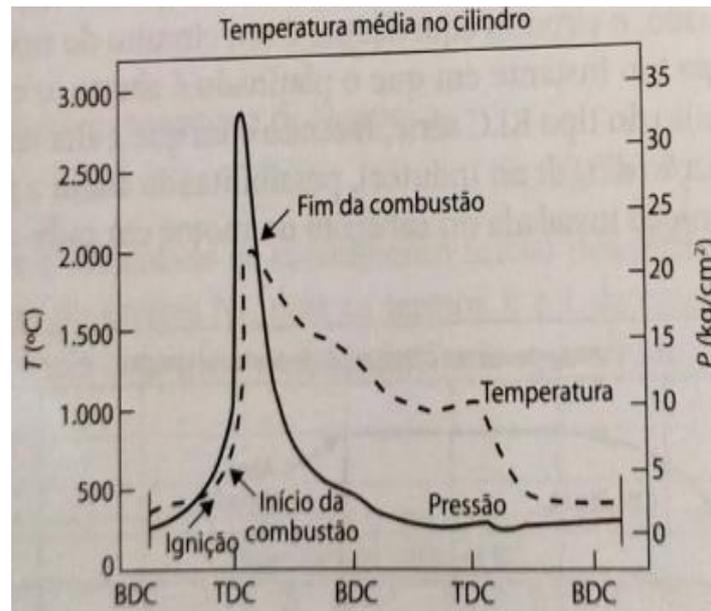


Fonte - Livro "MCI Vol. 1" - Capítulo 9

A vela de ignição é o último elemento responsável pela liberação da centelha elétrica. Sua função é converter toda energia elétrica armazenada na bobina de ignição, em uma centelha em seus eletrodos.

É de extrema importância que a estrutura como um todo seja capaz de suportar as elevadas temperaturas e pressões atingidas no interior da câmara de combustão, sendo nela que a ponte ignífera está projetada, ela então entrará em contato com um ambiente de elevadas temperaturas e pressões, demonstrados na Figura 11.

Figura 11 - Temperatura e pressão interna



Fonte - Livro "MCI Vol. 1" - Capítulo 9

A admissão da mistura ar-combustível é o início do ciclo do motor, que depois avança para a etapa de compressão, expansão e finaliza com a exaustão dos gases. As temperaturas atingidas no momento da combustão variam entre 2.000°C e 3.000°C com uma pressão de aproximadamente 50 kgf/cm², como mostrado na Figura 11.

Conseqüentemente, ocorre a exaustão do gás de escape, com temperaturas elevadas, chegando em 60°C, e com uma nova mistura ar-combustível injetada, a pressão é reduzida até se equivaler com a do ambiente externo.

A vela de ignição, em particular a ponte ignífera, deve ser capaz de conseguir resistir às vibrações mecânicas do motor, ao ataque químico provocado pelos gases de combustão, a alta temperatura, a pressão do gás de combustão e ainda, as alterações repentinas de temperatura e pressão.

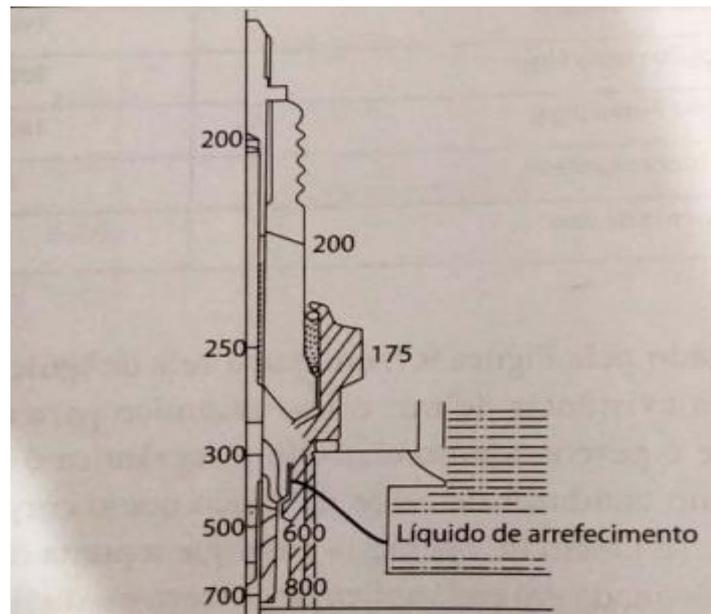
No quadro 1 são identificados os parâmetros de temperaturas para cada um dos componentes do sistema de ignição, com destaque para a ponta ignífera da vela de ignição. Já na Figura 12, são mostradas as temperaturas, especificamente, nas Velas de Ignição.

Quadro 1 – Descrição de temperatura de cada componente do motor de combustão interna

Componente	Temperatura máxima (°C)
Câmara de combustão (Cabeçote do motor e parte do cilindro)	300
Válvula de escape	600 ~ 800
Assento da válvula de escapamento	300 ~ 400
Válvula de injeção indireta	350 ~ 400
Parede do cilindro	110 ~ 120
Cabeça do pistão (liga)	300 ~ 350
Saia do pistão (liga)	130 ~ 300
Vela (ponte ignífera)	800
Assento da vela	150

Fonte - Livro "MCI Vol. 1" - Capítulo 9

Figura 12 – Distribuição da temperatura na vela de ignição



Fonte - Livro "MCI Vol. 1" - Capítulo 9

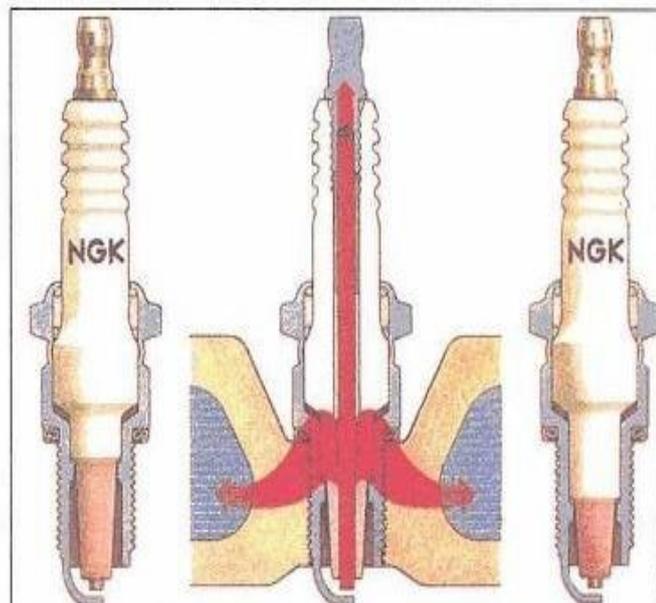
Conforme visto na Figura 12, a temperatura da área de contato da vela com o gás de combustão é altíssima, porém não basta que ela apenas resista à alta temperatura, sendo assim ela deverá ter uma eficiência elétrica para fornecer uma centelha ideal. Ideal porque ela deve ter uma energia suficiente para romper o dielétrico da mistura ar-combustível interna da câmara de combustão, que ocorre na faixa de 5 a 15 kV.

Por outro lado, com o motor em marcha lenta ou em baixa velocidade, pode ocorrer uma impregnação de impurezas geradas pelo gás de combustão sobre o eletrodo da vela, dessa forma, mesmo conseguindo satisfazer as eficiências elétricas, ele não conseguirá assegurar uma centelha com energia adequada se o isolador da ponte ignífera estiver sujo.

Esse eletrodo então, deverá ser capaz de suportar a temperatura e erosão pelo gás de combustão. Há uma faixa de temperatura da vela de ignição a ser respeitada, com valores entre 450°C e 850°C. Caso haja temperaturas abaixo dos 450°C, irá ocorrer a carbonização da ponta ignífera e, para temperaturas acima dos 850°C, a pré-ignição da mistura ar-combustível.

A Figura 13 apresenta a distribuição de calor entre velas, do tipo quente e frio. A temperatura mínima ideal para que a vela trabalhe sem a carbonização da ponta, denomina-se temperatura de autolimpeza. Uma troca de calor com o corpo deverá ser direcionada, para que se obtenha uma temperatura adequada em cada aplicação.

Figura 13 – Dissipação de calor nas velas quentes e frias



Fonte - <https://www.motonline.com.br/noticia/vela-quente-ou-vela-fria/> - Acesso em: 12/07/2023 às 16:43.

2.4 Sistema de injeção de combustível

De acordo com a BOSCH (2019), os últimos anos, o desenvolvimento tecnológico no setor automotivo tem sido marcado pela busca incessante por soluções que proporcionem maior eficiência e desempenho aos veículos. Nesse contexto, o sistema de injeção automotivo desempenha um papel fundamental, sendo responsável pela alimentação precisa de combustível nos motores de combustão interna. Esta parte do referencial teórico visa apresentar uma análise aprofundada do sistema de injeção automotivo, destacando sua evolução ao longo do tempo, seus componentes principais, princípios de funcionamento e benefícios em termos de desempenho, economia e redução de emissões.

2.4.1 LE-Jetronic

Como descrito pela BOSCH (2019), ela desenvolveu na década de 1980 o LE-Jetronic, que é um sistema de injeção eletrônica de combustível que teve como objetivo substituir os sistemas de carburador, amplamente utilizados na época. Adotado por diversos veículos europeus, como Volkswagen, BMW, Mercedes-Benz, Porsche, e alguns americanos, como o Chevrolet Camaro, o sistema utiliza sensores para medir a entrada de ar no motor e a temperatura do líquido de resfriamento, enviando essas informações para um computador central que calcula a quantidade de combustível necessário para uma combustão eficiente.

O combustível é então injetado em cada cilindro do motor por meio de um injetor de combustível. O LE-Jetronic forneceu diversas vantagens em relação aos sistemas de carburador, tais como melhores economias de combustível, desempenho aprimorado e redução de emissões. Além disso, permitiu um controle mais preciso do sistema de combustão, trabalhando ainda mais o desempenho do motor. Apesar de ter sido amplamente utilizado na década de 1980, o LE-Jetronic foi gradativamente substituído por sistemas mais avançados, como o Motronic, também desenvolvido pela Bosch, que possibilitava um controle ainda mais preciso do motor, assim como a capacidade de monitorar outros sistemas do veículo. No entanto, o LE-Jetronic é considerado um marco na evolução dos sistemas de injeção eletrônica de combustível e um passo importante no desenvolvimento de motores mais

eficientes e menos poluentes. Seus princípios básicos ainda são utilizados nos sistemas de injeção eletrônica modernos e avançados.

No entanto, o LE-Jetronic é considerado um marco na evolução dos sistemas de injeção eletrônica de combustível e um passo importante no desenvolvimento de motores mais eficientes e menos poluentes. Seus princípios básicos ainda são utilizados nos sistemas de injeção eletrônica modernos e avançados.

2.4.1.1 Função

Também pelas palavras da BOSCH (2019), a função da injeção de combustível, seja gasolina ou álcool, é fornecer uma quantidade exatamente dosada de combustível para o regime momentâneo de funcionamento do motor. Para isso, é necessário que o sistema seja capaz de processar uma grande quantidade de parâmetros importantes para a dosagem do combustível. No entanto, como as condições de operação do motor mudam frequentemente e de forma rápida, é extremamente importante que a quantidade de combustível seja rapidamente adaptada ao regime momentâneo de funcionamento. É exatamente nesse aspecto que a injeção de combustível comandada eletronicamente se mostra especialmente adequada.

Através desse sistema, é possível captar todos os dados operacionais necessários em qualquer local do veículo e transformá-los em sinais elétricos por meio de sensores. Esses sinais são enviados à unidade de comando do equipamento de injeção, que os processa e calcula imediatamente a quantidade de combustível a ser injetada. Essa quantidade é dosada de acordo com o tempo.

2.4.1.2 Vantagens

Alta potência: O consumo do carburador permite uma concepção otimizada do sistema de admissão, gerado em um torque mais alto devido ao melhor enchimento dos cilindros. Em vez de carburação, o combustível é injetado diretamente antes da válvula de admissão. Isso significa que o motor aspira apenas

através dos coletores de admissão, que podem ser projetados de forma otimizada para otimizar o fluxo de ar e o enchimento dos cilindros.

Com esse sistema, é possível obter uma potência específica mais elevada e uma curva de torque mais adequada para o uso.

Menor consumo: O sistema LE-Jetronic permite que o motor receba somente a quantidade necessária de combustível, ocasionando em um consumo menor. Cada cilindro separadamente é abastecido com a mesma quantidade de combustível em todos os regimes de funcionamento, evitando os fenômenos de separação do ar e combustível que ocorrem nos antigos sistemas de carburador. A separação provoca misturas ar-combustível diferentes em cada cilindro, o que leva a uma distribuição não otimizada de combustível. Isso ocasiona um alto consumo e em sobrecarga desigual em cada cilindro. Para corrigir isso, é necessário produzir uma mistura que ainda possa fornecer combustível suficiente para o cilindro com maior demanda.

Resposta rápida: O sistema LE-Jetronic oferece uma rápida resposta, já que a sua unidade de controle é capaz de calcular em milissegundos a quantidade ideal de combustível que será injetada pela válvula de injeção, que fica posicionada imediatamente antes da válvula de admissão do motor para sistemas de injeção indireta. Isso permite que o sistema se adapte praticamente sem atrasos a todas as variações de carga do motor.

Gases de escapamento com baixo nível de poluentes: Ao se considerar a concentração de poluentes nos gases de escapamento, há uma relação direta com a razão ar-combustível. Para que seja possível reduzir a emissão de poluentes, é necessário que o sistema de preparação de mistura mantenha uma relação ar-combustível adequada. O sistema LE-Jetronic é capaz de trabalhar com precisão suficiente para manter a relação ar-combustível necessária, assim atendendo às demandas atuais de redução de emissões de poluentes (BOSCH, 2019).

2.4.1.3 Princípio de funcionamento

O sistema LE-Jetronic trabalha por meio da alimentação de combustível ao motor, através de uma bomba geradora da pressão necessária para a injeção. As válvulas de injeção, controladas pela unidade eletrônica de comando, injetam o

combustível nos coletores de admissão individuais. Basicamente, o sistema LE-Jetronic é constituído pelas seguintes partes:

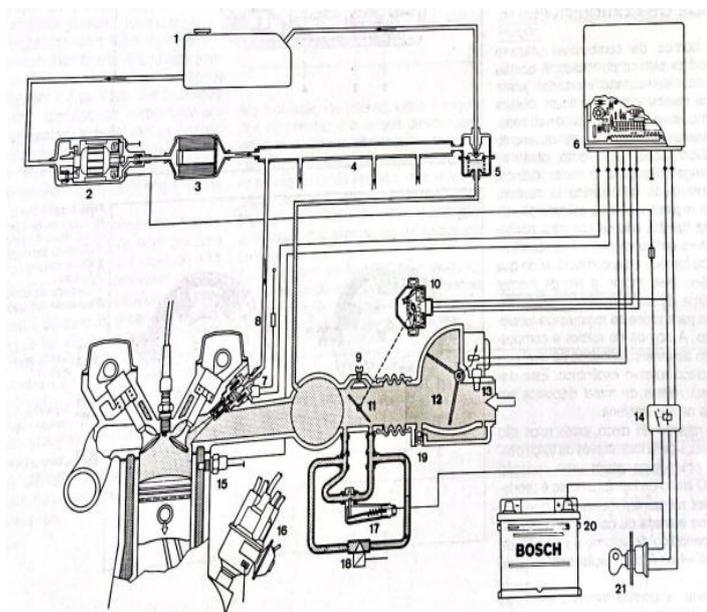
O primeiro deles é o sistema de aspiração, que é responsável por fornecer a quantidade de ar necessária ao motor e é composto pelo coletor de admissão, filtro de ar, coletores individuais de admissão e pela borboleta de aceleração.

Além disso, o sistema também conta com sensores que captam as variáveis importantes do funcionamento do motor. A principal delas é a quantidade de ar aspirada, medida pelo medidor de fluxo de ar.

Os sensores são responsáveis por captar as variáveis que representam o regime de funcionamento do motor. A principal variável é a quantidade de ar aspirada pelo motor, que é medida pelo medidor de fluxo de ar. Além disso, outros sensores captam informações como a posição da borboleta de aceleração, a rotação do motor e as temperaturas do ar e do motor.

O sistema de combustível é responsável por puxar o combustível do tanque e conduzi-lo às válvulas de injeção, mantendo a pressão necessária para a injeção constante. É composto por uma bomba alimentadora, um filtro de combustível, um tubo distribuidor, um regulador de pressão e as próprias válvulas de injeção. Na Figura 14 é mostrada uma visão do sistema LE-Jetronic, com seus componentes e suas respectivas conexões (BOSCH, 2019).

