



Escola Politécnica
Universidade de São Paulo
Associação dos Engenheiros Politécnicos



ASSOCIAÇÃO DOS
ENGENHEIROS POLITÉCNICOS

Programa de Bolsas de Desenvolvimento Social da Associação dos Engenheiros
Politécnicos - AEP

Desenvolvimento de uma ECU *open source* para motores a combustão

Enrique William Garcia e Franco

Filipe Gabriel Santos

Gustavo Gransotto Ribeiro

Leonardo Shoiti Miyashiro

RELATÓRIO PARCIAL DE ATIVIDADES

Orientador:

Prof. Dr. João Francisco Justo Filho

Relatório de atividades dos bolsistas AEP,
atuantes no Grupo de Eletrônica Automotiva da EPUSP.

ASSINATURAS DE CADA MEMBRO

AGRADECIMENTOS:

Agradecemos ao orientador Prof. Doutor João Francisco Justo Filho pela paciência e pelo compartilhamento de conhecimento, assim como ao Prof. Doutor Armando Antônio Maria Laganá, que têm fornecido *networking* e bibliografias muito úteis para o desenvolvimento do projeto, juntamente com orientação nas mais diversas questões.

Agradecemos ao técnico do PSI, Jair Pereira De Souza, pela dedicação de seu tempo e pela qualidade de seu trabalho no auxílio da confecção da ECU, auxiliando a soldagem dos 464 componentes, que fugia das habilidades dos orientados.

Não podemos deixar de agradecer ao Filipe Jato pelo fornecimento de componentes eletrônicos, Rodrigo Peralta pelo excelente trabalho de mestrado, Demerson e Bruno Pereira pelas dicas e ajuda das mais diversas formas. Agradecemos também a Antônio Socorro, da FATEC, que nos auxiliou a compreender o projeto e nos testes dos componentes.

Seremos eternamente gratos a AEP pela oportunidade de bolsa, que fomentou a curiosidade científica e responsabilidade de projeto no grupo.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Modelação e estruturação do projeto em V	Pag. 15
Figura 2	Entrada de Tensão para testes em bancada	Pag. 20
Figura 3	Parte do mapeamento de Linha 30	Pag. 20
Figura 4	Parte do mapeamento de Linha 30	Pag. 21
Figura 5	Mapeamento de alimentação 5V	Pag. 21
Figura 6	Mapeamento de Linha 15 e chaves relacionadas	Pag. 22
Figura 7	Elucidação da necessidade dos transistores em SPI	Pag. 23
Figura 8	Esquema de ligação genérica em SPI	Pag. 23
Figura 9	Demonstração da comunicação SPI	Pag. 24
Figura 10	Placa com as trilhas do SPI destacadas.	Pag. 26
Figura 11	Saídas de teste relacionadas à leitura da tensão na bateria e ao sinal de linha 15	Pag. 28
Figura 12	Parte do circuito referente aos condicionadores de sinais a serem testados.	Pag. 29
Figura 13	Circuito de condicionamento dos sinais vindos do Pedal	Pag. 29
Figura 14	Circuito de acionamento do relé da bomba de injeção	Pag. 31
Figura 15	<i>MOSFETs</i> de acionamento dos relés de aquecimento da sonda lambda e da válvula do filtro do cânister.	Pag. 32
Figura 16	Sinal do sensor de posição da válvula borboleta	Pag. 33

Figura 17	Ilustração de roda fônica	Pag. 34
Figura 18	Medição do sinal simulado de rotação durante testes	Pag. 35
Figura 19	Eixo de comando de válvulas	Pag. 37
Figura 20	Acionamento de Injeção no cilindro 1 de acordo com sinal de fase e rotação	Pag. 37
Figura 21	Sinais de rotação e fase em sincronismo	Pag. 39
Figura 22	Circuito configurável de condicionamento de rotação.	Pag. 40
Figura 23	Entradas e saídas de rotação para leitura.	Pag. 41
Figura 24	Sistema de comunicação explicitado	Pag. 42
Figura 25	Interface IHM não conectada a placa	Pag. 43
Figura 26	Esquemático de construção do sensor MAP e curva característica de resposta a pressão admitida	Pag. 44
Figura 27	Variação da resistência de um elemento NTC com a temperatura (em °C)	Pag. 45
Figura 28	Circuitos empregados para verificação do sinal do sensor	Pag. 45
Figura 29	Sinal da rede CAN	Pag. 46
Figura 30	Enumeração dos conectores no PCB	Pag. 50
Figura 31	Esquema do conector BOSCH	Pag. 50
Figura 32	Circuito comparador do condicionador Analógico/Digital para o sensor de rotação	Pag. 51
Figura 33	Circuito corrigido do circuito comparador	Pag. 52

Figura 34	Interligação equivocada entre circuito condicionador da bateria, o PIC de gerenciamento e de Comunicação	Pag. 53
Figura 35	Correção da interligação entre circuito condicionador da bateria, o PIC de Gerenciamento e de Comunicação	Pag. 54
Figura 36	Placa em funcionamento	Pag. 55
Figura 37	Teste do condicionador de tensão na bateria	Pag. 55
Figura 38	Curva de calibração do sensor de tensão na bateria	Pag. 56
Figura 39	Montagem experimental para testes do pedal	Pag. 57
Figura 40	Tempo de um dente para um sinal simulado a 500 rpm e falha da roda fônica para um sinal de 2000 rpm	Pag. 59
Figura 41	Sinal do simulador da roda fônica e do sensor de fase a 2000 rpm	Pag. 59
Figura 42	Sinal de fase a 2000 rpm de simulação	Pag. 61
Figura 43	LEDs queimados próximos ao CI de conexão USB	Pag. 62
Figura 44	Vetores de comunicação com resultados inesperados e incompatíveis	Pag. 63
Figura 45	Diagrama UML do funcionamento da versão de software 2.4, criado para elucidar os processos internos do PIC	Pag. 64
Figura 46	Diagrama UML do funcionamento da versão de software 2.4, criado para elucidar os processos internos do PIC	Pag. 65
Figura 47	Sistema da ECU com tudo o que é vital para que a injeção funcione.	Pag. 66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CI	Circuito Integrado
COM	Porta de comunicação USB
ECU	Electronic Control Unit - Unidade de Controle Eletrônico
FATEC	Faculdade de Tecnologia de São Paulo
FLEX	Flexible fuel
λ	Relação entre a mistura ar-combustível na exaustão pela mistura ar-combustível estequiométrica
HiL	Hardware in the Loop - Sistema de simulação de sinais elétricos
LME	Laboratório de Microeletrônica da Universidade de São Paulo
ms	Milisegundo
SMD	Surface Mounting Device
SPI	Serial Peripheral Interface - Protocolo de comunicação
VOLKSWAGEN	Montadora de veículos alemã
LINHA 30	Linha de alimentação diretamente ligada ao positivo da bateria