Figura 14 – Componentes do Sistema LE-Jetronic



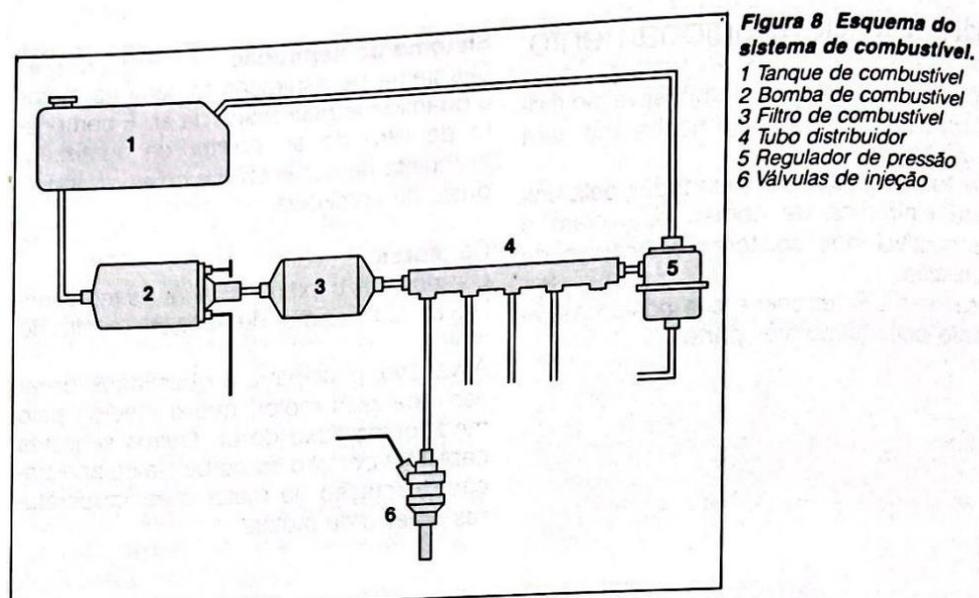
Fonte - Sistema de Injeção Eletrônica de Combustível: LE-Jetronic

2.4.2 Sistema de combustível

O sistema de combustível é responsável por fornecer ao motor a quantidade necessária de combustível sob pressão, independente do regime de funcionamento. A bomba elétrica de roletes é responsável por succionar o combustível do tanque e distribuí-lo através de um tubo distribuidor, passando por um filtro com uma pressão em torno de 3,0 bar. As válvulas de injeção estão localizadas no tubo de distribuição.

O regulador de pressão, que fica na ponta do tubo distribuidor, tem a função de manter a pressão de injeção constante. O sistema de combustível é projetado para suprir o motor com mais combustível do que ele necessita em condições extremas de consumo. O excesso de combustível retorna ao tanque de combustível, sem pressão, por meio do regulador de pressão. Esse fluxo contínuo de combustível garante que o sistema seja sempre alimentado com combustível frio, prevenindo a formação de bolhas de vapor e assegurando um bom desempenho em partidas a quente. A Figura 15 enumera cada parte do Sistema de Combustível, sendo, em ordem crescente o tanque de combustível, bomba de combustível, filtro de combustível, tubo distribuidor, regulador de pressão e por fim, as válvulas de injeção (BOSCH, 2019).

Figura 15 – Esquema do Sistema de Combustível



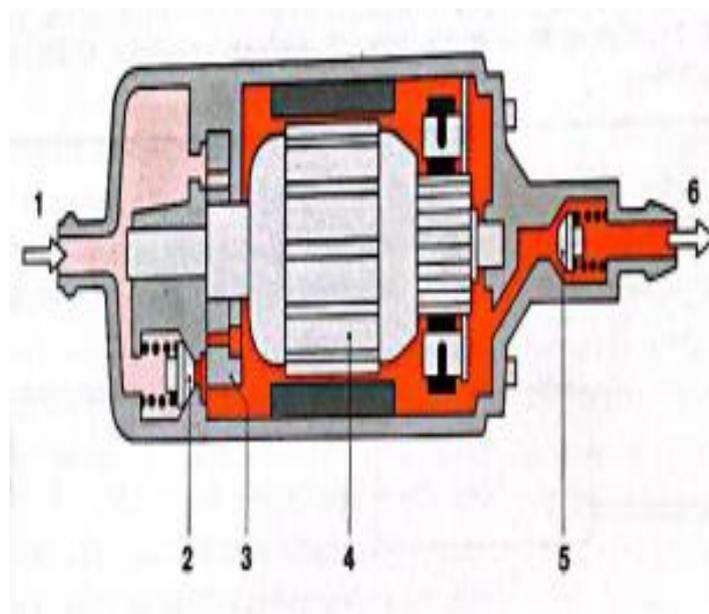
2.4.2.1 Bomba de combustível

O sistema de bomba de combustível utiliza uma bomba elétrica de roletes, na qual a bomba e o motor elétrico são integrados em uma única carcaça, submersa no combustível. Essa construção apresenta vantagens, como evitar problemas de vazamento e lubrificação e fornecer boa refrigeração para o motor elétrico.

Não há risco de explosão, pois a carcaça da bomba e do motor não contém misturas em condições de combustão. A bomba é projetada para fornecer mais combustível do que o necessário pelo motor, a fim de manter a pressão necessária em todos os regimes de funcionamento.

A bomba de roletes é composta por um alojamento cilíndrico e um disco rotativo excêntrico com roletes de metal dispostos em rebaxos na sua periferia. Com a rotação do disco, os roletes são empurrados para fora pela força centrífuga, formando uma vedação móvel. O movimento dos roletes provoca um aumento periódico de volume na entrada de combustível e uma diminuição periódica de volume na saída, criando o efeito de bombeamento. A Figura 16 descreve cada parte da bomba elétrica de combustível, com a seguinte numeração: 1 para o lado de aspiração, 2, limitador de pressão, 3, bomba de roletes, 4, induzido do motor, 5, válvula de retenção e 6, lado de pressão.

Figura 16 – Bomba elétrica de combustível



Fonte - Sistema de Injeção Eletrônica de Combustível: LE-Jetronic

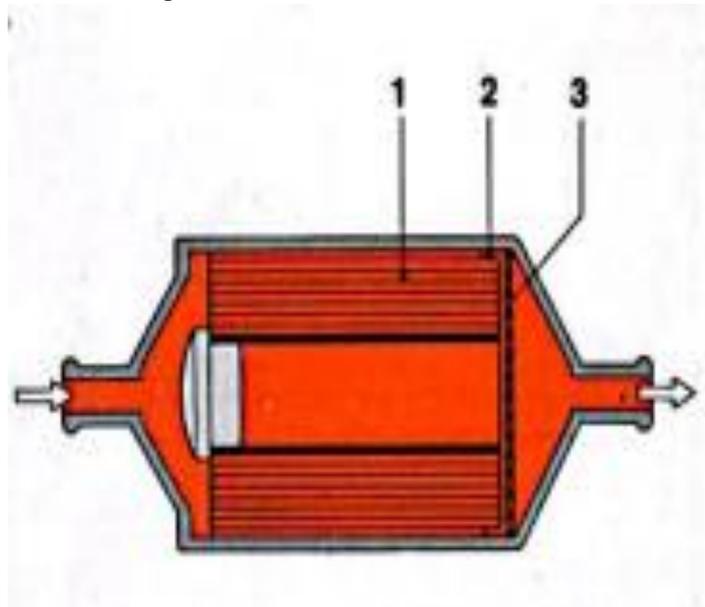
2.4.2.2 Filtro de combustível

O filtro de combustível tem a função de reter impurezas presentes no combustível e para isso, ele é instalado após a bomba de combustível.

O filtro de combustível é dividido em: 1, Elemento de papel; 2, peneira e 3, placa de apoio. Todos esses estão representadas na Figura 17. O elemento de papel possui uma porosidade média de 10 micrômetros. Após ele, existe uma peneira, a qual bloqueia a passagem de partículas de papel que possam se soltar. Em função disso, necessariamente o filtro deve ser instalado de modo que o fluxo do fluido siga o mesmo sentido indicado pelas setas. Por fim, o filtro é fixado na carcaça de metal por meio de uma placa de apoio.

Esse aparato deve ser substituído integralmente quando for trocado, de modo que essa demanda de troca ocorre conforme a quantidade de impurezas contidas no combustível. Em geral, essa troca ocorre entre 20000 e 50000 quilômetros percorridos pelo veículo.

Figura 17 – Filtro de combustível



Fonte - Sistema de Injeção Eletrônica de Combustível: LE-Jetronic

2.4.2.3 Regulador de pressão

O regulador de pressão é colocado na extremidade do tubo distribuidor e funciona com uma membrana. Ele mantém a pressão do combustível no sistema em 2,5 ou 3 bar, dependendo do modelo, a fim de que demasiadas pressões não drenem mais combustível do que deveria, mandando o excesso de volta ao tanque.

O regulador é composto por uma carcaça de metal dividida em duas partes por uma membrana rebordeada, que separa a câmara da mola e a câmara do combustível. A mola helicoidal é alojada na câmara da mola e aplica uma pré-tensão na membrana.

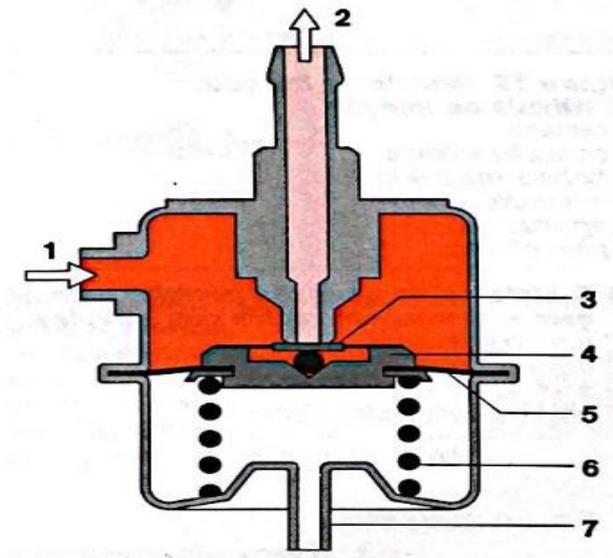
A Figura 18 demonstra as partes que compõem essa estrutura, sendo estas: 1 - Local de entrada do combustível; 2 – local de retorno do combustível para o tanque; 3 – placa da válvula; 4 – suporte da válvula; 5 – diafragma; 6 – molas de pressão e 7 – conexão para o coletor de admissão.

A câmara da mola do regulador de pressão está conectada ao coletor de admissão do motor, após a borboleta de aceleração, através de uma tubulação. Isso significa que a pressão no sistema de combustível é influenciada pela pressão absoluta no coletor de admissão e, portanto, a queda de pressão através da válvula de injeção permanece constante em qualquer posição da borboleta de aceleração.

Em suma, o que ocorre é que as variações de pressão geradas no coletor de admissão em diferentes regimes do motor cria uma depressão na zona abaixo do diafragma e do suporte da válvula e com isso, surge uma deformação no diafragma que realiza a abertura da placa da válvula e permite que o excesso de combustível retorne à sua origem sempre que houver uma elevação de pressão.

Entre o regulador de pressão e o tanque de combustível é instalado um amortecedor de oscilações na tubulação de retorno. Esse componente é construído de forma semelhante ao regulador de pressão, mas sem a conexão com o coletor de admissão. Seu objetivo é evitar flutuações de pressão e consequentes ruídos indesejados.

Figura 18 – Regulador de pressão

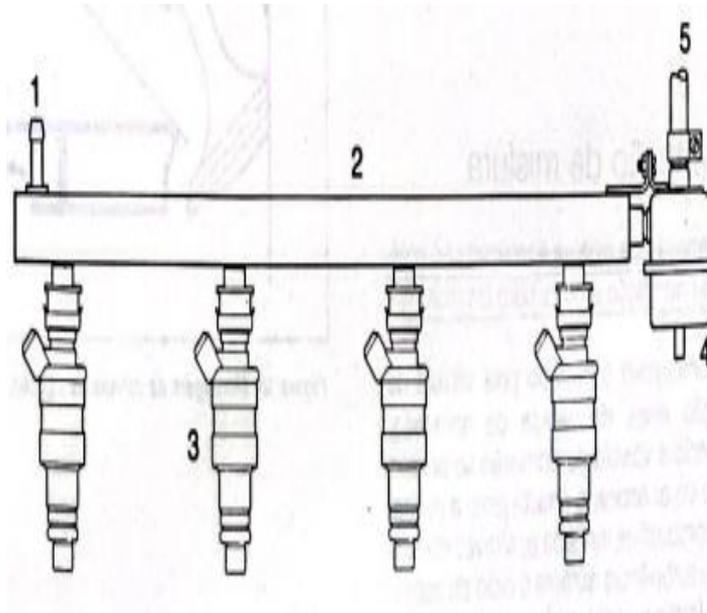


Fonte - Sistema de Injeção Eletrônica de Combustível: LE-Jetronic

2.4.2.4 Tubo distribuidor

O tubo distribuidor é uma parte importante do sistema de combustível. Entre o regulador de pressão e o tanque de combustível, é instalado um amortecedor de oscilações. Esse amortecedor é construído de maneira semelhante ao regulador de pressão, mas sem conexão com o coletor de admissão. O seu objetivo é evitar oscilações de pressão e eliminar ruídos causados por essas oscilações. As pulsações de pressão são geradas pela variação da pressão do combustível durante a abertura ou fechamento das válvulas de injeção ou do regulador de pressão. A primeira etapa descrita na Figura 19 é a entrada de combustível, que passa pelo tubo distribuidor, trecho número 2; as válvulas de injeção são conectadas ao tubo distribuidor, estão identificadas com o número 3, o número 4 aponta o regulador de pressão e por último, o retorno, como número 5.

Figura 19 – Tubo distribuidor



Fonte - Sistema de Injeção Eletrônica de Combustível: LE-Jetronic

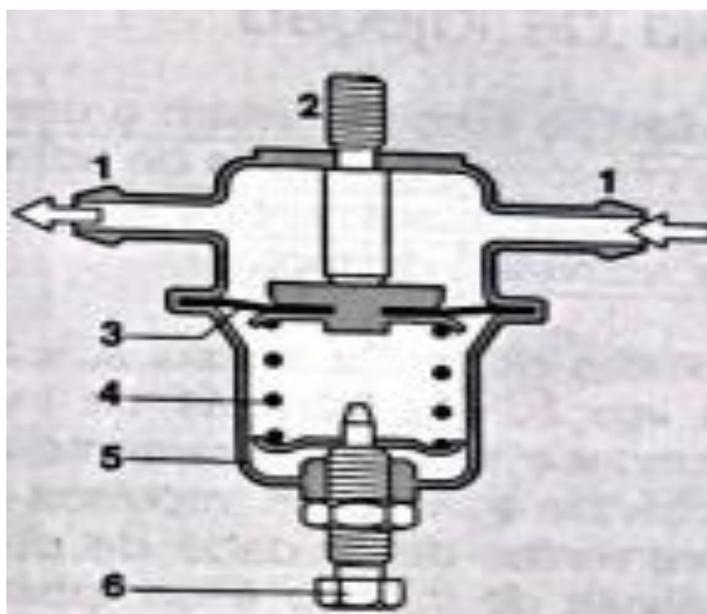
2.4.2.5 Amortecedor de oscilações

O amortecedor de oscilações tem a função de evitar o ruído gerado pelas pulsações, as quais surgem devido às mudanças de pressão no combustível nas aberturas e fechamentos das válvulas de injeção.

Como citado antes, ele é instalado entre o regulador de pressão e o tanque na tubulação de retorno e é construído de forma semelhante ao regulador de pressão, de modo que não possui ligação à válvula de admissão.

Constitui-se de 6 partes, sendo: 1 - ligação de combustível; 2 - rosca de fixação; 3 - diafragma; 4 - mola de pressão; 5 - carcaça e 6 - parafuso de ajuste, mostrados na figura 20.

Figura 20 - Amortecedor de oscilações



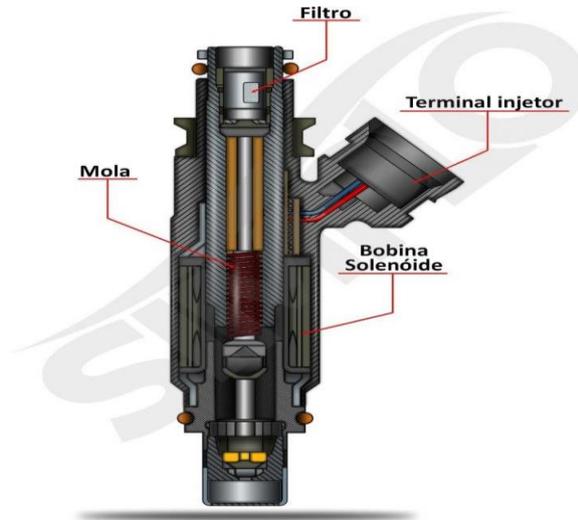
Fonte - Sistema de Injeção Eletrônica de Combustível: LE-Jetronic

2.4.2.6 Válvula de Injeção

É destacado pela BOSCH (2019) em suas instruções técnicas a importância dos sistemas de eletrônica de motor na indústria automotiva, fornecendo informações valiosas sobre o assunto, demonstrando que cada cilindro do motor é equipado com sua própria válvula de injeção, responsável por injetar o combustível nos coletores individuais de admissão imediatamente antes das válvulas de admissão do motor. As válvulas de injeção são acionadas eletronicamente por impulsos elétricos provenientes da unidade de comando. Elas são compostas por um corpo de válvula e uma agulha na qual o induzido do magneto se assenta. O corpo da válvula contém o enrolamento e a guia para a agulha. Quando não há corrente no enrolamento, a agulha do injetor é pressionada por uma mola helicoidal contra o seu assento na saída.

Quando a bobina magnética é energizada, a agulha se eleva aproximadamente 0,1 mm do assento, permitindo a passagem de combustível através de uma fenda anelar calibrada. A extremidade anterior da agulha possui um pino cônico com uma superfície retificada para pulverização do combustível. O tempo de abertura e fechamento é de 1 a 1,5 ms dependendo do regime que se encontra. A fim de garantir uma boa distribuição de combustível com baixas perdas por condensação, é necessário evitar o umedecimento das paredes do coletor de admissão. Por isso, o ângulo de injeção e a distância das válvulas de injeção até a válvula de admissão do motor devem ser determinados especificamente para cada motor. A montagem das válvulas de injeção é realizada com suportes especiais e o alojamento das válvulas de injeção nesses suportes é feito por meio de anéis de borracha, proporcionando isolamento térmico para evitar a formação de bolhas de vapor e proteção contra altas solicitações de vibração. As válvulas são fixadas ao tubo distribuidor por meio de travas, como mostrado na Figura 21.

Figura 21 – Válvula de Injeção



Fonte - <https://blog.simplusbr.com/valvula-injetora/> - Acesso em: 12/07/2023 às 17:13.

2.4.2.7 Formação da mistura

A mistura de ar e combustível é formada tanto no coletor de admissão quanto no cilindro do motor, sendo que o combustível é injetado pela válvula de injeção antes da válvula de admissão. Quando a válvula de admissão se abre, o fluxo de ar aspirado arrasta a nuvem de combustível e, graças ao efeito de turbulência gerado durante o ciclo de aspiração, a mistura é formada e fica pronta para entrar em combustão (BOSCH, 2019).

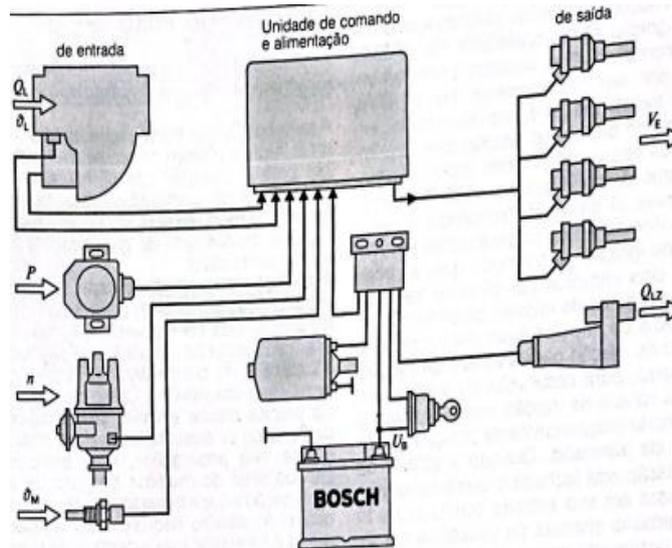
2.4.3 Sistema de Comando

Robert Bosch (2019) citou que o sistema de comando, demonstrado na Figura 22, é composto pelos sensores que coletam informações sobre o regime de funcionamento do motor e as enviam em forma de sinais elétricos para a unidade de comando. Essa unidade, por sua vez, processa os dados recebidos e coordena o funcionamento do motor com base nessas informações.

Para identificar o regime de funcionamento do motor, as grandezas de medição podem ser categorizadas da seguinte forma:

- Grandezas de medição principais
- Grandezas de medição para adaptação
- Grandezas de medição para ajustes finos

Figura 22 – Sistema de Comando e seus sinais



Fonte - Sistema de Injeção Eletrônica de Combustível: LE-Jetronic

2.4.3.1 Grandezas de medição principais

As grandezas de medição principais incluem a rotação do motor e a quantidade de ar que é aspirada por ele. A partir dessas informações, é possível determinar a quantidade de ar que entra no motor em cada ciclo de pistão, o que serve como uma medida direta para o regime de carga do motor (BOSCH, 2019).

2.4.3.2 Grandezas de medição para adaptação

As grandezas de medição para adaptação são utilizadas quando o motor está operando em regimes diferentes do regime normal. Isso é especialmente relevante durante a partida a frio, fase de aquecimento e adaptação de carga. Durante a partida a frio e fase de aquecimento, a temperatura do motor é monitorada por sensores que informam à unidade de comando. Já para adaptação aos diferentes regimes de carga, a unidade de comando recebe informações das diferentes faixas de carga (marcha-lenta, cargas parciais e plena carga) através do interruptor da borboleta. A mistura de combustível deve ser ajustada para se adequar a essas condições de funcionamento (BOSCH, 2019).

2.4.3.3 Grandezas de medição para ajustes finos

Segundo Robert (2019), para melhorar a dirigibilidade do veículo, é necessário considerar outros regimes de funcionamento e fatores que afetam a dosagem de combustível. Sensores podem ser usados para monitorar o comportamento de transição durante as acelerações, a limitação da rotação máxima e a operação com freio-motor. Em tais regimes de funcionamento, há uma correlação entre os sinais desses sensores. A unidade de comando reconhece essa correlação e age adequadamente nos sinais de comando para as válvulas de injeção. Isso é conhecido como grandeza de medição para adaptação fina.

2.4.3.4 Processamento dos impulsos

Os impulsos gerados pelo sistema de ignição são processados pela unidade de comando, passando primeiro por um transformador que os converte em impulsos retangulares, independentemente do número de cilindros. Esses impulsos são então divididos em frequência por um divisor de frequência para produzir dois impulsos por ciclo de trabalho.

O início da injeção é sincronizado com o início do impulso da ignição, garantindo que cada válvula de injeção injete uma vez por volta do virabrequim, independentemente da posição da válvula de admissão. Quando a válvula de admissão está fechada, o combustível permanece em sua entrada e é aspirado juntamente com o ar na próxima abertura da válvula de admissão, sendo conduzidos para a câmara de combustão.

O tempo de injeção é determinado pela quantidade de ar aspirada pelo motor e pela sua rotação (BOSCH, 2019).

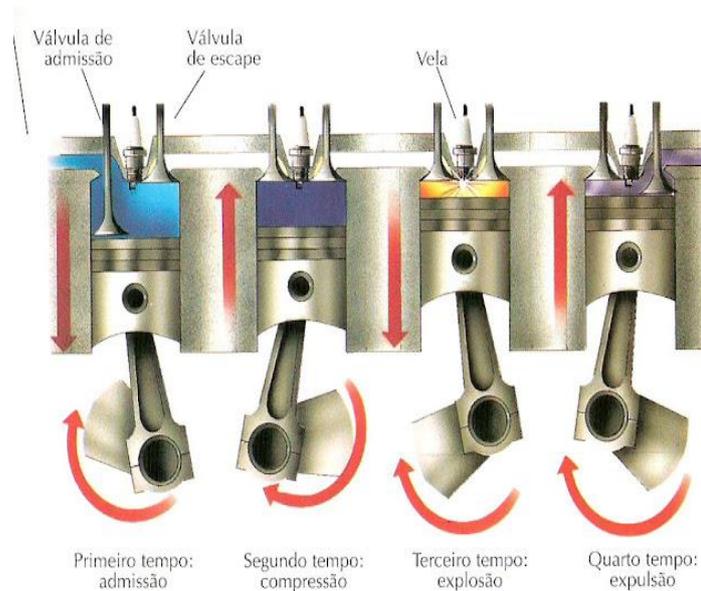
2.4.3.5 Medição do fluxo de ar

A quantidade de ar que o motor aspira é uma medida indicativa da sua carga, e é utilizada para a dosagem de combustível, destacada na Figura 23. Essa quantidade é medida e serve como variável principal para a dosagem de combustível, e é conhecida como quantidade básica de combustível. A medição do

fluxo de ar capta as modificações que ocorrem no motor, como desgaste, depósito de resíduos na câmara de combustão e alterações na regulação das válvulas. Durante as acelerações, ocorre uma antecipação do sinal do medidor de fluxo de ar em relação ao enchimento real de ar no cilindro de combustível, o que resulta em um enriquecimento da mistura durante a fase de aceleração, o que é desejado.

O medidor de fluxo de ar utiliza o princípio de medição da força produzida pelo fluxo de ar aspirado, que atua sobre a palheta sensora, em oposição à força de uma mola. A palheta se move de tal forma que, em conjunto com o perfil do canal de medição, a área livre de passagem aumenta com o aumento do fluxo de ar. A variação da área livre de passagem é escolhida de modo a obter uma correlação logarítmica entre o ângulo de posicionamento da palheta sensora e a quantidade de ar aspirada, o que aumenta a sensibilidade do medidor de fluxo de ar para baixas quantidades de ar que requerem maior precisão. Para minimizar as influências das oscilações provocadas pelo curso de aspiração dos cilindros sobre a posição da palheta sensora, é fixada uma palheta de compensação. Isso garante que as oscilações de pressão atuem uniformemente sobre a palheta sensora e a palheta de compensação, anulando os momentos resultantes em cada uma delas e não influenciando a medição. O potenciômetro transforma a posição angular da palheta sensora em uma tensão elétrica, que é inversamente proporcional à quantidade de ar aspirada. Para garantir a precisão, a unidade de comando avalia apenas relações de resistência, evitando influências de envelhecimento e temperatura sobre o potenciômetro. Para regular a composição da mistura na marcha lenta, existe um bypass ajustável que desvia uma pequena quantidade de ar que não passa pela palheta sensora (BOSCH, 2019).

Figura 23 – Fluxo de ar aspirado pelo motor



Fonte – <http://marcosdaautoescola.blogspot.com/2012/04/mecanica-basica.html> - Acesso em: 13/07/2023 às 12:45.

2.4.3.6 Partida a frio

Conforme citado nos escritos de Robert (2019), durante a partida a frio, a mistura de ar e combustível aspirada pelo motor pode sofrer perdas devido à condensação de componentes do combustível. Para compensar essas perdas e facilitar a partida do motor, é necessária uma injeção adicional de combustível no momento da partida. Essa injeção adicional é determinada pela temperatura do motor e é limitada no tempo. Essa técnica é conhecida como enriquecimento de partida a frio e resulta em uma mistura temporariamente mais rica, com uma relação ar/combustível menor do que 1. O enriquecimento pode ser feito de duas maneiras: Através de um comando na unidade de comando ou das válvulas de injeção para veículos a gasolina, ou por meio de uma válvula de partida adicional para injeção de gasolina em carros a álcool.

O tempo de injeção durante o comando de partida depende dos seguintes fatores: Temperatura do líquido de arrefecimento (ou seja, temperatura do motor), rotação do motor e duração do processo de partida.

Durante a ativação do motor de partida, o comando de partida é acionado para injetar impulsos de combustível em sincronia com cada impulso de ignição. Esses impulsos adicionais de injeção são sobrepostos à função normal de partida e distribuídos entre os impulsos regulares de injeção. Isso é feito para melhorar a preparação da mistura durante o procedimento de partida, especialmente quando o

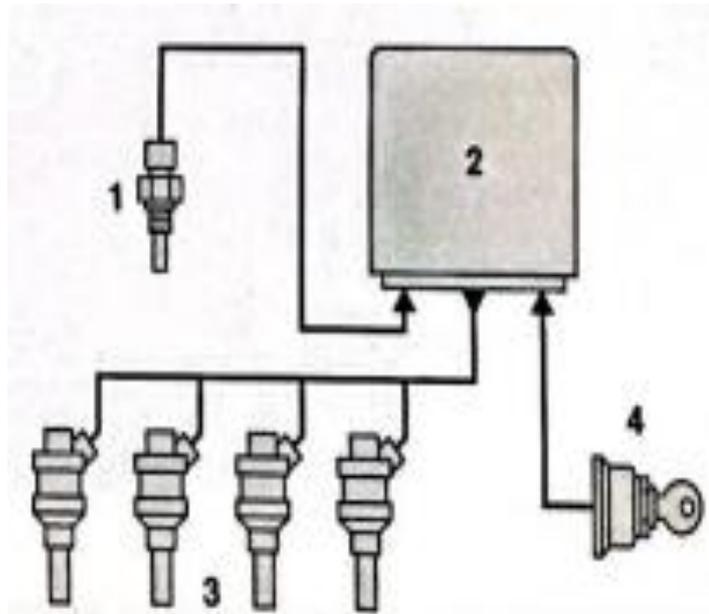
motor está frio. Para motores de 4 cilindros, os impulsos de injeção são disparados duas vezes por rotação do virabrequim, ou seja, junto com cada impulso de ignição. Os impulsos formados durante o comando de partida são sobrepostos aos impulsos normais de injeção.

À medida que o tempo de partida aumenta, os impulsos do comando de partida tornam-se cada vez mais curtos. No entanto, se a rotação de partida também aumentar, o impulso do comando de partida cessará e apenas a quantidade normal de partida será injetada.

Durante a fase de aquecimento, o motor é alimentado com uma quantidade maior de combustível. Após a partida a frio, inicia-se a fase de aquecimento, na qual é necessário um enriquecimento substancial para compensar a condensação do combustível nas paredes frias do cilindro. Além disso, sem esse enriquecimento adicional, haveria uma queda significativa na rotação logo após o corte da injeção adicional de combustível do comando de partida a frio. O enriquecimento da partida através do comando de partida depende do sensor de temperatura do motor (1), da unidade de comando (2), das válvulas de injeção (3) e da chave de ignição (4), representados numericamente na Figura 24.

Logo após a partida, por exemplo a -20°C , é necessário injetar duas a três vezes mais combustível do que o necessário em condições de trabalho a quente, dependendo do tipo de motor. Durante essa fase inicial de aquecimento, ocorre um enriquecimento temporário chamado de "enriquecimento após a partida", que dura cerca de 30 segundos e varia de 30% a 60% de combustível adicional, dependendo da temperatura.

Figura 24 - Enriquecimento da partida através do comando de partida



Fonte - Sistema de Injeção Eletrônica de Combustível: LE-Jetronic

3. METODOLOGIA

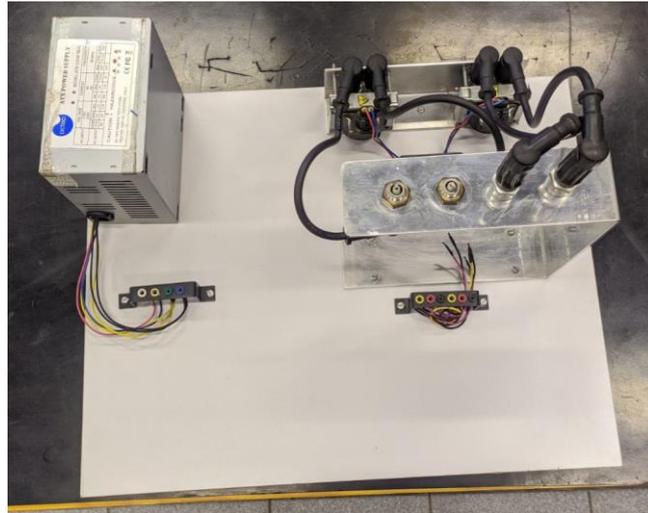
Nessa seção será relatado como foi feita a restauração dos kits, começando pelo kit de ignição e depois falando do kit de injeção eletrônica.

O que se pretende como resultado é restaurar 1 kit de cada tipo para que fique nas dependências da FATEC Santo André e 1 de cada tipo para ser encaminhado à USP.

3.1 Kit de Ignição

Antes da restauração dos kits de ignição, os mecanismos estavam em uma tábua de madeira cinza com bornes de encaixe nos terminais dos aparatos e sem nenhuma estrutura de controle ou conexão feita entre eles, além de existir uma densa camada de poeira em toda a estrutura dele. É possível observar esse estado inicial na Figura 25.

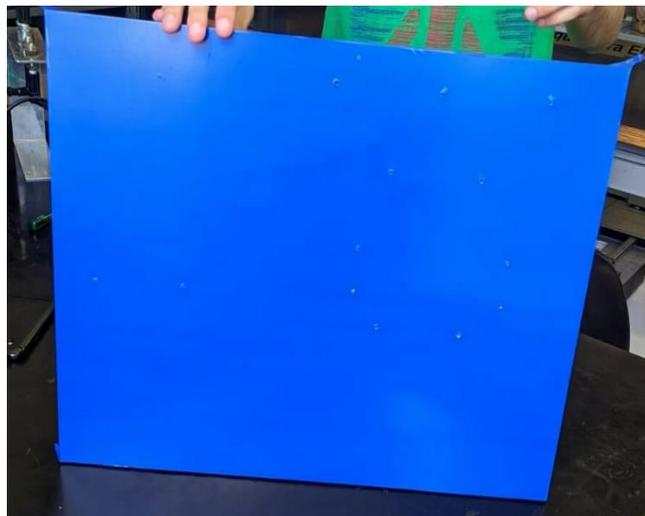
Figura 25 – Estado inicial do kit de ignição



Fonte – Autores (2022)

Foi dado início às manutenções desses equipamentos didáticos desparafusando todos os utensílios, realizando uma limpeza e realizando os testes dos componentes. Após esse processo, com a adesão de papéis autoadesivos de cor azul, a madeira foi encapada, dando um aspecto mais vivo ao kit. Pode-se notar como ficou a tábua encapada na Figura 26.