LINHA 15	Linha de alimentação ligada ao terminal positivo de saída do comutador de ignição e partida
PIC	Microcontrolador da empresa Microchip
MPLAB X	Software de programação de microcontroladores PIC
XC8	Compilador utilizado no software MPLAB X
PICKIT 3	Dispositivo de gravação dos PICs via ICSP
ICSP	In Circuit Serial Programming
PSI	Departamento de Sistemas Integráveis da EPUSP
LSI	Laboratório de Sistemas Integráveis
TPS	Throttle Position System - Sistema de abertura da válvula borboleta
PWM	Pulse Width Modulation - Sinal variável em duty-cycle
MAP	Manifold Absolute Pressure - Sensor de fluxo de ar

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	10
2.	ABSTRACT	11
3.	OBJETIVOS	12
3.1.	OBJETIVOS GERAIS	12
3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
4.	METODOLOGIA	13
4.1.	ETAPA 1 - REVISÃO E ESTUDO DE PROJETOS ANTERIORES	14
4.2.	ETAPA 2 - CONFECÇÃO DOS <i>HARDWARES</i>	14
4.3.	ETAPA 3 - TESTES EM BANCADA	14
4.4.	ETAPA 4 - APRIMORAMENTO E DESENVOLVIMENTO DE <i>SOFTWARE</i>	16
4.5.	ETAPA 5 - TESTES COM MOTOR VOLKSWAGEN GOL 2009 G5 1.6L TOTAL FLEX	16
4.6.	ETAPA 6 - COLETA DE DADOS E ANÁLISE DE RESULTADOS	17
5.	DESENVOLVIMENTO	18
5.1.	ESTUDO DE ESQUEMÁTICOS E DA PLACA	18
5.2.	MONTAGEM E SOLDAGEM DAS PLACAS DO PROJETO	18
5.3.	TESTE DE ALIMENTAÇÃO DA PLACA	19
5.4.	TESTE DE COMUNICAÇÃO SPI	22
5.5.	TESTE DO BLOCO DE GERENCIAMENTO	26
5.6.	TESTE DO BLOCO DE ADMISSÃO	31
5.7.	TESTE DO BLOCO DE SINCRONISMO	33
5.8.	TESTE DO BLOCO DE COMUNICAÇÃO	41
6.	RESULTADOS PARCIAIS	48

6.1.	ESTUDO DE ESQUEMÁTICOS E DA PLACA	48
6.2.	MONTAGEM E SOLDAGEM DAS PLACAS DO PROJETO	50
6.3.	TESTE DE ALIMENTAÇÃO DA PLACA	54
6.4.	TESTE DO BLOCO DE GERENCIAMENTO	55
6.5.	TESTE DO BLOCO DE ADMISSÃO	58
6.6.	TESTE DO BLOCO DE SINCRONISMO	58
6.7.	TESTE DO BLOCO DE COMUNICAÇÃO	61
7.	ANÁLISES E DISCUSSÃO	66
7.1.	RESULTADOS INESPERADOS	66
7.2.	PLANEJAMENTO DO RESTANTE DO TRABALHO	67
7.3.	PERSPECTIVAS PARA O FUTURO DO PROJETO	67
7.4.	ANÁLISE DE CADA MEMBRO DA EQUIPE	68
8.	CONCLUSÃO	72
9.	ANEXOS	74
10.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

1. INTRODUÇÃO:

O mercado automotivo nacional é sólido e muito importante, figurando na 9ª posição mundial, e com alto potencial de voltar a disputar o 4º lugar, como aconteceu nesta década. Assim, tem importância significativa no âmbito mundial. Deste modo, toda a preocupação com o meio ambiente em relação à emissão de poluentes e também com a extinção dos combustíveis fósseis se propagam na indústria automobilística brasileira. Foi assim que a tecnologia *Flex-Fuel* se tornou significativa e superou a dos motores à combustão de gasolina. Acompanha-se, também, o cuidado com a eficiência dos motores, visto que se procura melhorar a cada processo a eficiência dos equipamentos mecânicos.

Para aprimorar os aspectos citados, há um esforço crescente dos setores privados e das instituições superiores de ensino, visto que as inovações e as propostas de soluções brasileiras ainda não são majoritárias no mercado e na ciência automobilística. O presente projeto é uma das iniciativas acadêmicas que busca explorar este potencial, principalmente no nicho de eletrônica e gerenciamento.

2. ABSTRACT:

The current brazilian automotive market is solid, figuring the world's 9th position with high chances into going back to be the 4th, as seen this decade. Therefore, it has an important place at the international scope. Thereby, all the environmental issues, as the pollutant emissions and fossil fuel extinction, propagate to the brazilian automobilistic industry. That is how the Flex-Fuel technology has become the most significant nationally, and overcame that of gasoline combustion engines. Furthermore, there is also a worry with the motors efficiency, as one ever tries to improve it.

To upgrade said aspects, there is a growing force of the private sector and the superior research institutes, since brazilians proposal for innovation are not yet meaningful at the market and the automobilistic science. The present project is one of the academic initiatives in which such potential has been pursued, principally at the electronic and management systems.

3. **OBJETIVOS:**

3.1. **OBJETIVOS GERAIS:**

Desenvolver e implementar algoritmos de controle de estequiometria de combustão (*Lambda* - λ) e composição de combustível (*Flex-fuel*) em um sistema de gerenciamento eletrônico de motores à combustão do *Ciclo Otto* desenvolvido para veículos *Volkswagen Flex* baseado no projeto de (ALVES, E. I.; JATO, F.; HIROKI, G. B. 2016).

3.2. **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudar bibliografias relacionadas a estratégias, sensores e atuadores necessários para o gerenciamento eletrônico de motores a combustão do Ciclo Otto.
- Estudar o *hardware* da unidade de gerenciamento eletrônico (*ECU*) desenvolvido na instituição *FATEC Santo André*, suas funcionalidades e particularidades.
- Montar e testar duas novas *ECUs* para que sejam utilizadas no projeto e para que possam vir a ser utilizadas por futuros grupos de desenvolvimento de tecnologia para gerenciamento eletrônico de motores na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Desenvolver e implementar malha de controle de estequiometria de combustão na ECU, mais conhecido por controle de λ .
- Desenvolver e implementar malha de controle de composição de combustível na ECU, mais conhecido como controle de *Flex-Fuel*.

4. METODOLOGIA:

O presente projeto seguirá o direcionamento de uma pesquisa aplicada, quantitativa, exploratória e bibliográfica (SILVA & MENEZES, 2005) e é baseado no projeto de (ALVES, E. I.; JATO, F.; HIROKI, G. B. 2016). O objeto a ser estudado é a ECU (*Eletronic Control Unit*), unidade de eletrônica embarcada responsável pelo gerenciamento eletrônico das principais funções gerenciais de um motor de automóvel: controle de admissão de ar através da válvula borboleta, injeção e de ignição de combustível, correções por composição de combustível em motores *flex*, além de monitoramento de rotação a partir da roda fônica, de estequiometria de combustão a partir do sensor lambda, entre outros.

Para atingir os objetivos propostos o grupo de pesquisa encontra-se realizando as seguintes estratégias:

- reuniões periódicas entre os membros e orientadores;
- constante compartilhamento de informações utilizando aplicativos organizacionais, armazenamento de informações em nuvem e plataformas de programação conjunta;
- registro e documentação de testes realizados;
- divisão de trabalho entre o grupo e definição de responsabilidades por partes do projeto.

A execução dos objetivos propostos será desenvolvida ao longo de 11 meses a partir do início do projeto e encontra-se dividida em etapas essenciais para atingir a meta final. Neste momento, a equipe encontra-se finalizando a Etapa 3.

- Etapa 1 - Revisão e estudo de projetos anteriores;
- Etapa 2 - Confecção dos *hardwares*;
- Etapa 3 - Testes em bancada;
- Etapa 4 - Aprimoramento e desenvolvimento de *software*;
- Etapa 5 - Testes com motor volkswagen gol 2009 g5 1.6l total flex;
- Etapa 6 - Coleta de dados e análise de resultados.

4.1. ETAPA 1 - REVISÃO E ESTUDO DE PROJETOS ANTERIORES:

Por tratar-se de um projeto em continuidade, o grupo teve grande bibliografia para ler. O projeto começou com o trabalho de conclusão de curso de (PEREIRA, B.; 2013); vários trabalhos na área foram desenvolvidos, os principais sendo (ALVES, E. I.; JATO, F.; HIROKI, G. B.; 2016), (PEREIRA, B.; 2017) e (RUIZ, R; 2017). Também foi lida a bibliografia da matéria lecionada pelos professores Armando Laganá e Leopoldo (PSI2618 – Circuitos eletrônicos automotivos), entre eles: (Kiencke & Nielsen, 2005), (Hazare, M., 2014), (Natale, M., 2008) e diversos artigos da mesma área escritos pelos orientadores. O grupo pesquisou, adicionalmente, sobre técnicas de soldagem e prototipagem, além de consultar eventualmente aos slides, apostilas e anotações do prof. Laganá.

4.2. ETAPA 2 - CONFECÇÃO DOS *HARDWARES*:

Nessa etapa, o grupo realizará a montagem completa de duas *ECUs*. A escolha de fabricação de duas placas iguais visa garantir que possíveis problemas no *hardware* do projeto não atrasem os resultados finais da pesquisa, além de contribuir com futuros grupos que venham a utilizar o hardware em trabalhos futuros.

Trata-se de uma placa complexa, com centenas de componentes do tipo *SMD*, o que exige grande atenção e organização durante a montagem, além de grande conhecimento e prática de técnicas de soldagem desse tipo. A infraestrutura utilizada pelo grupo para a montagem da placa será fornecida pela *EPUSP*, nas dependências do *LME* e acompanhado de auxílio do técnico responsável Jair Souza.

4.3. ETAPA 3 - TESTES EM BANCADA:

A unidade de gerenciamento eletrônico de um carro é um sistema complexo e cheio de nuances, por esse motivo, a placa precisa ser

extensivamente testada, assim como em uma placa de produção industrial. Na indústria, usam-se máquinas de soldagem automática, Hardware in the Loop e V-Modeling para o teste dos diversos componentes.

Hardware in the Loop é uma técnica usada no desenvolvimento e teste de sistemas embarcados complexos de tempo real. A simulação providencia uma solução efetiva ao implementar a complexidade da planta sob o controle da plataforma em teste. A complexidade da planta é incluída no teste em desenvolvimento ao adicionar uma representação matemática de todos os sistemas dinâmicos relacionados. Essa representação matemática é referida como “planta de simulação”. O sistema embarcado a ser testado interage a planta de simulação por meio de conexões elétricas reais, simulando o uso efetivo do hardware.

V-Modeling é um método - apresentado na matéria PSI2618 por um palestrante engenheiro da empresa ETAS - que representa o processo de desenvolvimento; pode ser considerado um modelo de cascata. Ao invés de mover-se para baixo em um sentido linear, os degraus de processo são dobrados para cima após a etapa de código, formando um aparente “V”. O Modelo V demonstra as relações entre cada fase do ciclo de vida do desenvolvimento e é associada a fase de testes. Os eixos horizontais e verticais representam o tempo ou a completude do projeto e o nível de abstração requerido, respectivamente.

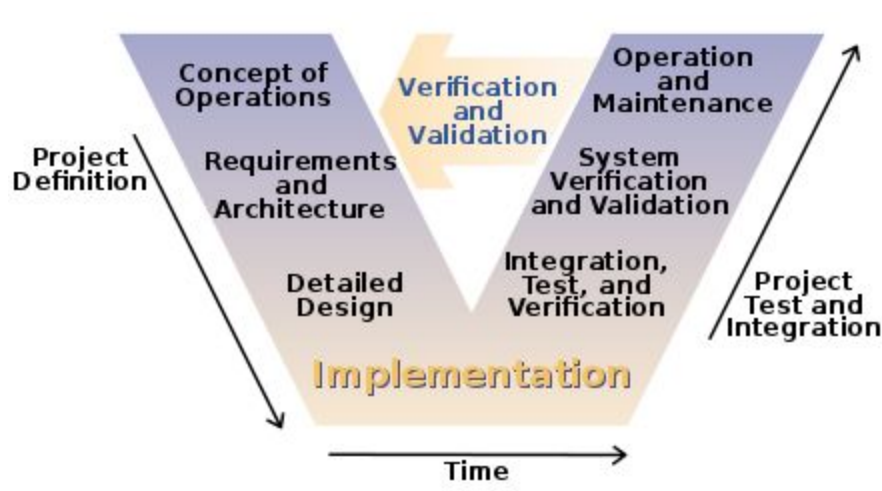


Figura 1 - Na imagem segue um fluxo de passos de projeto em V, sendo: 1. Conceituação de operações, 2. Requerimentos e arquitetura, 3. Projeto detalhado, 4. Implementação, 5. Integração, teste e verificação, 6. Verificação e validação do sistema, 7. Operação e manutenção, 8. Verificação e validação, e de volta a 1. Conceituação de operações.

4.4. ETAPA 4 - APRIMORAMENTO E DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE:

Aprimoramento do *software* de controle da unidade de controle, implementação do algoritmo de controle de λ , detecção e correção de erros. Esta etapa é essencial para agilizar testes com o motor, pois permite uma maior familiarização com a unidade de gerenciamento e possibilita a previsão dos resultados que serão obtidos com testes no veículo. Podemos dividir também essa etapa em alguns subitens, sendo eles:

- Análise e identificação de falhas no *firmware* já desenvolvido;
- Solução dos problemas identificados e testes;
- Desenvolvimento do *software* de controle do fator λ ;
- Desenvolvimento do *software* de controle de composição de combustível;
- Teste e depuração dos novos *softwares* desenvolvidos.

4.5. ETAPA 5 - TESTES COM MOTOR VOLKSWAGEN GOL 2009 G5 1.6L TOTAL FLEX:

Nessa Etapa, a unidade de gerenciamento será instalada no motor do veículo utilizado no projeto com o auxílio de técnicos e pesquisadores de laboratórios presentes no IPT (Instituto de Pesquisa Tecnológica) e no IEE USP. Nesses testes, pretende-se utilizar os dinamômetros presentes nos laboratórios para estabilização de rotação do motor, garantindo maior estabilidade e confiabilidade ao estudo.