Figura 26 – Tábua encapada do kit de ignição



Fonte – Autores (2022)

Ademais, foram esquematizados layouts de etiquetas para serem colados no canto inferior direito da tábua encapada contendo o logo das instituições das quais

eles ficarão, além da identificação do nome do kit. Nas Figuras 27 e 28 são mostrados esses layouts.

Figura 27 – Layout da etiqueta do kit de ignição da FATEC Santo André



Fonte – Autores (2022)

Figura 28 - Layout da etiqueta do kit de ignição da USP



Fonte – Autores (2022)

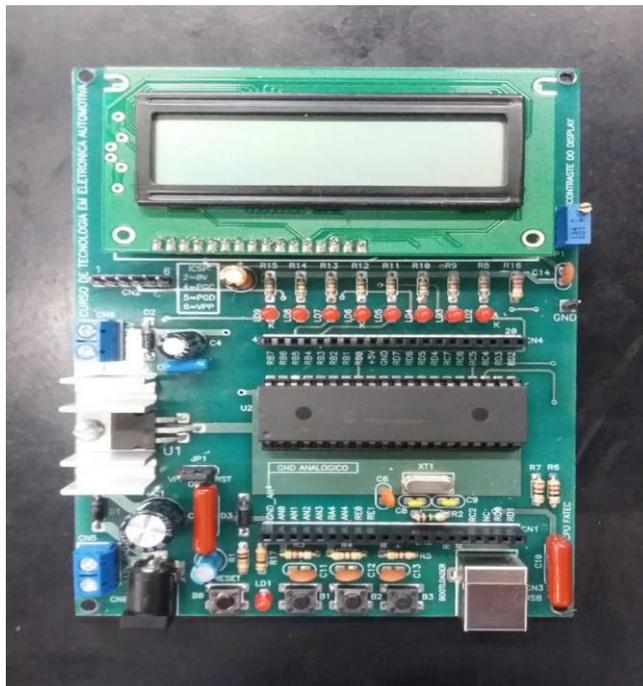
Por fim, após ter realizado medidas de comprimento, as fontes de tensão foram coladas na superfície encapada. Também foram posicionadas canaletas na tábua para que os fios dos circuitos elétricos passem por meio delas.

3.1.1 Softwares associados aos kits de ignição

A fim de conseguir demonstrar o funcionamento dos sistemas reais, foi-se implementado um código em linguagem C para ser executado em microcontroladores, que podem também ser chamados de *Programmable Interface Controller* (PIC), ou, no português, controladores de interface programável. Foram usados 2 deles: Um para simular o sinal de rotação do motor de combustão interna (MCI), e outro para lê-lo e através disso, realizar o controle da ignição.

Ambos os PIC's são do modelo 18F4550, o qual estivemos mais familiarizados ao longo do curso. Eles estão acoplados a um soquete que está soldado as chamadas "E.C.U.'s FATEC". Elas são uma placa de circuito esquematizada pelos docentes da FATEC Santo André com o objetivo de facilitar o uso dos microcontroladores PIC em testes por parte dos estudantes dessa instituição. Na Figura 29, há um exemplar dessa placa montado.

Figura 29 – Placa de circuito do PIC



Fonte – Autores (2022)

3.1.1.1 Rotação

O primeiro microcontrolador (PIC 1) simula um sinal de rotação especificamente dos regimes de uma faixa que compreende 1000RPM (rotações por minuto) até 6000RPM, sendo incrementado em 500RPM até atingir o limite superior ou decrementado nesse mesmo valor até atingir o limite inferior através de 2 botões que realizam essas funções. Uma vez selecionado um regime de rotação, ele terá seu valor em RPM mostrado em um display LCD HD44780.

O sinal possui os tempos em valor lógico 1 representando os dentes da roda fônica constante, mudando somente os tempos em nível 0 conforme ocorrem as mudanças nos regimes de rotação. Passados 58 dentes, há um tempo em nível baixo 2 vezes maior, simulando a falha do espaço de 2 dentes característico da roda fônica que é usado para interpretar o fim e o início de cada volta do eixo do motor.

3.1.1.1.1 Sinais de rotação gerados

À medida que o software era desenvolvido, foram realizados testes para a validação dele por intermédio de um osciloscópio.

Buscou-se verificar nesses testes a integridade do sinal, o que também inclui a falha dos 2 dentes. O tempo em estado 1 está fixo em 0,1ms (milissegundo). Como citado, é esperado que ele também seja capaz de alterar o tempo em que o sinal permanece em estado lógico 0 de acordo com o regime selecionado pelo usuário, de modo que o regime atual seja visível em um display.

De acordo com um roteiro de estudo para uma experiência em laboratório desenvolvido pelo professor orientador Paulo Hayashida, os seguintes cálculos são feitos para se saber quanto tempo o sinal deve permanecer no estado 0 para cada regime de rotação e comprovar o funcionamento adequado do equipamento.

Primeiro, calcula-se as rotações por segundo. Como existem 60 segundos em um minuto, então divide-se por 60 as rotações por minuto mostradas no display do microcontrolador, conforme a equação:

$$Rotações\ por\ segundo\ (RPS) = \frac{Rotação\ em\ RPM}{60};$$

Depois, é calculado o tempo de uma volta da roda fônica. Como RPS é uma medida de frequência e essa é o inverso do período, operando-se RPS^{-1} , obtém-se o tempo desejado:

$$\text{Tempo de uma volta } (T_{\text{volta}}) = RPS^{-1} = \frac{1}{RPS};$$

Com isso, obtém-se o tempo de cada dente da roda fônica (o período compreendido entre 2 pulsos em alta). A roda fônica tem 60 tempos de dente. Então divide-se o período de uma volta por 60 para chegar ao valor unitário de cada um desses tempos:

$$\text{Tempo de um dente } (T_{\text{dente}}) = \frac{T_{\text{volta}}}{60};$$

Por fim, para se obter o valor do tempo em que o sinal permanece em estado lógico baixo, subtrai-se do tempo de um dente o valor fixo de 0,1ms (que é o espaço de tempo em que o sinal permanece em estado 1, conforme já mencionado):

$$\text{Tempo em nível lógico baixo } (T_{\text{baixo}}) = T_{\text{dente}} - 0,1\text{ms};$$

Na falha da roda fônica, o sinal deve estar em estado lógico baixo durante o tempo em baixa do dente 58 e permanecer assim nos tempos completos do que seriam os dentes 59 e 60. Assim sendo:

$$\text{Tempo da falha } (T_{\text{falha}}) = T_{\text{baixo}} + T_{\text{dente}} \times 2.$$

Nas figuras 31, 32 e 33 pode-se ver amostras dos sinais de rotação obtidos nos regimes de 1000RPM, 3000RPM e 6000RPM, respectivamente. Com base nos cálculos acima apresentados, pressupõe-se que os tempos em nível lógico 0 para essas rotações devem ser de 900 μ s (microssegundos), 233,33 μ s e 66,66 μ s, nessa ordem. As falhas, portanto, assumem os valores de 2,9ms, 0,9ms e 0,4ms.

Figura 30 – Sinal de rotação a 1000RPM



Fonte – Autores (2022)

Como se pode ver no item apontado pela seta verde, o tempo em sinal baixo medido pelos cursores entre os 2 dentes à esquerda é $900\mu\text{s}$, conforme se esperava. Dado que na imagem o osciloscópio estava programado para operar em $500\mu\text{s}$ por divisão e a falha procedente ao segundo dente visível apresenta pouco menos de 6 divisões, então isso resulta em $2,9\text{ms}$ também previstos.

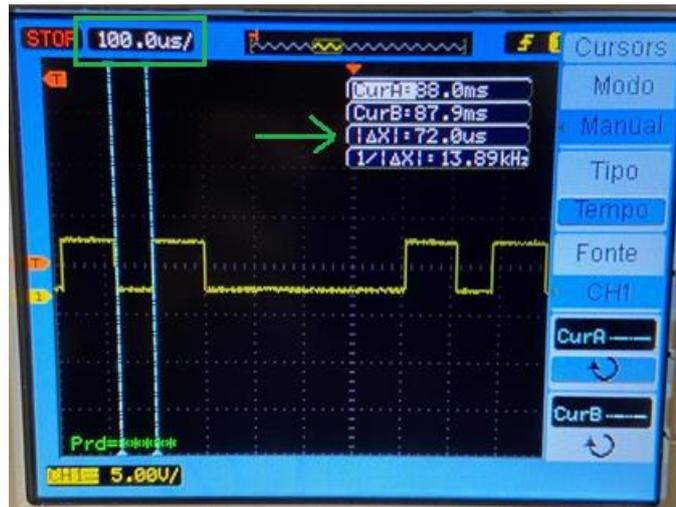
Figura 31 – Sinal de rotação a 3000RPM



Fonte – Autores (2022)

Nessa faixa, os valores obtidos também estiveram de acordo com o esperado, com um tempo de $232\mu\text{s}$ de tempo em nível 0 e $900\mu\text{s}$ de tempo de falha.

Figura 32 – Sinal de rotação a 6000RPM



Fonte – Autores (2022)

Nesse último caso, porém, houve uma pequena divergência de valor onde, uma vez se esperando um tempo em nível baixo de $66,66\mu\text{s}$, foi-se lido um valor de $72\mu\text{s}$. Contudo, essa diferença não está muito distante do valor teórico. Portanto, torna-se aceitável para fins práticos. Além disso, a falha apresentada na imagem assumiu exatamente 4 divisões quando o osciloscópio estava configurado para mostrar valores em $100\mu\text{s}$ por divisão, representando fielmente o valor calculado de $400\mu\text{s}$ de tempo de falha.

Em suma, os resultados observados demonstraram ser satisfatórios, simulando de forma realista os sinais de rotação em diferentes regimes selecionáveis.

3.1.1.2 Controle da ignição

O sinal gerado pelo PIC 1, por sua vez, é introduzido no segundo PIC (PIC 2) através do *Capture Compare PWM (CCP)*, que significa: Captura, Comparação de PWM. Esse recurso do microcontrolador é responsável por gerar ou ler sinais do tipo *Pulse Width Modulation (PWM)*, ou, no português, modulação por largura de pulso. Essa técnica altera o período em que os pulsos lógicos (nesse caso, de valor 0), permanecem nesse estado, e é esse o comportamento típico de um sinal do sensor de rotação, sendo ele indutivo ou de efeito hall. Nesse caso, esse periférico foi configurado para ler o sinal que o primeiro microcontrolador PIC está produzindo.

Assim, esse microcontrolador irá, através do sinal lido, criar um pulso de comando para controlar a ignição. Esse pulso pode ter uma duração de 1ms, 2ms ou 4ms de tempo de carga das bobinas primárias, sendo que esses valores são acedidos através de 2 botões que incrementam ou decrementam o tempo de acordo com o desejo do usuário do kit. As faixas de rotação lidas, bem como os tempos de carga são mostradas num display do mesmo modelo apresentado.

Como ocorre nos veículos, ao aumentar a rotação e/ou o tempo de carga, o sistema realiza o avanço de ignição, iniciando a carga das bobinas alguns graus (aqui interpretados como dentes da roda fônica) antes para que a ignição sempre ocorra no mesmo ponto.

Além disso, foi-se adotado um algoritmo que cria um breve pulso em nível lógico 1 toda vez que a falha dos 2 dentes anteriormente citada for detectada, com a finalidade de, se necessário, verificar com um osciloscópio se a leitura do sinal está sendo feita corretamente.

Também foi inserido no código um sinal lógico 1 constante no pino RA0 (outrora estava no pino RB5, mas foi trocado por problemas técnicos). Isso surgiu como uma solução ao problema de que os PIC's inevitavelmente demoram alguns breves instantes para iniciar suas operações normais logo após o ligamento do sistema e conseqüentemente, os componentes atuadores estavam queimando nesse espaço de tempo. Esse sinal comuta um relé que atua ligando a alimentação dos transformadores somente quando os microcontroladores iniciarem completamente (dado que o PIC não pode fornecer esse sinal enquanto ele inicia e, portanto, não aciona o relé que liga a alimentação dos transformadores, evitando que os elementos atuadores queimem durante o período de espera mencionado).

3.1.1.2.1 Sinais de controle da ignição obtidos

Como no caso do PIC 1, para testar o funcionamento desse programa, aderiu-se o uso do osciloscópio com o objetivo de verificar se os pulsos de comando das velas estavam de acordo com o tempo escolhido pelo usuário, além de averiguar se eles sempre realizam a ignição nos mesmos dentes. Aqui pré-determinados como sendo os dentes 14 e 43.

Apresenta-se a seguir as Figuras 33, 34 e 35, que expõem o comportamento dos sinais de comando em 1ms, 2ms e 4ms de tempo de carga das boninas emitidos através da leitura da rotação de 1000RPM, usado como exemplo. No canal 1 (em amarelo), está sendo medido o sinal de rotação. No canal 2 (em verde), é possível ver o pulso de sinalização da falha dos 2 dentes, representando uma leitura correta da rotação por parte do PIC 2. Por fim, nos canais 3 e 4 (em azul e rosa), estão os pulsos de comando das velas 1 e 4, e 2 e 3, respectivamente.

Figura 33 – Sinal de comando da ignição com 1ms de carga a 1000RPM



Fonte – Autores (2022)

Nota-se que o PIC 2 está lendo corretamente o sinal, dado que o pulso de falha é emitido logo após a ocorrência dela no sinal de rotação. Quando o dente de início da carga é atingido, surge o pulso de controle que nesse caso tem uma largura de 1ms, conforme se nota pela escala de 5ms em que o instrumento foi programado para operar e o fato de que a largura de pulso ocupa aproximadamente 1/5 de uma divisão, explicitando o bom funcionamento do algoritmo implementado.

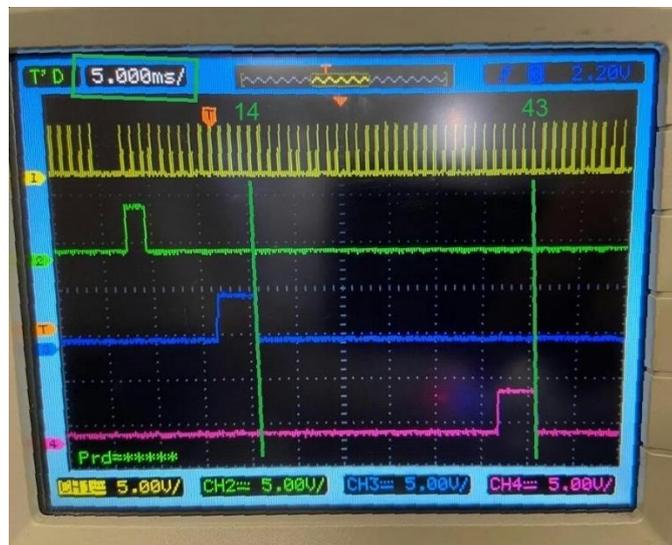
Figura 34 – Sinal de comando da ignição com 2ms de carga a 1000RPM



Fonte – Autores (2022)

Percebe-se que agora os tempos de cargas dos pulsos estão em 2ms, como esperado. Assim, sendo, o avanço de ignição aconteceu, de modo que agora a carga das bobinas se inicia alguns dentes antes para que a ignição permaneça ocorrendo mesmos dentes da roda fônica.

Figura 35 – Sinal de comando da ignição com 4ms de carga a 1000RPM



Fonte – Autores (2022)

Foram obtidos os sinais aguardados. Em geral, os resultados revelaram atender ao que se deseja, dado o comportamento adquirido. O avanço de ignição se torna ainda mais visível no regime de tempo de carga máximo: Com 4ms de tempo de carga, podendo ser observado na Figura 35.