Inicialmente a unidade de gerenciamento desenvolvida será ligada a um dispositivo que fará a interseção dos sinais de uma *ECU* já calibrada que estará atuando no gerenciamento do motor. A partir da entrada de todos os sinais de

alimentação e sensoramento, pode-se monitorar os sinais de atuação gerados pela *ECU* desenvolvida com o auxílio de um osciloscópio.

Uma vez identificados possíveis erros, soluções serão desenvolvidas até que os sinais de saída de injeção, ignição e controle da válvula borboleta estejam coerentes com o teste realizado. O próximo passo consiste em efetivamente controlar o motor utilizando o sistema desenvolvido, realizando aquisição de dados para a calibração do sistema.

4.6. ETAPA 6 - COLETA DE DADOS E ANÁLISE DE RESULTADOS:

A última etapa do projeto fundamenta-se na aquisição de dados da *ECU* já calibrada, tabelamento dessas informações e geração de gráficos e relatórios que traduzam os resultados obtidos. A redação do relatório final do projeto também está inserida nessa etapa.

5. DESENVOLVIMENTO:

5.1. ESTUDO DE ESQUEMÁTICOS E DA PLACA

Como mencionado na metodologia do projeto, a primeira etapa do trabalho baseou-se fortemente em estudos de trabalhos predecessores, dentre eles, destaca-se o de (ALVES, E. I.; JATO, F.; HIROKI, G. B.; 2016), trabalho este que resultou no desenvolvimento do hardware e do software inicial que será melhorado neste projeto.

A partir da monografia mencionada acima e por intermédio do Professor Armando Laganá, o grupo teve acesso a esquemáticos da unidade desenvolvida, diagramas de roteamento da placa e dois exemplares da placa de circuito impresso, com trilhas prontas e envernizadas, porém sem qualquer componente soldado, para que fossem montadas. Primeiro, era necessário entender o funcionamento dos circuitos que nela se encontravam e sua disposição na placa, para que assim o grupo pudesse agilizar o processo de montagem e identificar possíveis problemas de soldagem e de projeto.

5.2. MONTAGEM E SOLDAGEM DAS PLACAS DO PROJETO

A placa atual, projetada pelos alunos da *FATEC*, é composta de mais de 450 componentes, discretos e *SMD*. Pode-se imaginar que sua montagem exige organização e atenção, devido ao tamanho e quantidade dos componentes, por esse motivo, o grupo dividiu os componentes entre *SMDs*, CIs e discretos e os buscou separadamente. Após não conseguir encontrar grande parte dos mesmos no Brasil, recorreu-se a compra internacional. Com a grande latência do serviço postal brasileiro, as atividades foram voltadas a leitura e ao planejamento das próximas fases.

Após a chegada, o grupo reuniu-se, em turnos semanais, nas dependências dos laboratórios de soldagem com o técnico do *LME* Jair Souza, completando a solda da enorme quantidade de componentes. Durante esta etapa, houve grande comunicação com a Fatec para a troca de componentes.

Paralelo a isso, a equipe pesquisou e se familiarizou com as ferramentas de edição e gravação de software da Microchip - *MPLAB*, *XC8*, *PICKIT3* – testando a gravação e entendendo o código fonte para melhor compreender e usar os componentes em sua plenitude de funcionamento. Utilizando-se da estrutura fornecida pelo laboratório de eletrônica automotiva do PSI, o grupo testou cada PIC18F46K22, gravou e editou seu programa a fim de depurá-lo, usando osciloscópios e geradores de funções. Para assimilar perfeitamente o código e as estratégias de controle usadas, e por não estarem acostumados a trabalhar com PICs na graduação, o time montou fluxogramas UML para enunciar as funções e elucidar os processos.

Também durante este tempo, os professores orientadores organizaram o encontro do grupo eletrônica automotiva, na Fatec Santo André, que contou com a presença da *FATEC* Sorocaba, onde foram tratados assuntos como o futuro da área automotiva no país e a necessidade do conhecimento acadêmico. O encontro foi essencial para conhecer os projetistas originais do projeto e trocar informações sobre a confecção das placas.

5.3. TESTE DE ALIMENTAÇÃO DA PLACA

Durante a montagem manual de uma placa tão complexa como essa, é natural que o circuito possa ter curtos-circuitos não intencionais ou que existam circuitos integrados que não funcionem corretamente inicialmente. Por esse motivo, o primeiro teste realizado na placa foi a alimentação da placa pela entrada de tensão da bateria para testes em bancada, presente na Figura 2. Durante esse teste, uma fonte variável com controle de corrente é utilizada, pois dessa forma pode-se alimentar a entrada com tensões gradualmente crescentes monitorando a corrente demandada pela placa para identificação de possíveis curto-circuitos.

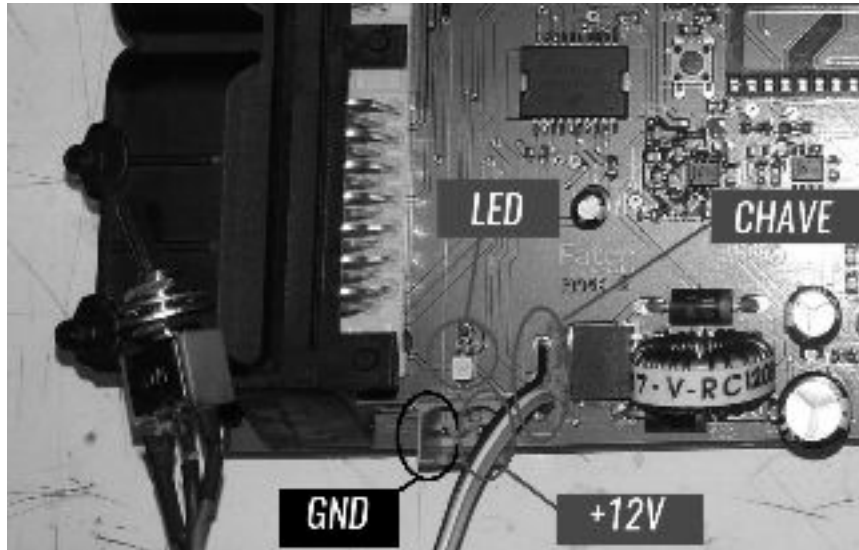


Figura 2: Entrada de Tensão para testes em bancada;

Uma vez alimentada com a tensão nominal de operação é necessário que sejam mapeadas e testadas todas as entradas de alimentação de circuitos integrados, microcontroladores e condicionadores de sinais. Nessa *ECU*, há basicamente dois tipos de sinal de alimentação com a tensão nominal da bateria, a *Linha 30* e a *Linha 15*. Esta é ligada ao terminal de saída do comutador de ignição e partida, enquanto aquela é ligada diretamente ao terminal positivo da bateria. Outro sinal interessante para ser mapeado é o sinal de 5V, regulado pelo CI LM2596. As figuras 3 e 4, a seguir, demonstram o mapeamento utilizado para estes testes.