3.1.2 Hardware

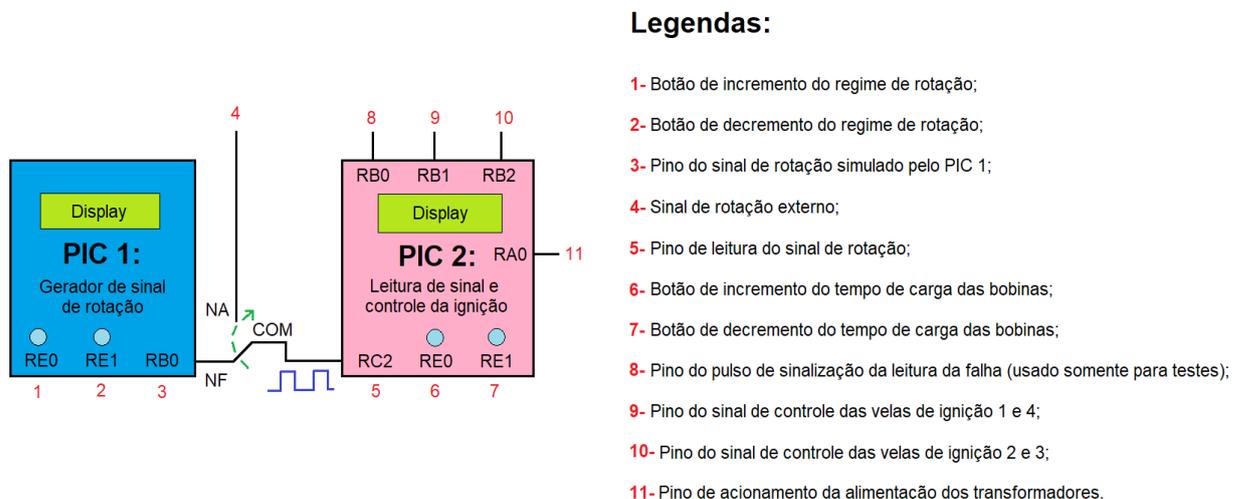
Além do software e dos acessórios aderidos, houve também a confecção dos circuitos eletrônicos para a realização do controle do presente material didático.

Nas seguintes subseções são explicitadas as montagens realizadas com os respectivos esquemas elétricos.

3.1.2.1 Pinagem utilizada nos microcontroladores

Na Figura 36, pode-se observar um resumo das características explicadas na seção 1.1.1.2 com um esquema básico contendo os pinos usados nos microcontroladores e os atributos relacionados a eles.

Figura 36 - Modelo simplificado do sistema de controle da ignição



Fonte – Autores (2023)

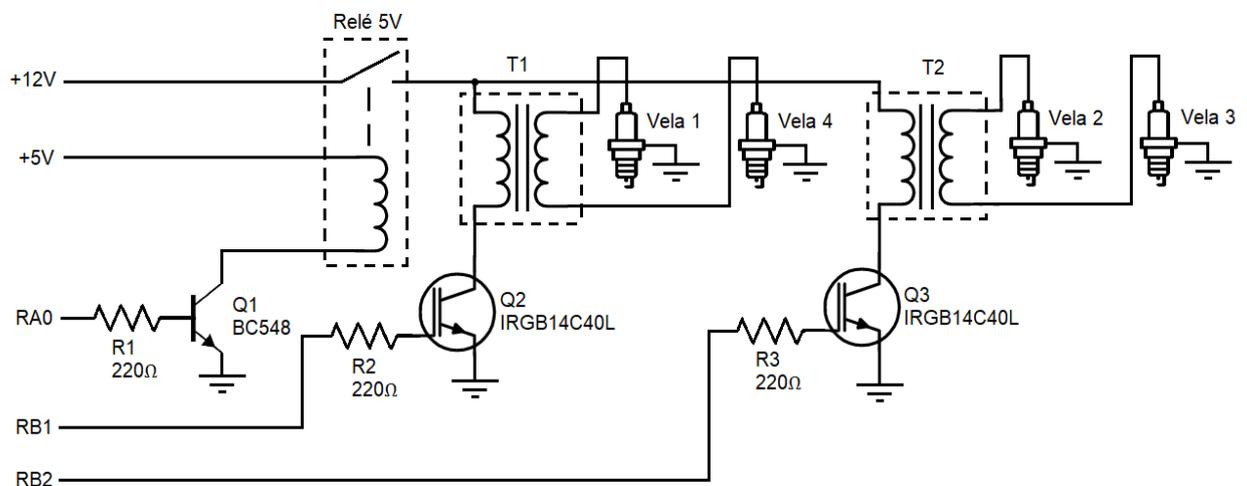
É importante ressaltar que, como visto, o sinal de rotação não necessariamente sai do PIC 1 para ser lido pelo PIC 2. Ele também pode ter uma origem externa de um sensor de rotação real. A seleção do gerador do sinal que se deseja fazer a leitura é efetuada manualmente através de uma chave seletora de 3 vias – 2 posições.

3.1.2.2 Placa de acionamento

O circuito de acionamento das velas de ignição consiste em elementos que realizam a interrupção das correntes nas malhas das bobinas primárias dos transformadores a partir do sinal recebido pelo microcontrolador.

Na Figura 37 é explicitado o esquema elétrico do circuito de comando das velas de ignição. Além disso, pode-se ver no apêndice A uma lista com esses componentes.

Figura 37 – Esquema elétrico do circuito de acionamento das velas de ignição



Fonte – Autores (2023)

O funcionamento é o seguinte: Um sinal elétrico vindouro dos pinos do PIC 2 referidos na seção 3.1.2.1 é mandado aos terminais dos transistores Q2 e Q3 através dos resistores R2 e R3 (não simultaneamente), fazendo com que esses transistores entrem em sua região de saturação e permitam a passagem de corrente através das bobinas primárias dos transformadores T1 e T2. Quando o sinal é interrompido pelo microcontrolador, os transistores entram em sua região de corte, cessando a corrente que estava fluindo nas bobinas primárias e através disso, gerando centelha nas velas. As velas 1 e 4 são gêmeas, bem como as velas 2 e 3 por uma questão de ordem de ignição, a qual é comumente usada nos carros com 4 cilindros.

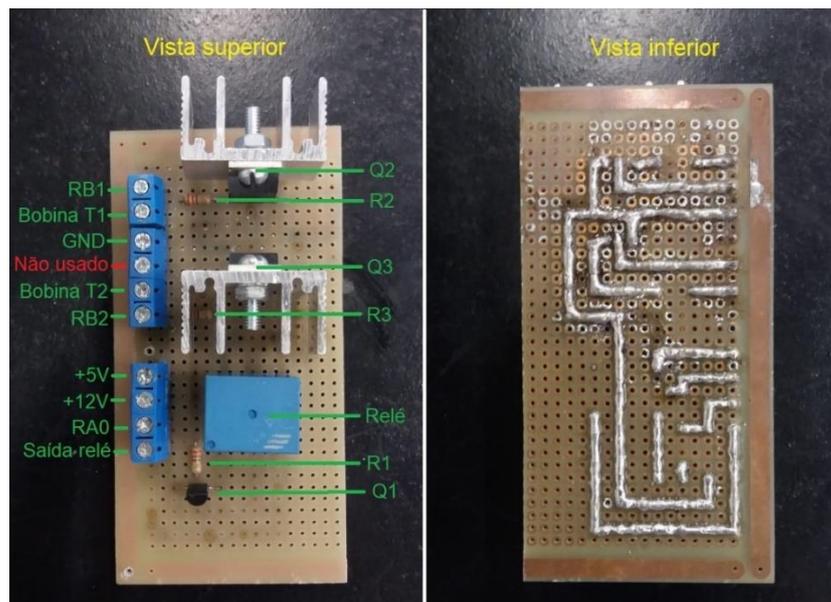
A princípio, houve a tentativa de utilizar os modelos de transistor TIP 122 ligados em paralelo com 2 diodos Zener de 160V em série para controlar a tensão contra eletromotriz gerada pelas bobinas e impedir que os transistores fossem

queimados. Contudo, durante os testes, os diodos apresentaram falhas a ponto explodirem e queimarem em seguida. Foi-se então implementado os modelos IRGB14C40L, que são transistores dimensionados especificamente para circuitos de ignição e não necessitam de diodos de segurança externos. O problema fora então resolvido.

O transistor Q1 funciona semelhantemente aos demais transistores citados, mas ele não necessita suportar tanta carga e é responsável por comandar a bobina do relé que aciona a alimentação dos transformadores (como explicado na seção 3.1.1.2) e permanece saturado após o ligamento do sistema.

Na Figura 38, é mostrada a placa de acionamento montada e suas especificações. As bobinas de ignição são conectadas a ela por borne, uma vez que os transformadores estão parafusados na superfície do kit.

Figura 38 – Placa de acionamento da ignição



Fonte – Autores (2023)

3.1.2.3 Alimentação do sistema

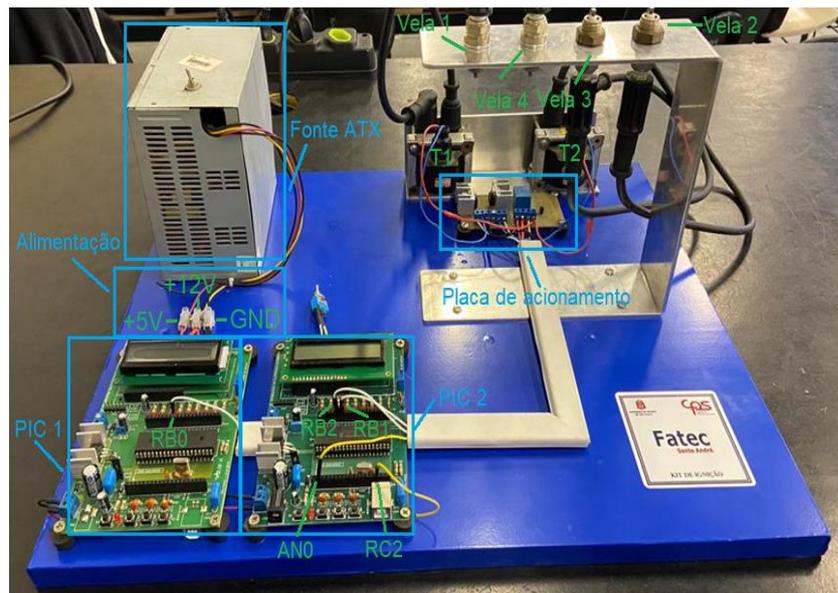
Para a distribuição energética do hardware, utilizamos uma fonte de tensão ATX (a qual já estava no kit). Ela é amplamente usada na alimentação de computadores por ser capaz de fornecer energia para abastecer vários periféricos simultaneamente. Essa característica permite uma aplicação sem que haja muitos

problemas com falta de carga, além de que ela oferece múltiplos valores de tensão de saída. Foram usadas as tensões 12V e 5V mostradas nas Figuras 37 e 38.

As ligações foram feitas através de fios (sendo que os que alimentam as bobinas possuem uma bitola maior por questões de segurança) parafusados à bornes de distribuição de energia, dificultando uma possível desconexão por parte dos usuários sem o uso de ferramentas adequadas e tornando o kit mais robusto.

Para o fornecimento de energia às placas de controle, fora adaptado um conector P4 oriundo dos bornes ao PIC gerador do sinal de rotação, que reparte sua potência com a placa de leitura por uma conexão de fios. Na Figura 39, é mostrado o kit com todas as conexões feitas e uma identificação delas.

Figura 39 – Kit de ignição completo



Fonte – Autores (2023)

3.2 Kit de injeção

Os kits de injeção eletrônica possuem um funcionamento muito semelhante aos de ignição tanto em aspectos de controle quanto de construção. Para evitar repetições, será falado apenas brevemente sobre alguns pontos já vistos, atentando-se somente às particularidades desse kit didático.

Eles se encontravam muito empoeirados e em nítido desuso, com os terminais dos atuadores presos à bornes cuja desconexão pode acontecer facilmente e sem nenhuma espécie de automatização.

Como nos kits de ignição, a restauração inicial se deu pelo desmonte dos aparatos, a realização de uma limpeza minuciosa e depois o teste desses componentes para verificar se de fato eles ainda poderiam ser utilizados. A Figura 40 mostra os instrumentos do kit desmontados sobre uma mesa durante a execução das ações descritas.

Figura 40 – Estado inicial do kit de injeção eletrônica



Fonte – Autores (2023)

Também como no caso anterior, optou-se por encapar a tábua com a finalidade de tornar a aparência mais agradável. Por ser um sistema distinto, a intenção era escolher uma cor diferente para isso. Dessa vez, foi utilizado um papel autoadesivo da cor preta, conforme fora proposto pelo orientador do projeto. É expressa a aparência da base encapada na Figura 41.

Figura 41 – Tábua encapada do kit de injeção



Fonte – Autores (2023)

Seguindo o padrão apresentado anteriormente, foram esboçadas, impressas e coladas etiquetas de identificação para os kits de ignição, foram também confeccionadas etiquetas para os kits de injeção. Os layouts são praticamente idênticos: O que muda é apenas o nome na parte inferior da etiqueta (vide Figuras 27 e 28), o qual, no caso do kit de injeção, está escrito “kit de injeção”.

Uma vez executados esses processos, foram inseridas canaletas de fios na base de madeira para que posteriormente as conexões elétricas fiquem posicionadas através deles.

3.2.1 Softwares associados aos kits de injeção

Como previamente dito, o algoritmo adotado para fazer o controle da injeção não difere muito do código em linguagem C apresentado na explicação do funcionamento dos kits de ignição. Os microcontroladores usados são os mesmos modelos, da mesma forma que o programa de rotação também não mudou.

O que verdadeiramente se alterou em termos de software foi o fato de que, diferente das velas de ignição que construtivamente são gêmeas, ou seja, acionam juntas, as válvulas injetoras necessitam ser acionadas individualmente. Isso faz com que, ao invés de haver apenas 2 terminais de saída de pulso de comando, agora existem 4, simulando o que seria a injeção de combustível de cada um dos 4 cilindros de um motor.

Dadas essas premissas, será exposto unicamente o programa de comando das válvulas injetoras.

3.2.1.1 Controle das válvulas injetoras

O programa que realiza o envio de sinais elétricos às válvulas injetoras foi todo construído a partir do código de ignição. Ele tem as mesmas características que foram apresentadas na seção 3.1.1.2, porém o fato de que mais 2 atuadores demandam ser acionados fez com que fosse criado um outro método de execução para realizar esse objetivo específico.

Para tanto, o que se fez foi colocar no meio das linhas de código um trecho que verifica qual volta da roda fônica o programa está processando naquele momento, podendo ser a volta 1 ou 2. Ao terminar a execução da volta 2, o programa assume novamente a volta 1, pois ao executar 2 voltas inteiras, têm-se um ciclo Otto completo e isso é suficiente para que todas as válvulas atuem.

O propósito é o seguinte: Se a volta for 1, serão somente acionadas as válvulas 1 e 3, respectivamente nos dentes 14 e 43. Porém, se a volta for 2, igualmente serão acionadas individualmente as válvulas 4 e 2 nos mesmos dentes escolhidos. A ordem de acionamento 1, 3, 4, 2 é amplamente utilizada na indústria automobilística, o que induziu a implementação desse conceito na modelagem do algoritmo.

Como particularidade desse kit, de modo a atender um pedido do orientador, também foi criado um trecho do código para acionar unitariamente uma bomba de combustível por 2s ao ligar o sistema, desligá-la por 3s e depois ligar tudo, inclusive a alimentação das válvulas, de modo que todos os atuadores permaneçam funcionando continuamente a partir daí.

3.2.1.1.1 Sinais de controle da injeção obtidos

Com o uso de um osciloscópio, mediu-se os sinais de comando das válvulas para verificar se de fato o funcionamento esperado estava acontecendo. Nas Figuras 42, 43 e 44 é possível notar como o equipamento opera nos regimes de 1ms, 2ms e 4ms de tempo de injeção sob uma rotação de 1000RPM, rotação essa que foi usada

como exemplo. No canal 1 (em amarelo), está o sinal de rotação. Nos canais 2, 3 e 4 estão os sinais de comando das válvulas 1, 2 e 3 respectivamente. Devido a 4 canais ser o máximo que o instrumento pode medir simultaneamente, não se pode ver o comportamento do sinal da válvula 4.

Figura 42 – Sinais de comando das válvulas com 1ms de injeção a 1000RPM



Fonte – Autores (2023)

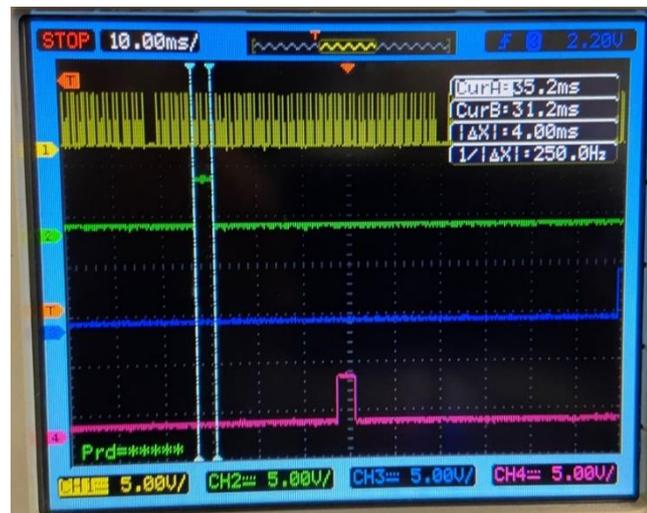
É perceptível a integridade do tempo de injeção selecionado, dado que se pode observar que esse tempo medido é de exatamente 1ms. Nota-se que assim como no código implementado na ignição, o sinal de comando surge em um momento que configure um término da injeção no dente pré-determinado. É importante notar que a válvula 2 não apresentou nenhum pulso na imagem apresentada, já que, como se espera do algoritmo implementado, ela só será acionada na volta 2, junto da válvula 4.

Figura 43 – Sinais de comando das válvulas com 2ms de injeção a 1000RPM



Fonte – Autores (2023)

Figura 44 – Sinais de comando das válvulas com 4ms de injeção a 1000RPM

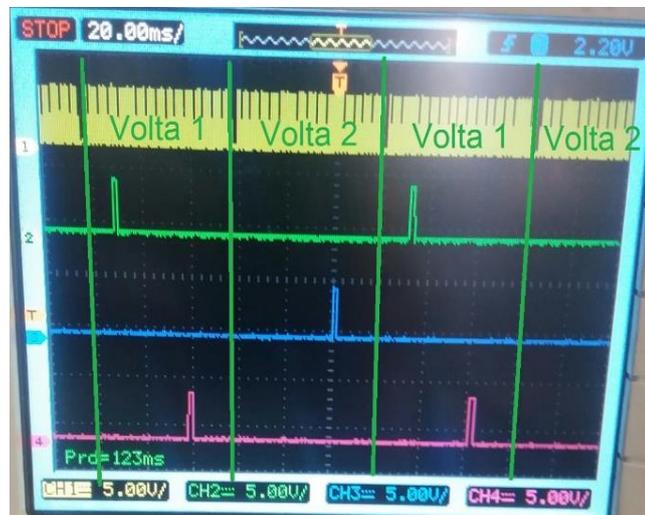


Fonte – Autores (2023)

Observa-se nas Figuras de número 43 e 44 que o avanço também ocorre com a injeção, agora com os tempos verificados de 2ms e 4ms. O comportamento de que a válvula 2 não aciona nessa volta se mantém aqui. Ao olhar com cuidado, é possível notar ela acionando no final da próxima volta pouco antes do limite da tela.

Na Figura 45 é demonstrado de uma forma mais visível o funcionamento do algoritmo utilizado, de modo que se pode analisar os sinais ao longo de várias voltas mostradas na tela do instrumento.

Figura 45 – Sinais de comando das válvulas ao longo de mais de uma volta da roda fônica



Fonte – Autores (2023)

Nota-se que somente as válvulas 1 e 3 terminaram o acionamento respectivamente nos dentes 14 e 43 das voltas 1, sendo que a válvula 2 permanece desligada. Na volta 2, o inverso acontece: A válvula 2 recebe um pulso de comando no dente 43 da roda fônica, enquanto as válvulas 1 e 3 ficam desligadas. Caso fosse possível medir mais de 4 canais simultâneos, surgiria um outro sinal antes do sinal da válvula 2 na volta 2, que seria para comandar a válvula 4 no dente 14.

3.2.2 Hardware

Os pinos dos microcontroladores utilizados para operar o PIC são os mesmos que os pinos usados no PIC 2 do circuito de ignição, com o acréscimo de 2 pinos para comandar as 2 bobinas adicionais: Os pinos RB3 e RB4. Além do pino RA0 que aqui está comandando a alimentação das válvulas, também houve o acréscimo do pino RA1 para comandar a alimentação da bomba de combustível.

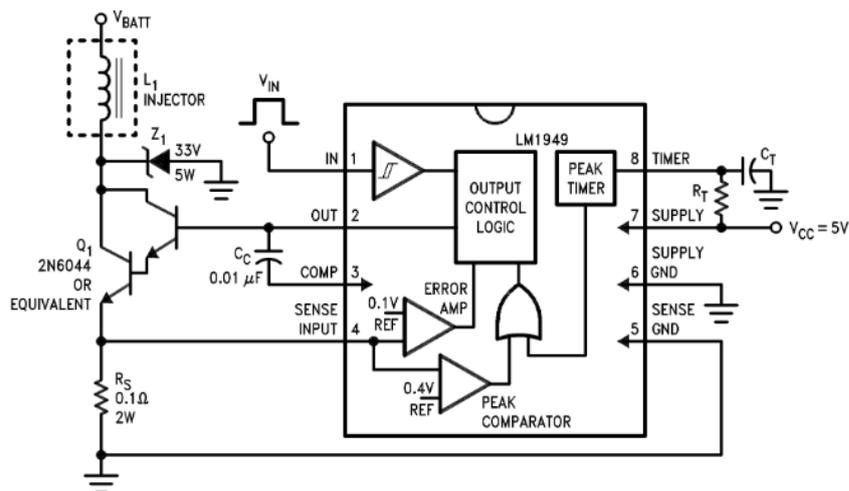
Embora os equipamentos didáticos a serem restaurados possuam características semelhantes, inclusive no fato de que as válvulas injetoras, bem como no kit de ignição, também possuem bobinas elétricas internamente, o acionamento das válvulas é ligeiramente diferente da ignição.

Esse acionamento pode ser dividido em 2 principais períodos: O de abertura da válvula, que necessita de uma maior corrente para conseguir vencer o estado de inércia dela quando ela está desligada e o de mantê-la aberta, que deve ter uma corrente menor para não ter perda de energia.

O circuito integrado (CI) LM1949 foi especialmente projetado para essa aplicação é muito empregado no meio automotivo para realizar essas funções.

É mostrado na Figura 46 um esquema elétrico contendo sua estrutura interna e os periféricos associados a ele, os quais compõem toda a placa de acionamento esboçada para realizar a atuação das válvulas, exceto o relé adotado para atuar sobre a alimentação descrita na imagem em questão como “Vbatt”.

Figura 46 – Esquema elétrico do circuito da placa de acionamento das válvulas injetoras



Fonte - Datasheet do LM1949

Esse circuito resumidamente controla a corrente na malha da bobina, recebendo sinais de comando na entrada In (pino 1) e comparando a tensão no resistor R_s , conhecido como resistor de Shunt, com um referencial de 0,4V. Esse valor é atingido na corrente de pico, sendo ela de aproximadamente 4A, que acontece durante o período de retirada da válvula de seu estado inercial. Quando a tensão em R_s for igual aos 0,4V do referencial, o C.I. regula a corrente diminuindo-a para um valor que seja suficiente para mantê-la aberta, sendo esse valor de aproximadamente 1A.

Para garantir que a energia não será desperdiçada, o conjunto Ct-Rt mostrado no canto superior direito da Figura 46 conta um tempo pré-determinado que, uma vez superado, irá forçar o C.I. a diminuir a corrente da bobina caso o resistor R_s acabe por não apresentar uma tensão de 0,4V dentro desse tempo em função de não haver energia suficiente a ser fornecida pela bateria que sustenta essa malha nos automóveis.

3.2.2.1 Dimensionamento dos componentes do circuito de acionamento das válvulas

Conforme demonstrado no datasheet da Figura 46, é utilizado um transistor em formação Darlington, ou seja, 2 transistores em cascata, como é visto na imagem, para acionar as válvulas, sendo sugerido um modelo e especificado que qualquer equivalente pode também servir. No circuito implementado, utilizou-se um transistor do modelo TIP122, o qual se enquadra nesse cenário, dado que em sua estrutura interna, ele possui 2 transistores na configuração descrita.

Ademais, pelos problemas encontrados com o uso do diodo Zener, (vide seção 3.1.2.2), optou-se por não o utilizar outra vez, dispensando o Z1 mostrado na imagem.

3.2.2.1.1 Cálculo do resistor de Shunt

Cada bobina elétrica das válvulas apresenta um valor de impedância (Z) específica. Isso faz com que, se não houver uma medição dela e o consequente cálculo do valor adequado de R_s , o CI não funcione da maneira que se espera.

Partindo dessa ideia, foram retiradas medidas das impedâncias das bobinas do kit de injeção da FATEC, que semelhantemente ao kit da USP, mostraram estes valores:

Bobina da válvula 1: 13,3 Ω ;

Bobina da válvula 2: 12,9 Ω ;

Bobina da válvula 3: 12,8 Ω ;

Bobina da válvula 4: $12,9\Omega$.

São executados os seguintes passos para se obter o valor apropriado de R_s para cada caso.

Assumindo-se que quase 100% de toda a tensão de 12V da malha da bobina estará sobre ela (dado que R_s possui um valor tipicamente pequeno: Abaixo de 1Ω), então utiliza-se da primeira lei de Ohm para determinar o valor da corrente elétrica nessa malha, conforme a equação:

$$I = \frac{12V}{Z_{bobina}};$$

Com o valor da corrente na malha da bobina obtida, sabe-se que R_s , o qual é percorrido por essa mesma corrente, deve apresentar um valor de 0,4V de tensão. Com isso, aplicando-se novamente a primeira lei de Ohm, tem-se o valor correto que R_s deve possuir, conforme a equação:

$$R_s = \frac{0,4V}{I}.$$

Utilizando-se dos valores das impedâncias medidas acima expostos, obtém-se um valor de R_s de $0,44333\Omega$, $0,43\Omega$, $0,426\Omega$ e $0,43\Omega$ para as bobinas 1, 2, 3 e 4 respectivamente.

Porém, o valor comercial de resistores que melhor atende a esses valores é o $0,47\Omega$, que foi aderido para todas as válvulas.

3.2.2.1.2 Cálculo do Conjunto Capacitor-Resistor (Ct-Rt)

Com base em dados do datasheet do LM1949, observou-se que é recomendado um tempo de 12ms para que o conjunto temporizador Ct-Rt atue. No presente trabalho, sabe-se que a carga fornecida pela fonte é sempre constante, o que tornaria desnecessário o uso desse periférico que só é usado em caso de

bateria fraca. Contudo, para fins de reforço do sistema ou posteriores demonstrações, foi-se também dimensionado os componentes desse conjunto.

Sabe-se que o valor da constante de tempo de um circuito RC série é dado pela fórmula:

$$\tau = R \times C$$

Onde:

τ = Constante de tempo;

R = Valor do resistor do conjunto;

C = Valor do capacitor do conjunto.

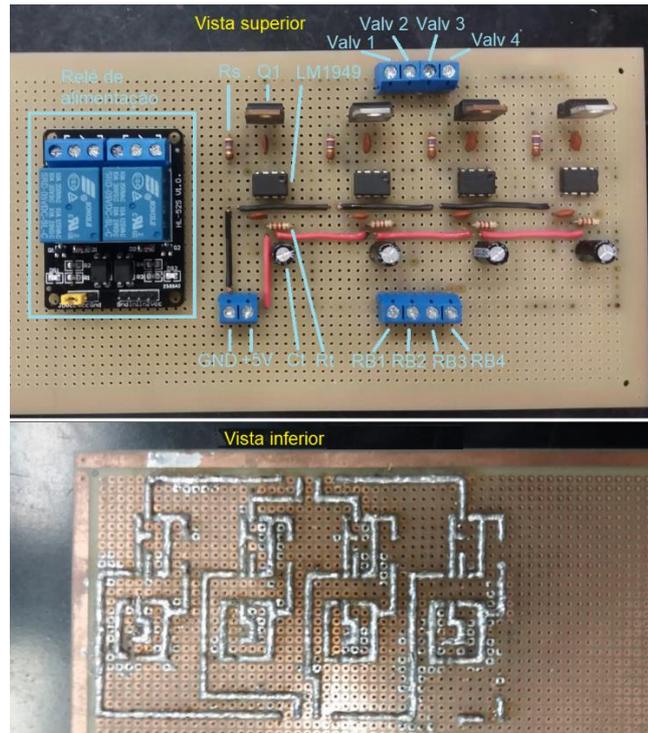
Por adoção, foi-se usado um resistor de 120 Ω . De modo que se obtenha uma constante de tempo igual a 12ms com esse resistor associado, calcula-se o valor do capacitor invertendo a equação:

$$C = \frac{\tau}{R} \rightarrow C = \frac{0,012}{120} \rightarrow C = 0,1\mu F$$

3.2.2.2 Placa de acionamento

A placa de acionamento consiste basicamente no esquema elétrico da Figura 46, porém com os acréscimos mencionados na seção 3.2.2.1, e repetidos para cada uma das 4 válvulas injetoras. Além disso, foram parafusados na placa os relés que comutam a alimentação das válvulas e a bomba de combustível. A Figura 47 expressa essa placa montada, com as identificações segundo consta na Figura 46. Toda a alimentação implementada é feita usando o mesmo tipo de fonte e bornes do kit de ignição.

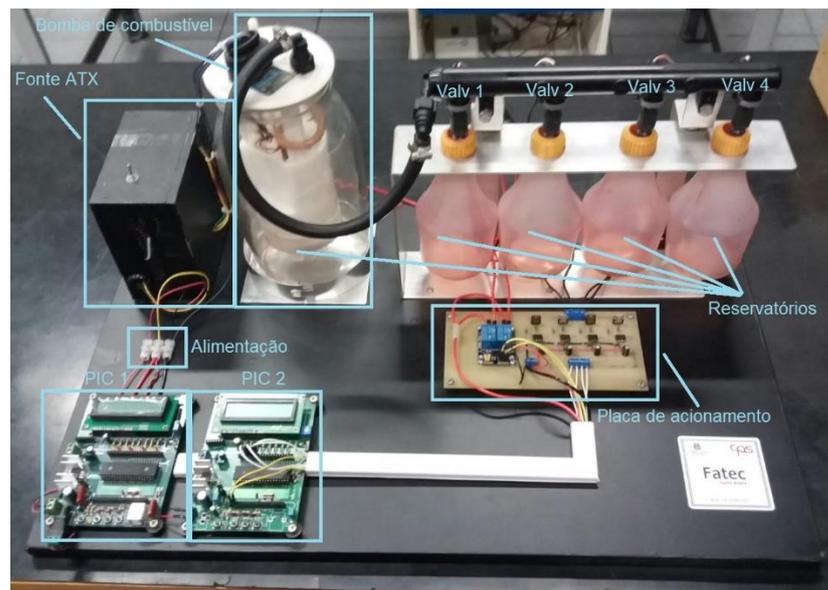
Figura 47 – Placa de acionamento da injeção eletrônica



Fonte – Autores (2023)

Ao fim da restauração dos kits, eles ficaram com a aparência mostrada na Figura 48.

Figura 48 – Kit de injeção completo



Fonte: Autores (2023)

4. CONCLUSÕES

Com base na pesquisa de campo e o apoio à ideia por parte dos docentes da FATEC Santo André, pudemos constatar que de fato o projeto pode agregar benefícios à instituição.

Existem algumas limitações, sendo estas: Por vezes, ao acionar o sistema, os microcontroladores podem ocasionalmente não mostrar as mensagens esperadas, demandando um reinício do circuito, sendo ele de controle da ignição ou mesmo da injeção. Existe também um tempo (de aproximadamente 3s) que o sistema necessita para efetivamente iniciar. Por questões de segurança com o kit de ignição, dado que as velas de ignição estão expostas, também se deve tomar um cuidado especial para não encostar nelas enquanto o sistema opera. A fim de evitar curtos-circuitos, é recomendado evitar o contato dos circuitos eletrônicos com aparatos metálicos ou fluidos condutores durante o funcionamento. Desconhecemos outras possíveis fragilidades que o sistema pode possuir.

Pôde-se observar nos equipamentos um funcionamento muito semelhante aos implementados nos veículos reais. O que, como se espera, pode proporcionar aos estudantes um vislumbre muito próximo da realidade no que tange a demonstrar como esses sistemas funcionam e atribuindo assim, um aprendizado mais sólido.

5. PROPOSTAS FUTURAS

Além dos kits de ignição e injeção eletrônica veiculares descritos no presente trabalho, existem também mais 2 tipos de kit que necessitam ser restaurados, sendo eles os kits de rotação e admissão de ar respectivamente.

Os kits de rotação possuem uma roda fônica real e gera um sinal genuíno de rotação, que pode ser usado como fonte de sinal externo tanto para os kits de ignição como também os kits de injeção através da seleção de uma chave, conforme fora mostrado.

Já os kits de admissão possuem uma válvula borboleta para realizar a entrada de ar e aparatos para soprar ar nela com diferentes intensidades baseado na resposta de sensores.

A continuidade desse trabalho poderia ser, portanto, a restauração desses kits, dando aos estudantes do curso de eletrônica automotiva, uma perspectiva prática e ainda mais abrangente de como funcionam cada um dos sistemas que atuam no processo de combustão em um motor.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] BREUNIG, Eduarda Tais. et al. **Jogos de simulação como propulsores de reflexões docentes**: A importância de oficinas pedagógicas na formação inicial. 1ª edição. 21 de fevereiro de 2018.
- [2] Boylestad, Robert L. – **Introdução à Análise de Circuitos** – Prentice Hall/Pearson, 10ª. Ed, 2004.
- [3] CALAZANS, Angelica. et al. **Ensino Superior Com Metodologias Ativas: Na Prática, Como Se Faz**. 1ª edição. Santa Catarina: Clube de Autores, 2019. 192 p.
- [4] BRUNETTI, Franco. **Motores de Combustão Interna – Vol. 1**: Capítulo 9. 1ª edição. São Paulo: Edgard Blucher, 2012. 553p.
- [5] **GERECIAMENTO DE MOTOR PARA MOTORES OTTO** – Bosch - Santo André – Ignição.
- [6] MONTEIRO, Patrícia. et al. **Metodologias ativas e as tecnologias educacionais: Conceitos e Práticas**. 1ª edição. Rio de Janeiro: Alta Books, 2021. 224 p.