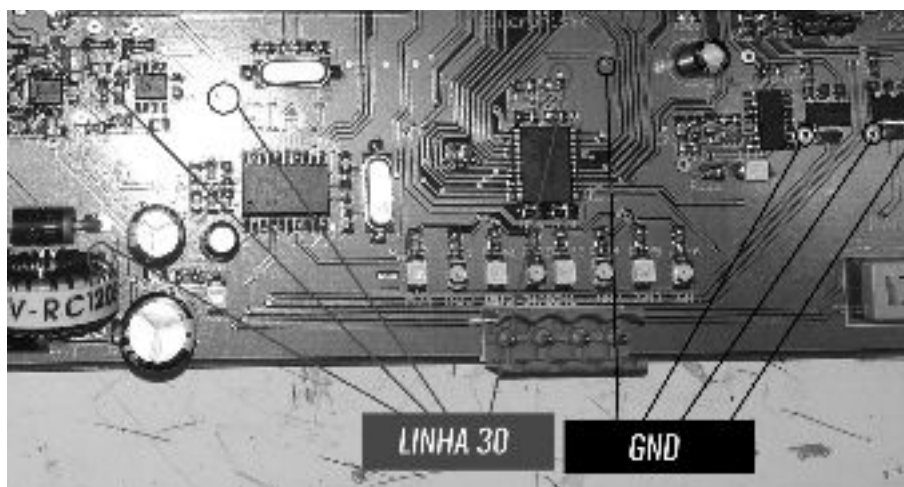


Figura 3: Parte do mapeamento de Linha 30

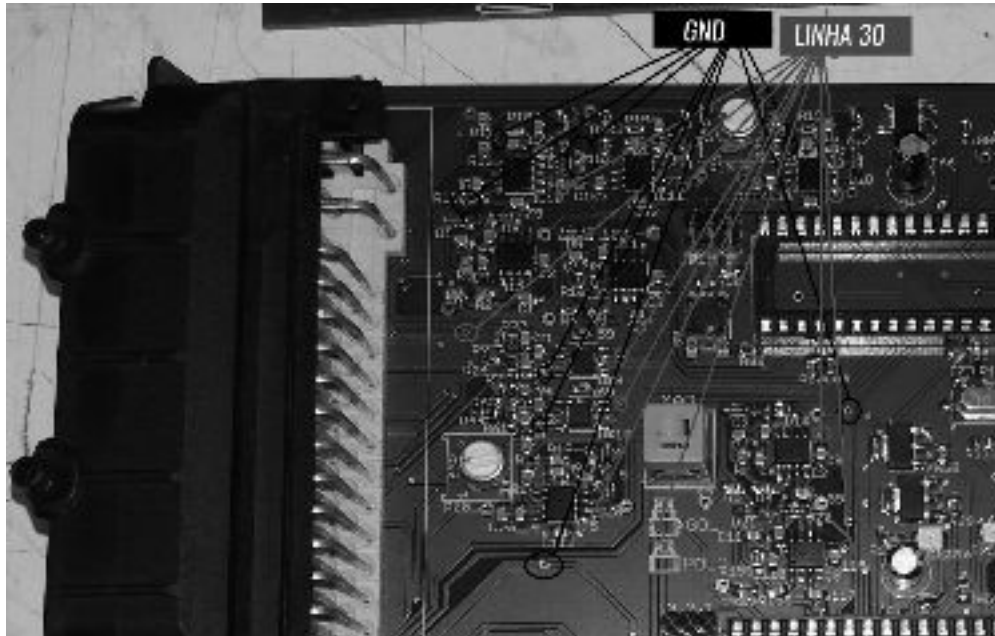


Figura 4: Parte do mapeamento de Linha 30



Figura 5: Mapeamento de alimentação 5V

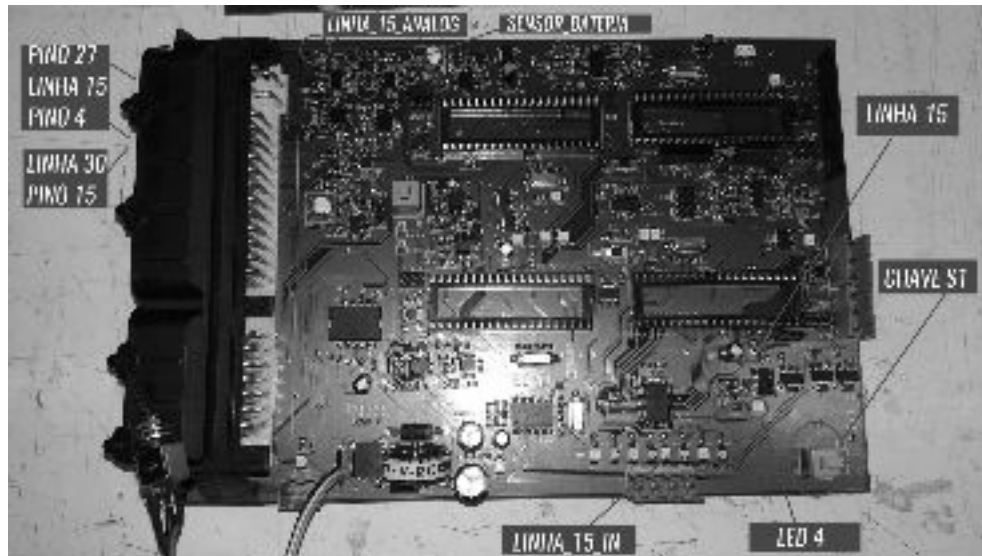


Figura 6: Mapeamento de Linha 15 e chaves relacionadas

Uma vez com os pontos de alimentação, chaves de seleção e circuitos relacionados à alimentação mapeados, foi medido o potencial elétrico em cada um dos pontos, para identificar possíveis problemas no circuito.

5.4. TESTES DE COMUNICAÇÃO SPI

O teste de comunicação SPI foi planejado em conjunto com o teste do pedal do acelerador, descrito no item 5.5.1, porém para realizá-lo as seguintes informações referentes a esse protocolo de comunicação foram levantadas.

5.4.1. Sinais de comunicação são unidimensionais.

Para isso sempre existem dois transistores definindo o estado de um pino (Push-Pull). Essa característica é uma das grandes diferenças entre outras comunicações seriais como I2C e OneWire, que possuem um mesmo barramento de dados para os sinais de entrada e saída através do esquema de dreno-aberto (Pull-Up). A trilha de sinal sempre leva o sinal de um PIC ao outro, e este caminho é estático - ou seja, essa

trilha serve para levar um bit do PIC 1 ao PIC 2, nunca do PIC 2 ao PIC 1. É por isso que são necessárias 2 trilhas de comunicação.