[7] Nilsson, James W, Susan A. Riedel – **Circuitos Elétricos** – Prentice Hall/Pearson, 8ª. Ed, 2008.

[8] ROBERT BOSCH LTDA. **Sistema de Injeção Eletrônica de Combustível: LE-Jetronic**. Campinas: SP, 2019.

[9] ROBERT BOSCH LTDA. **ENGINE ELECTRONICS** – Santo André – Technical Instruction. Campinas: SP, 2019.

[10] **SISTEMAS DE INJEÇÃO ELETRÔNICA DE COMBUSTÍVEL** – Santo André.

[11] SILVA, Salete. **Aprendizagem ativa**. Revista Educação, 2013. Disponível em: <https://revistaeducacao.com.br/2013/07/15/aprendizagem-ativa/>. Acesso em: 21 de novembro de 2022.

[12] Wakke. **Entenda a importância das oficinas pedagógicas e saiba como criá-las**. Wakke, 2017. Disponível em: <https://wakke.co/entenda-a-importancia-das-oficinas-pedagogicas-e-saiba-como-cria-las/>. Acesso em: 21 de novembro de 2022.

7. APÊNDICES

APÊNDICE A – Kit de Ignição

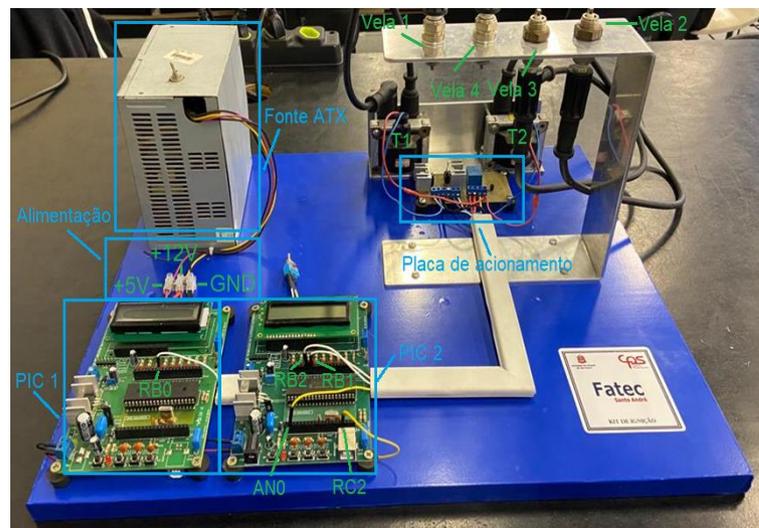
Tabela 1 – Lista de componentes do kit de ignição

Componente	Especificação	Quantidade
E.C.U.'s FATEC	X	2
Fonte de tensão	ATX	1
Transistor (1)	IRGB14C40L	2
Relé	5V	1
Placa de circuito	Virgem - 10x5 cm	1
Transistor (2)	BC548	1

Resistor	220 Ω	3
Bobina de ignição	X	2
Dissipador de calor	Alumínio - 27x15x15 mm	2
Borneira (1)	1 via	1
Borneira (2)	3 vias	1
Conexões, parafusos e apoios p/ placa	X	vários

Fonte: Autores (2023)

Figura 39 – Kit de ignição completo



Fonte: Autores (2023)

APÊNDICE B – Lista de materiais do Kit de Injeção

Componente	Especificação	Quantidade
E.C.U.'s FATEC	X	2
Fonte de tensão	ATX	1
Transistor	TIP122	4
Módulo relé	Modelo HL-52S V1.0	1
Placa de circuito	Virgem - 20x10 cm	1
Circuito integrado	LM1949	4
Resistor (1)	0,47 Ω	4
Resistor (2)	120 Ω	4
Capacitor (1)	Eletrolítico - 100 μ F	4
Capacitor (2)	Cerâmico - 10nF	8
Bomba de combustível	Com reservatório e manegueira	1
Válvula injetora	X	4
Distribuidor	X	1
Borneira (1)	1 via	1

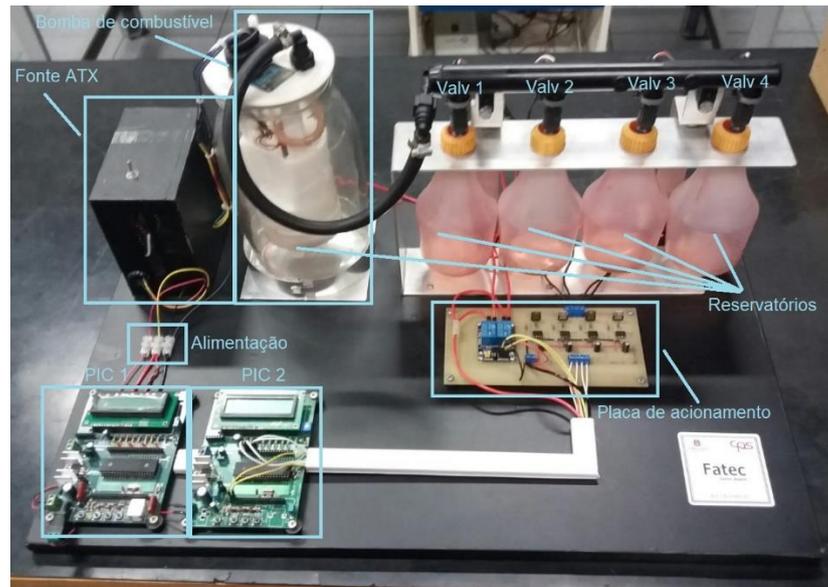
Borneira (2)
Fios, parafusos e apoios p/
placa

3 vias
X

1
vários

Fonte: Autores (2023)

Figura 48 – Kit de injeção completo



Fonte: Autores (2023)

APÊNDICE C - Código gerador do sinal de rotação

/*

* File: modulo_principal.c

* Author: aluno

*

* Created on 11 de Novembro de 2022, 14:52

*/

#include <xc.h>

```
#include "Config.h"

#include "LCD.h"

#define botao1 PORTEbits.RE0

#define botao2 PORTEbits.RE1

unsigned char dente      = 0;

unsigned char i          = 0;

unsigned char vetorH[11] = {0xEA, 0xF2, 0xF6, 0xF8, 0xFA, 0xFB, 0xFC, 0xFD,
0xFD, 0xFE, 0xFE};

unsigned char vetorL[11] = {0xE6, 0xB6, 0x9E, 0xF6, 0x86, 0xA4, 0x7A, 0x21,
0xA7, 0x14, 0x6F};

unsigned char vetorH2[11] = {0xBC, 0xD3, 0xDF, 0xE6, 0xEA, 0xEE, 0xF0, 0xF2,
0xF4, 0xF5, 0xF6};

unsigned char vetorL2[11] = {0x06, 0x76, 0x2E, 0x36, 0xE6, 0x40, 0xC2, 0xB6,
0x46, 0x8E, 0x9E};

unsigned int  vetor_aux[11] = {1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500,
5000, 5500, 6000};

unsigned char counter      = 0;

unsigned char frase[] = "Rotacao: ";

/*Função de tratamento de Interrupções*/

void interrupt isr(){

    /*Verifica se a Interrupção que ocorreu foi reativa ao Timer 0*/
```

```
if(INTCONbits.TMR0IE && INTCONbits.TMR0IF){  
    INTCONbits.TMR0IF = 0;  
    INTCONbits.TMR0IE = 0;  
  
    if(PORTBbits.RB0 == 0){  
        LATBbits.LATB0 = 1;  
        LATBbits.LATB1 = 1;  
        TMR0H = 0xFB;  
        TMR0L = 0x4F;  
        INTCONbits.TMR0IE = 1;  
    }  
  
    else if(PORTBbits.RB0 == 1){  
        if(dente < 58){  
            LATBbits.LATB0 = 0;  
            LATBbits.LATB1 = 0;  
            TMR0H = vetorH[i];  
            TMR0L = vetorL[i];  
            INTCONbits.TMR0IE = 1;  
            dente++;  
        }  
  
        else{  
            LATBbits.LATB0 = 0;
```

```
LATBbits.LATB1 = 0;

TMR0H = vetorH2[i];

TMR0L = vetorL2[i];

INTCONbits.TMR0IE = 1;

dente = 0;

    }

}

}

if(PIE1bits.TMR1IE && PIR1bits.TMR1IF){

    PIR1bits.TMR1IF = 0;

    counter++;

    if(counter == 5){

        if(botao1 == 0){

            i++;

            if(i > 10){

                i = 10;

            }

        }

    }

    if(botao2 == 0){

        if(i <= 0){
```

```
        i = 0;
    }

    else{
        i--;
    }
}

counter = 0;
TMR1H = 0x00;
TMR1L = 0x00;
}
}
}

/*Função de Inicialização de Hardware do Microcontrolador*/
void init_hw(){

    /*Configura as portas do microcontrolador*/
    TRISA = 0x00;
    TRISB = 0x00;
    PORTB = 0;
    TRISC = 0x00;
    TRISD = 0x00;
```

```
TRISE = 0xFF;
```

```
/*Configura Timer 0*/
```

```
T0CONbits.T08BIT = 0;
```

```
T0CONbits.T0CS = 0;
```

```
T0CONbits.PSA = 0;
```

```
T0CONbits.T0PS0 = 0;
```

```
T0CONbits.T0PS1 = 0;
```

```
T0CONbits.T0PS2 = 0;
```

```
T0CONbits.TMR0ON = 1;
```

```
INTCONbits.TMR0IE = 1;
```

```
/*Configura Timer 1*/
```

```
T1CONbits.RD16 = 0;
```

```
T1CONbits.T1RUN = 1;
```

```
T1CONbits.T1CKPS1 = 1;
```

```
T1CONbits.T1CKPS0 = 1;
```

```
T1CONbits.T1OSCEN = 0;
```

```
T1CONbits.TMR1CS = 0;
```

```
T1CONbits.TMR1ON = 1;
```

```
PIE1bits.TMR1IE = 1;
```

```
/*Habilita Interrupção global e dos perifericos */
```

```
INTCONbits.GIE = 1;
```

```
INTCONbits.PEIE = 1;

/*Desliga o Conversor A/D e configura todas as portas como digitais*/
ADCON0bits.ADON = 0;
ADCON1 = 0b00001111;
}

void main(){

    init_hw();
    init_lcd();
    __delay_ms(50);

    comando(0x80);
    escreve_frase(frase);
    comando(0x89);
    escreve_inteiro(vetor_aux[i]);

    while(1){
        comando(0x89);
        escreve_inteiro(vetor_aux[i]);
    }
}
```

APÊNDICE D - Código de comando da ignição

```

/*
 * File: modulo_principal2.c
 * Author: aluno
 *
 * Created on 11 de Novembro de 2022, 14:54
 */

#include <xc.h>
#include "Config.h"
#include "LCD.h"

#define botao1 PORTEbits.RE0
#define botao2 PORTEbits.RE1

unsigned int t = 0;
unsigned long int t_ant = 0;
unsigned char dente = 0;
unsigned char i_carga = 0;
unsigned char i_rotacao = 0;
unsigned char counter = 0;
unsigned int counter2 = 0;

unsigned long int resultado_rotacao;
unsigned char resultado_carga ;
unsigned char i_rotacao_ant ;
unsigned char i_carga_ant ;

unsigned char vetorH[3] = {0xD1, 0xA2, 0x44};
unsigned char vetorL[3] = {0x1A, 0x35, 0x6C};

unsigned char dente_ign_14[11][3] = {{11, 10, 8}, {11, 9, 6}, {10, 8, 4}, {10, 7,
2}, {9, 6, 58}, {9, 5, 58}, {8, 4, 56}, {8, 3, 54}, {7, 2, 52}, {7, 1, 50}, {6, 58, 48}};

```

```
unsigned char dente_ign_23[11][3] = {{41, 40, 38}, {41, 39, 36}, {40, 38, 34},
{40, 37, 32}, {39, 36, 30}, {39, 35, 28}, {38, 34, 26}, {38, 33, 24}, {37, 32, 22},
{37, 31, 20}, {36, 30, 18}};
```

```
unsigned int vetor_rotacao[11] = {1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000,
4500, 5000, 5500, 6000};
```

```
unsigned char frase[] = "Rotacao:   RPM";
```

```
unsigned char frase2[] = "Tcarga:   ms";
```

```
void interrupt isr(){
```

```
    if(INTCONbits.TMR0IE == 1 && INTCONbits.TMR0IF == 1){
```

```
        INTCONbits.TMR0IF = 0;
```

```
        INTCONbits.TMR0IE = 0;
```

```
        T0CONbits.TMR0ON = 0;
```

```
        LATBbits.LATB1 = 0;
```

```
    }
```

```
    if(PIE1bits.TMR1IE == 1 && PIR1bits.TMR1IF == 1){
```

```
        PIR1bits.TMR1IF = 0;
```

```
        PIE1bits.TMR1IE = 0;
```

```
        T1CONbits.TMR1ON = 0;
```

```
        LATBbits.LATB2 = 0;
```

```
    }
```

```
    if(PIR1bits.CCP1IF == 1){
```

```
        PIR1bits.CCP1IF = 0;
```

```
        dente++;
```

```
        t_ant = t*2;
```

```
        t = (CCPR1H << 8) + CCPR1L;
```

```
        CCPR1H = 0;
```

```
        CCPR1L = 0;
```

```
TMR3H = 0;
TMR3L = 0;

if(t > t_ant){ //falha
    dente = 0;
    LATBbits.LATB0 = 1;
}

else{ //falha
    LATBbits.LATB0 = 0;
}

resultado_rotacao = 1500000/t;

if (resultado_rotacao <= 135) i_rotacao = 0;
else if(resultado_rotacao <= 195) i_rotacao = 1;
else if(resultado_rotacao <= 255) i_rotacao = 2;
else if(resultado_rotacao <= 315) i_rotacao = 3;
else if(resultado_rotacao <= 375) i_rotacao = 4;
else if(resultado_rotacao <= 435) i_rotacao = 5;
else if(resultado_rotacao <= 495) i_rotacao = 6;
else if(resultado_rotacao <= 555) i_rotacao = 7;
else if(resultado_rotacao <= 615) i_rotacao = 8;
else if(resultado_rotacao <= 675) i_rotacao = 9;
else if(resultado_rotacao <= 735) i_rotacao = 10;

if(dente == dente_ign_14[i_rotacao][i_carga]){
    LATBbits.LATB1 = 1;
    TMR0H = vetorH[i_carga];
    TMR0L = vetorL[i_carga];
    T0CONbits.TMR0ON = 1;
    INTCONbits.TMR0IE = 1;
    //Carrega Timer 0 com tempo de carga
}
```

```

if(dente == dente_ign_23[i_rotacao][i_carga]){
    LATBbits.LATB2 = 1;
    TMR1H = vetorH[i_carga];
    TMR1L = vetorL[i_carga];
    T1CONbits.TMR1ON = 1;
    PIE1bits.TMR1IE = 1;
    //Carrega Timer 1 com tempo de carga
}
}

```

```

if(PIE1bits.TMR2IE && PIR1bits.TMR2IF){
    PIR1bits.TMR2IF = 0;
    PIE1bits.TMR2IE = 0;
    T2CONbits.TMR2ON = 0;
    counter++;
    counter2++;
}

```

```

if(counter == 18){
    if(botao1 == 0){
        i_carga++;

        if(i_carga > 2){
            i_carga = 2;
        }
    }
}