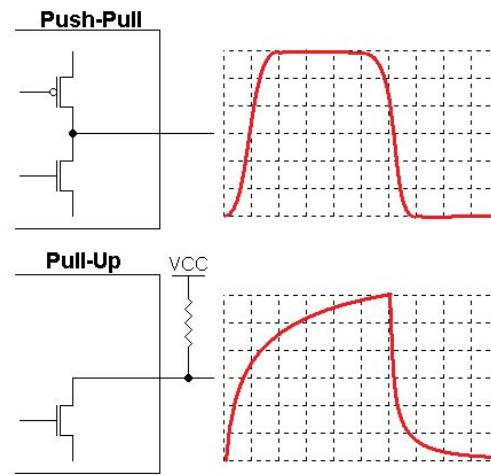


Figura 7 - Elucidação da necessidade dos transistores

5.4.2. Há apenas um mestre, mas há N escravos

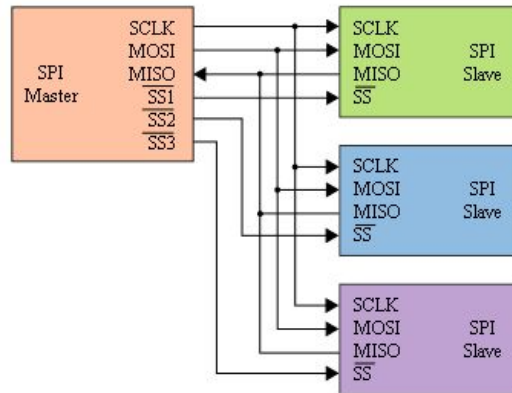
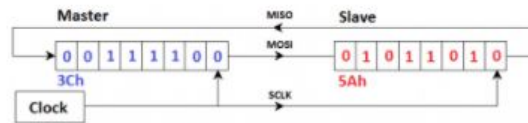


Figura 8 - Esquema de ligação genérica em SPI

5.4.3. A transmissão SPI é FULL-DUPLEX, ou dupla completa

Ou seja, sempre que o mestre quer se comunicar com um escravo, ele precisa trocar algo com ele. Para receber uma informação é necessário mandar outra, e vice-versa. Quando implementado via código, escreve-se função de transferência, e não de recebimento ou envio.



Master deseja enviar 3Ch e irá receber 5Ah do Slave.

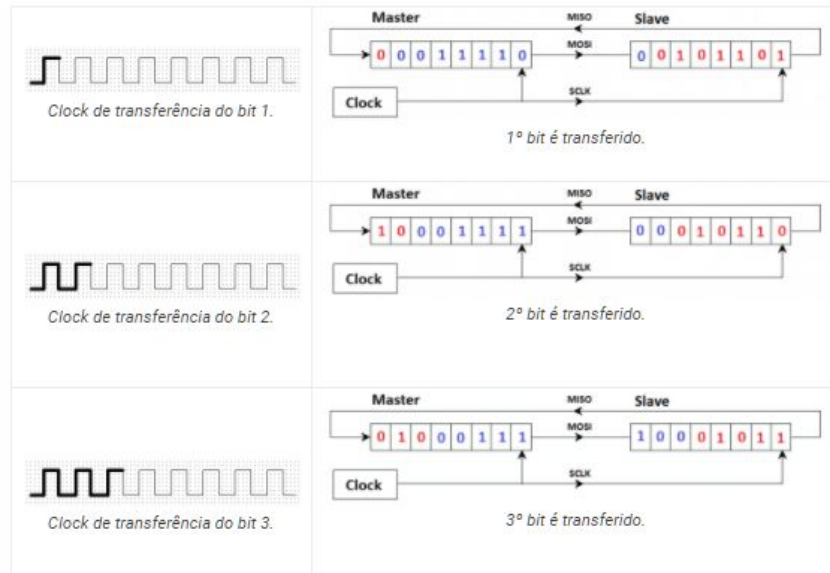


Figura 9 - Demonstração da comunicação SPI

5.4.4. Nomes dos pinos

Pino	Nome Padrão	Significado	Nomes Alternativos
Do Master para o Slave	MOSI	Master Output Slave Input	SDO, DO, SO
Do Slave para o Master	MISO	Master Input Slave Output	SDI, DI, SI
Clock	SCLK	Serial Clock	SCK, CLK
Seleção de Slave	SS	Slave Select	CS, nSS, nCS

Tabela 1 - nomeação dos pinos em SPI

5.4.5. SPI na ECU do projeto

Master: Gerenciamento

Slaves: Admissão, Comunicação e Sincronismo

PINO PIC ADM	PINO PIC GER	FUNÇÃO
24	23	SDI1
23	24	SDO1
18	18	SCK1
7	9	CS
PINO PIC SINC	PINO PIC GER	FUNÇÃO
24	23	SDI1
23	24	SDO1
18	18	SCK1
7	25	CS
PINO PIC COM	PINO PIC GER	FUNÇÃO
24	20	SDI2
23	27	SDO2
18	19	SCK2
7	39	SC

Tabela 2 - Esquema de organização dos pinos dos microcontroladores PICs para o SPI

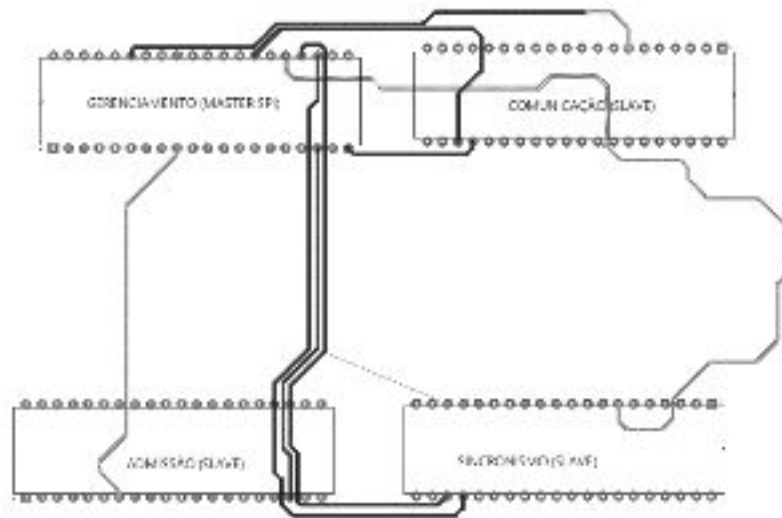


Figura 10 - Placa com as trilhas do SPI destacadas. Pode-se ver a maioria das trilhas culminando no gerenciamento, o mestre do protocolo.

5.5. TESTES DO BLOCO DE GERENCIAMENTO

O bloco do gerenciamento é o responsável por controlar todo o sistema. O microcontrolador de gerenciamento recebe os sinais vindos de condicionadores de sinal de diversos sensores e envia sinais via SPI aos outros blocos para que estes controlem os atuadores do motor. Nele são efetuados todos os cálculos e adicionados todos os mapas que serão utilizados pela *ECU*, o que requer uma análise cuidadosa de sua capacidade de armazenamento.

A lista a seguir mostra os dados que o bloco envia aos outros blocos e recebe do sensoramento do veículo.

Entradas:

- Rotação (a partir da roda fônica)
- Fase (a partir do comando de válvulas)
- Temperatura da água
- Pressão do ar admitido (MAP)
- Acionamento do pedal (Acelerador)
- SPI (master)

Linha 15 digital (alimentação)

Tensão na bateria

Composição de combustível

Sonda λ

Saídas:

Tempo de injeção

Sinal dos sensores

Acionamento do relé da bomba Injetora de combustível

SPI (master)

LEDs

5.5.1. Teste do condicionador analógico de tensão da bateria e teste do condicionador digital de Linha 15

O primeiro teste desenvolvido nessa etapa do projeto foi o funcionamento do condicionador de sinais da tensão da bateria. Esse sinal é ligado ao PIC de gerenciamento e é responsável pela correção do tempo de injeção devido à queda de tensão na bateria.

Variando-se o sinal da tensão na alimentação da placa com uma fonte variável e medindo os valores de tensão na saída do condicionador, pode-se obter uma tabela utilizada na calibração do sistema.

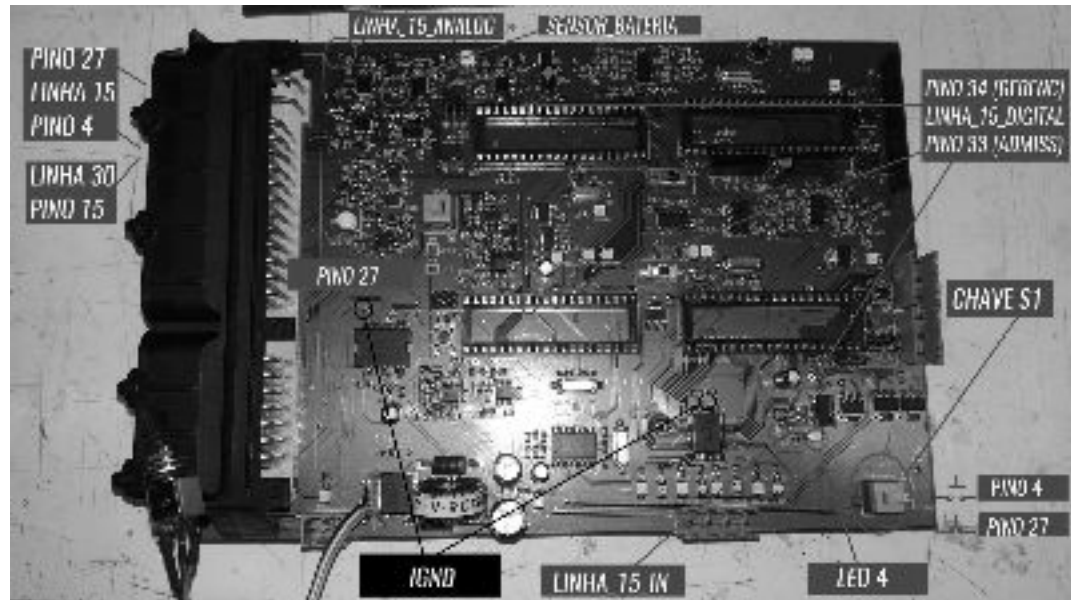


Figura 11: Saídas de teste relacionadas à leitura da tensão na bateria e ao sinal de linha 15

Um segundo teste associado à Linha 15 do veículo é o teste do condicionador digital do sinal de Linha 15. Esse circuito, observado na Figura 11, é responsável por gerar um sinal digital de nível lógico '1' assim que a linha 15 do veículo é alimentada pela tensão nominal da bateria, ou seja, quando o comutador de ignição e partida é ligado pela chave do carro.

Seu teste mostra-se bem simples, dado que trata-se de um sinal digital. Alimentado a linha 15, resta saber se os pinos 33 do *PIC* de admissão e os pinos 34 do *PIC* de gerenciamento possuem nível lógico 1 em relação ao terra digital do circuito.

5.5.2. Teste do pedal do acelerador e comunicação SPI

O primeiro teste realizado no bloco de gerenciamento consistiu no teste do acelerador. No laboratório de eletrônica do LSI, há um pedal disponível para testes. O sinal é enviado pelo conector BOSCH (canal 33 (Pedal 1) e canal 45 (Pedal 2)). O pedal possui 2 entradas pois possui uma redundância, um sinal varia linearmente de forma crescente enquanto o outro varia linearmente de forma decrescente.

$$Pedal_1 + Pedal_2 = 5 \text{ (em Volts)} \quad \text{Equação 1}$$

O teste, então, consistiu em escrever um código no *PIC* de gerenciamento que acenda o *LED* associado a ele quando o sinal de leitura do Pedal 1 for maior que 50%. O gerenciamento ainda envia o sinal do Pedal 2 ao *PIC* de comunicação, através de comunicação *SPI*. O bloco de comunicação foi programado de forma que o *LED* associado a ele só acenda quando o sinal do Pedal 2 recebido via *SPI* seja maior que 50%. O resultado esperado é que um *LED* seja complementar ao outro.

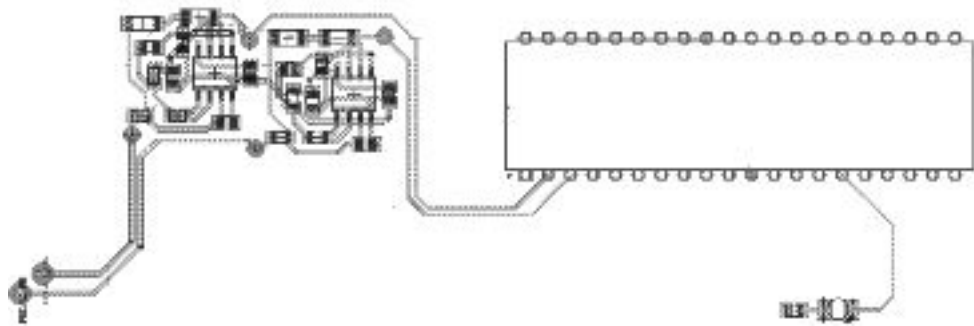


Figura 12: Parte do circuito referente aos condicionadores de sinais a serem testados.

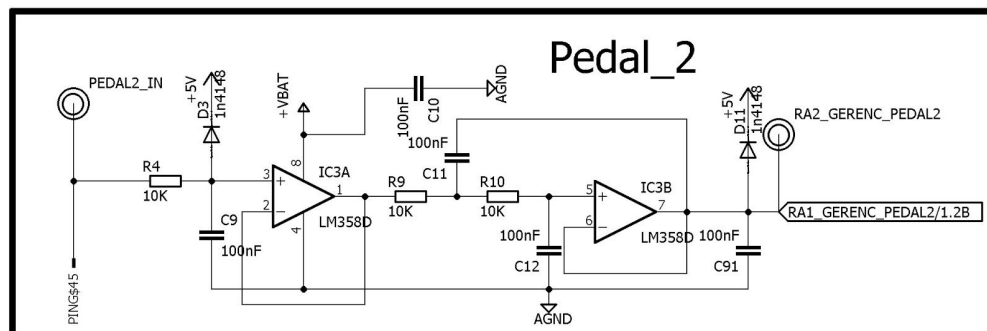
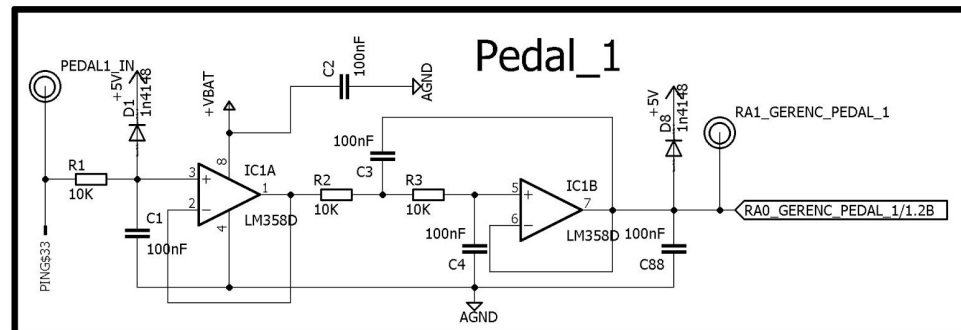


Figura 13 - Circuito de condicionamento dos sinais vindos do Pedal

5.5.3. Teste da sonda λ , monitoramento da temperatura da água de arrefecimento e da temperatura do ar de admissão

Os três testes referidos não estão planejados para a realização em bancada, visto que são apresentados vários impasses para os dispositivos que dispomos.