```

```

if(botao2 == 0){
    if(i_carga <= 0){
        i_carga = 0;
    }
}

```

```

else{
    i_carga--;
}

```

```
    }  
  }  
  
  counter = 0;  
}  
  
if(counter2 == 650){  
  comando(0x89);  
  escreve_inteiro(vetor_rotacao[i_rotacao]);  
  counter2 = 0;  
}  
  
if(i_carga_ant != i_carga){  
  if(i_carga == 0){  
    comando(0xC9);  
    escreve_inteiro(1);  
  }  
  
  else{  
    resultado_carga = i_carga*2;  
    comando(0xC9);  
    escreve_inteiro(resultado_carga);  
  }  
  
  i_carga_ant = i_carga;  
}  
  
TMR2 = 0;  
T2CONbits.TMR2ON = 1;  
PIE1bits.TMR2IE = 1;  
}  
}  
  
void init_hw(){
```

```
TRISA = 0;
TRISB = 0;
PORTB = 0;
TRISC = 0xFF;
TRISD = 0;
TRISE = 0xFF;

/*Configura Timer 0*/
T0CONbits.T08BIT = 0;
T0CONbits.T0CS = 0;
T0CONbits.PSA = 1;
T0CONbits.T0PS0 = 0;
T0CONbits.T0PS1 = 0;
T0CONbits.T0PS2 = 0;
T0CONbits.TMR0ON = 0;
INTCONbits.TMR0IE = 1;

/*Configura Timer 1*/
T1CONbits.RD16 = 1;
T1CONbits.T1RUN = 1;
T1CONbits.T1CKPS1 = 0;
T1CONbits.T1CKPS0 = 0;
T1CONbits.T1OSCEN = 0;
T1CONbits.TMR1CS = 0;
T1CONbits.TMR1ON = 0;

/*Configura Timer 2*/
T2CONbits.T2CKPS1 = 1;
T2CONbits.T2CKPS0 = 1;
T2CONbits.T2OUTPS3 = 1;
T2CONbits.T2OUTPS2 = 1;
T2CONbits.T2OUTPS1 = 1;
T2CONbits.T2OUTPS0 = 1;
T2CONbits.TMR2ON = 1;
```

```
PIE1bits.TMR2IE = 1;
PR2 = 0xFF;

/*Configura Timer 3*/
T3CONbits.RD16 = 1;
T3CONbits.T3CCP2 = 1;
T3CONbits.T3CCP1 = 1;
T3CONbits.T3CKPS1 = 0;
T3CONbits.T3CKPS0 = 0;
T3CONbits.TMR3CS = 0;
T3CONbits.TMR3ON = 1;

ADCON1 = 0x0F;
CCP1CON = 0b00000101;

INTCONbits.GIE = 1;
INTCONbits.PEIE = 1;
PIE1bits.CCP1IE = 1;
PIE1bits.TMR1IE = 1;
PIE2bits.TMR3IE = 1;
PIR1bits.TMR1IF = 0;
}
```

```
void main(void){

    init_hw();
    init_lcd();
    __delay_ms(50);

    comando(0x80);
    escreve_frase(frase);
    comando(0xC0);
    escreve_frase(frase2);
```

```
LATAbits.LATA0 = 1; //Liga a alimentação dos transformadores
```

```
while(1){
}
}
```

APÊNDICE E - Código de comando da injeção

```
/*
 * File: modulo_principal3.c
 * Author: aluno
 *
 * Created on 16 de Março de 2023, 16:03
 */
```

```
#include <xc.h>
#include "Config.h"
#include "LCD.h"
```

```
#define botao1 PORTEbits.RE0
#define botao2 PORTEbits.RE1
```

```
unsigned char  volta  = 1;
unsigned int   t       = 0;
unsigned long int t_ant = 0;
unsigned char  dente  = 0;
unsigned char  i_carga = 0;
unsigned char  i_rotacao = 0;
unsigned int   counter = 0;
unsigned char  counter2 = 0;
```

```
unsigned long int resultado_rotacao;
unsigned char  resultado_carga ;
```

```

unsigned char i_rotacao_ant ;
unsigned char i_carga_ant ;

```

```

unsigned char vetorH[3] = {0xD1, 0xA2, 0x44};
unsigned char vetorL[3] = {0x1A, 0x35, 0x6C};

```

```

unsigned char dente_ign_14[11][3] = {{11, 10, 8}, {11, 9, 6}, {10, 8, 4}, {10, 7,
2}, {9, 6, 58}, {9, 5, 58}, {8, 4, 56}, {8, 3, 54}, {7, 2, 52}, {7, 1, 50}, {6, 58, 48}};
unsigned char dente_ign_23[11][3] = {{41, 40, 38}, {41, 39, 36}, {40, 38, 34},
{40, 37, 32}, {39, 36, 30}, {39, 35, 28}, {38, 34, 26}, {38, 33, 24}, {37, 32, 22},
{37, 31, 20}, {36, 30, 18}};

```

```

unsigned int vetor_rotacao[11] = {1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000,
4500, 5000, 5500, 6000};

```

```

//unsigned char frase[] = "Aguarde." ;
unsigned char frase2[] = "Rotacao: RPM";
unsigned char frase3[] = "Tinjecao: ms";

```

```

void interrupt isr(){
    if(INTCONbits.TMR0IE == 1 && INTCONbits.TMR0IF == 1){
        INTCONbits.TMR0IF = 0;
        INTCONbits.TMR0IE = 0;
        T0CONbits.TMR0ON = 0;
        LATBbits.LATB1 = 0;
        LATBbits.LATB3 = 0;
    }

```

```

    if(PIE1bits.TMR1IE == 1 && PIR1bits.TMR1IF == 1){
        PIR1bits.TMR1IF = 0;
        PIE1bits.TMR1IE = 0;
        T1CONbits.TMR1ON = 0;
        LATBbits.LATB4 = 0;
        LATBbits.LATB2 = 0;

```

```

}

if(PIE1bits.TMR2IE == 1 && PIR1bits.TMR2IF == 1){
    PIR1bits.TMR2IF = 0;
    PIE1bits.TMR2IE = 0;
    T2CONbits.TMR2ON = 0;
    counter++;
    counter2++;

    if(counter == 18){
        if(botao1 == 0){
            i_carga++;

            if(i_carga > 2){
                i_carga = 2;
            }
        }

        if(botao2 == 0){
            if(i_carga <= 0){
                i_carga = 0;
            }

            else{
                i_carga--;
            }
        }

        counter = 0;
    }

    if(counter2 == 650){
        comando(0x89);
        escreve_inteiro(vetor_rotacao[i_rotacao]);
    }
}

```

```
        counter2 = 0;
    }

    if(i_carga_ant != i_carga){
        if(i_carga == 0){
            comando(0xC9);
            escreve_inteiro(1);
        }

        else{
            resultado_carga = i_carga*2;
            comando(0xC9);
            escreve_inteiro(resultado_carga);
        }

        i_carga_ant = i_carga;
    }

    TMR2 = 0;
    T2CONbits.TMR2ON = 1;
    PIE1bits.TMR2IE = 1;
}

if(PIR1bits.CCP1IF == 1){
    PIR1bits.CCP1IF = 0;
    dente++;

    t_ant = t*2;
    t = (CCPR1H << 8) + CCPR1L;

    CCPR1H = 0;
    CCPR1L = 0;
    TMR3H = 0;
    TMR3L = 0;
```

```
if(t > t_ant){ //falha
    dente = 0;
    LATBbits.LATB0 = 1;

    if(volta == 1){
        volta = 2;
    }

    else if(volta == 2){
        volta = 1;
    }
}

else{ //falha
    LATBbits.LATB0 = 0;
}

resultado_rotacao = 1500000/t;

if (resultado_rotacao <= 135) i_rotacao = 0;
else if(resultado_rotacao <= 195) i_rotacao = 1;
else if(resultado_rotacao <= 255) i_rotacao = 2;
else if(resultado_rotacao <= 315) i_rotacao = 3;
else if(resultado_rotacao <= 375) i_rotacao = 4;
else if(resultado_rotacao <= 435) i_rotacao = 5;
else if(resultado_rotacao <= 495) i_rotacao = 6;
else if(resultado_rotacao <= 555) i_rotacao = 7;
else if(resultado_rotacao <= 615) i_rotacao = 8;
else if(resultado_rotacao <= 675) i_rotacao = 9;
else if(resultado_rotacao <= 735) i_rotacao = 10;

if(volta == 1){
    if(dente == dente_ign_14[i_rotacao][i_carga]){
```

```

LATBbits.LATB1 = 1;
TMR0H = vetorH[i_carga];
TMR0L = vetorL[i_carga];
T0CONbits.TMR0ON = 1;
INTCONbits.TMR0IE = 1;
//Carrega Timer 0 com tempo de carga
}

if(dente == dente_ign_23[i_rotacao][i_carga]){
    LATBbits.LATB4 = 1;
    TMR1H = vetorH[i_carga];
    TMR1L = vetorL[i_carga];
    T1CONbits.TMR1ON = 1;
    PIE1bits.TMR1IE = 1;
    //Carrega Timer 1 com tempo de carga
}
}

else{
    if(dente == dente_ign_14[i_rotacao][i_carga]){
        LATBbits.LATB3 = 1;
        TMR0H = vetorH[i_carga];
        TMR0L = vetorL[i_carga];
        T0CONbits.TMR0ON = 1;
        INTCONbits.TMR0IE = 1;
        //Carrega Timer 0 com tempo de carga
    }

    if(dente == dente_ign_23[i_rotacao][i_carga]){
        LATBbits.LATB2 = 1;
        TMR1H = vetorH[i_carga];
        TMR1L = vetorL[i_carga];
        T1CONbits.TMR1ON = 1;
        PIE1bits.TMR1IE = 1;
    }
}

```

```
        //Carrega Timer 1 com tempo de carga
    }
}
}
```

```
void init_hw(){
    TRISA = 0;
    TRISB = 0;
    PORTB = 0;
    TRISC = 0xFF;
    TRISD = 0;
    TRISE = 0xFF;

    /*Configura Timer 0*/
    T0CONbits.T08BIT = 0;
    T0CONbits.T0CS = 0;
    T0CONbits.PSA = 1;
    T0CONbits.T0PS0 = 0;
    T0CONbits.T0PS1 = 0;
    T0CONbits.T0PS2 = 0;
    T0CONbits.TMR0ON = 1;

    /*Configura Timer 1*/
    T1CONbits.RD16 = 1;
    T1CONbits.T1RUN = 1;
    T1CONbits.T1CKPS1 = 0;
    T1CONbits.T1CKPS0 = 0;
    T1CONbits.T1OSCEN = 0;
    T1CONbits.TMR1CS = 0;
    T1CONbits.TMR1ON = 1;

    /*Configura Timer 2*/
    T2CONbits.T2CKPS1 = 1;
```

```
T2CONbits.T2CKPS0 = 1;
T2CONbits.T2OUTPS3 = 1;
T2CONbits.T2OUTPS2 = 1;
T2CONbits.T2OUTPS1 = 1;
T2CONbits.T2OUTPS0 = 1;
T2CONbits.TMR2ON = 1;
PR2 = 0xFF;
```

```
/*Configura Timer 3*/
```

```
T3CONbits.RD16 = 1;
T3CONbits.T3CCP2 = 1;
T3CONbits.T3CCP1 = 1;
T3CONbits.T3CKPS1 = 0;
T3CONbits.T3CKPS0 = 0;
T3CONbits.TMR3CS = 0;
T3CONbits.TMR3ON = 1;
```

```
ADCON1 = 0x0F;
CCP1CON = 0b00000101;
```

```
INTCONbits.GIE = 1;
INTCONbits.PEIE = 1;
PIE1bits.CCP1IE = 1;
INTCONbits.TMR0IE = 1;
PIE1bits.TMR1IE = 1;
PIE1bits.TMR2IE = 1;
PIE2bits.TMR3IE = 1;
PIR1bits.TMR1IF = 0;
```

```
}
```

```
void main(void){
```

```
    init_hw();
    init_lcd();
```

```
__delay_ms(50);

comando(0x80);
escreve_frase(frase2);
comando(0xC0);
escreve_frase(frase3);

LATAbits.LATA0 = 0; //Liga a bomba
LATAbits.LATA1 = 0; //Liga a alimentação dos transformadores

while(1){
}
}
```

APÊNDICE F - Código do arquivo externo LCD.c

```
/*
 * File: LCD.c
 * Author: aluno
 *
 * Created on 16 de Março de 2023, 16:04
 */

#include "LCD.h"
#include <xc.h>
#include "Config.h"

/*Envia um comando para o LCD*/
void comando(unsigned char dado){

    RS_LCD = 0;
    RW_LCD = 0;
    E_LCD = 0;
```

```
__delay_us(10);
```

```
D4_LCD = (dado & 0x10)>>4;
```

```
D5_LCD = (dado & 0x20)>>5;
```

```
D6_LCD = (dado & 0x40)>>6;
```

```
D7_LCD = (dado & 0x80)>>7;
```

```
E_LCD = 1;
```

```
__delay_us(10);
```

```
E_LCD = 0;
```

```
__delay_us(10);
```

```
D4_LCD = (dado & 0x01);
```

```
D5_LCD = (dado & 0x02)>>1;
```

```
D6_LCD = (dado & 0x04)>>2;
```

```
D7_LCD = (dado & 0x08)>>3;
```

```
E_LCD = 1;
```

```
__delay_us(10);
```

```
E_LCD = 0;
```

```
}
```

```
/*Envia um caracter para o LCD*/
```

```
void escrita(unsigned char dado){
```

```
RS_LCD = 1;
```

```
RW_LCD = 0;
```

```
E_LCD = 0;
```

```
__delay_us(20);
```

```
D4_LCD = (dado & 0x10)>>4;
```

```
D5_LCD = (dado & 0x20)>>5;
```

```
D6_LCD = (dado & 0x40)>>6;
```

```
D7_LCD = (dado & 0x80)>>7;
```

```
E_LCD = 1;
__delay_us(20);
E_LCD = 0;
__delay_us(20);

D4_LCD = (dado & 0x01);
D5_LCD = (dado & 0x02)>>1;
D6_LCD = (dado & 0x04)>>2;
D7_LCD = (dado & 0x08)>>3;

E_LCD = 1;
__delay_us(20);
E_LCD = 0;
}

/*Função de Inicialização do LCD*/
void init_lcd(){
    __delay_ms(15);

    RS_LCD = 0;
    RW_LCD = 0;
    E_LCD = 0;
    __delay_us(10);

    D4_LCD = 1;
    D5_LCD = 1;
    D6_LCD = 0;
    D7_LCD = 0;

    E_LCD = 1;
    __delay_us(10);
    E_LCD = 0;
    __delay_ms(5);
```

```
RS_LCD = 0;  
E_LCD = 0;  
__delay_us(10);
```

```
D4_LCD = 1;  
D5_LCD = 1;  
D6_LCD = 0;  
D7_LCD = 0;
```

```
E_LCD = 1;  
__delay_us(10);  
E_LCD = 0;  
__delay_us(100);  
RS_LCD = 0;  
E_LCD = 0;  
__delay_us(10);
```

```
D4_LCD = 1;  
D5_LCD = 1;  
D6_LCD = 0;  
D7_LCD = 0;
```

```
E_LCD = 1;  
__delay_us(10);  
E_LCD = 0;  
RS_LCD = 0;  
E_LCD = 0;  
__delay_us(10);
```

```
D4_LCD = 0;  
D5_LCD = 1;  
D6_LCD = 0;  
D7_LCD = 0;
```

```

E_LCD = 1;
__delay_us(10);
E_LCD = 0;

```

```

comando(0x28);
__delay_us(40);
comando(0x06);
__delay_us(40);
comando(0x0E);
__delay_us(40);
__delay_us(40);
comando(0x01);

```

```

}

```

/*Função para Escrita de uma string no LCD */

```

void escreve_frase(unsigned char *data){
    unsigned int i;

    for(i=0; *data!=0; i++){
        escrita(*data);
        data++;
    }
}

```

/*Converte um inteiro com sinal ou sem sinal em uma string que sera escrita no LCD*/

```

void escreve_inteiro(unsigned int x){

    unsigned char vetor_aux[] = "0000";

    unsigned int x_aux = x;
    unsigned char j;

```

```

for(j = 4;j > 0;j--){
    vetor_aux[j-1] = (x_aux % 10) + 0x30;
    x_aux = x_aux/10;
}

escreve_frase(vetor_aux);
__delay_us(50);
}

```

APÊNDICE G - Código do arquivo externo LCD.h

```

/*
 * File:
 * Author:
 * Comments:
 * Revision history:
 */

/*Prototipos das funções do arquivo LCD.c*/
#define RS_LCD LATDbits.LATD1
#define E_LCD LATDbits.LATD0
#define RW_LCD LATDbits.LATD2
#define D7_LCD LATDbits.LATD7
#define D6_LCD LATDbits.LATD6
#define D5_LCD LATDbits.LATD5
#define D4_LCD LATDbits.LATD4

void comando(unsigned char dado);
void escrita(unsigned char dado);
void init_lcd();
void escreve_frase(unsigned char *data);
void escreve_inteiro(unsigned int x);

```

APÊNDICE H - Código do arquivo externo Config.h

```

/*
 * File:
 * Author:
 * Comments:
 * Revision history:
 */

// This is a guard condition so that contents of this file are not included
// more than once.
#ifndef XC_HEADER_TEMPLATE_H
#define XC_HEADER_TEMPLATE_H

#define _XTAL_FREQ 48000000

#include <xc.h> // include processor files - each processor file is guarded.

// TODO Insert appropriate #include <>

// TODO Insert C++ class definitions if appropriate

// TODO Insert declarations

// Comment a function and leverage automatic documentation with slash star
star
/**
 <p><b>Function prototype:</b></p>

 <p><b>Summary:</b></p>

 <p><b>Description:</b></p>

 <p><b>Precondition:</b></p>

```

<p>Parameters:</p>

<p>Returns:</p>

<p>Example:</p>

<code>

</code>

<p>Remarks:</p>

*/

```
// TODO Insert declarations or function prototypes (right here) to leverage  
// live documentation
```

```
#ifdef __cplusplus  
extern "C" {  
#endif /* __cplusplus */
```

```
    // TODO If C++ is being used, regular C code needs function names to have  
C  
    // linkage so the functions can be used by the c code.
```

```
#ifdef __cplusplus  
}  
#endif /* __cplusplus */
```

```
#endif /* XC_HEADER_TEMPLATE_H */
```