A sonda lambda é responsável por monitorar a combustão da mistura ar/combustível na saída do sistema de exaustão dos produtos da combustão da mistura. Assim é possível calcular o fator λ , que é a razão entre a mistura de ar real e ideal para a atividade do motor. É obtida da seguinte forma:

$$\lambda = \frac{A/C^{real}}{A/C^{ideal}}$$

Equação 2

Para um fator $\lambda < 1$, a mistura é dita rica, visto que há uma concentração maior de combustível, enquanto que $\lambda > 1$, indica que é pobre, apresentando massa de ar mais significativa. Essa informação é útil para o feedback e então regular a atividade da bomba de injeção de combustível e assim melhorar a eficiência do motor e a redução da emissão de gases poluentes.

Esse constante feedback e a complicação na manipulação de uma amostra de resultados da exaustão dificulta o teste sem a devida infraestrutura. Esta pode ser encontrada no teste diretamente no motor.

Quanto aos teste de monitoramento da temperatura da água de arrefecimento e do ar de admissão, a dificuldade é justamente simular o comportamento dos sensores.

5.5.4. Teste do relé acionador da bomba injetora de combustível

Os relés responsáveis pelo acionamento da bomba injetora de combustível são acionados por meio de um transistor MOSFET IRL014N.

O teste consistirá em programar o PIC de gerenciamento para forçar a saída RD7 (porta 30) ativa, simulando o sinal de ativação da bomba. Assim, o transistor irá permitir a passagem de corrente que ativa o relé. Com um multímetro, em modo de detecção de continuidade, testar o curto-circuito entre a entrada do relé e sua saída.

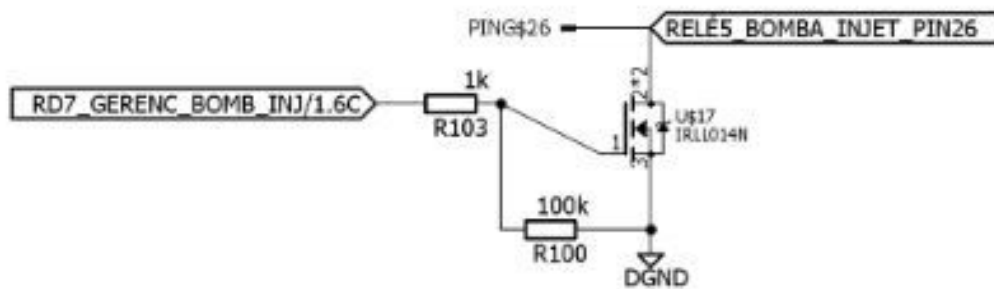


Figura 14 - Circuito de acionamento do relé da bomba de injeção

5.6. TESTES DO BLOCO DE ADMISSÃO

O bloco de admissão é responsável pelo controle da válvula borboleta e acionamento de alguns relés de atuadores do carro. Para o controle da válvula borboleta, o microcontrolador do bloco realiza a leitura do sinal de *TPS*, além de controlar o driver do motor ligado ao corpo da válvula borboleta através de um sinal *PWM*. Este bloco também é responsável pelo acionamento dos relés de aquecimento da sonda lambda e do filtro do cânister, responsável pela filtragem e realimentação de vapor de combustível evaporado do tanque no coletor de admissão.

Entradas:

- TPS1 e TPS2
- SPI do gerenciamento
- Linha 15 (alimentação)
- Sensor de velocidade do carro (Não utilizado no projeto)
- Sinais de Feedback do driver da válvula borboleta (MC33186)

Saídas:

Sinal de acionamento da válvula borboleta (MC33186)

LEDs

Acionamento dos Relés de aquecimento das sondas Lambda

Acionamento da válvula do filtro do cânister

5.6.1. Teste de acionamento dos relés ligados à admissão

Similarmente ao teste descrito no item 5.5.4, os *MOSFETs* IRLL014N mostrados na figura 15 serão testados forçando as portas RD6, RD7 e RE2 do PIC de admissão em alto e observando a continuidade entre o dreno e a fonte do componente.

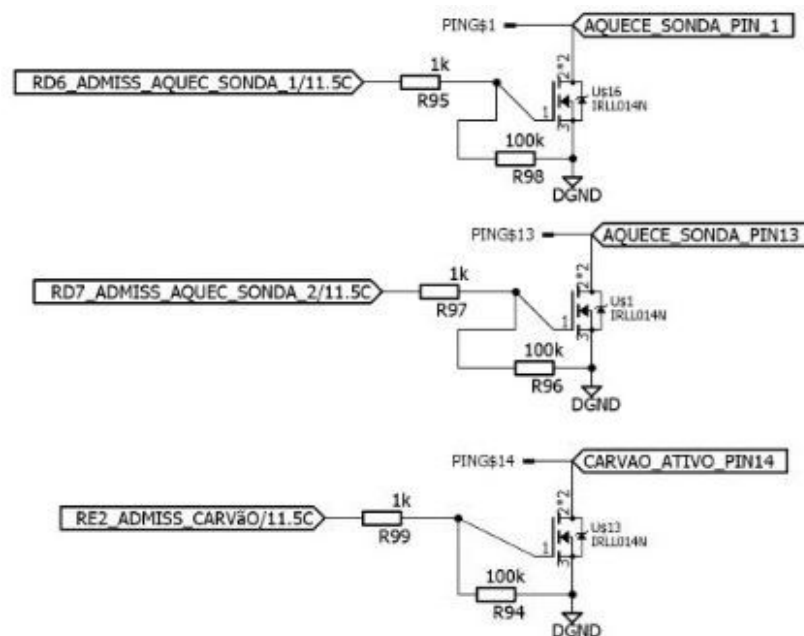


Figura 15: *MOSFETs* de acionamento dos relés de aquecimento da sonda lambda e da válvula do filtro do cânister.

5.6.2. Teste do TPS e do controlador da válvula borboleta MC33186

Assim como o pedal de aceleração, o sinal do TPS, ou seja, do sensor de posição da válvula borboleta também é dotado de redundância, sendo um sinal complementar ao outro, como pode ser observado na figura 16.

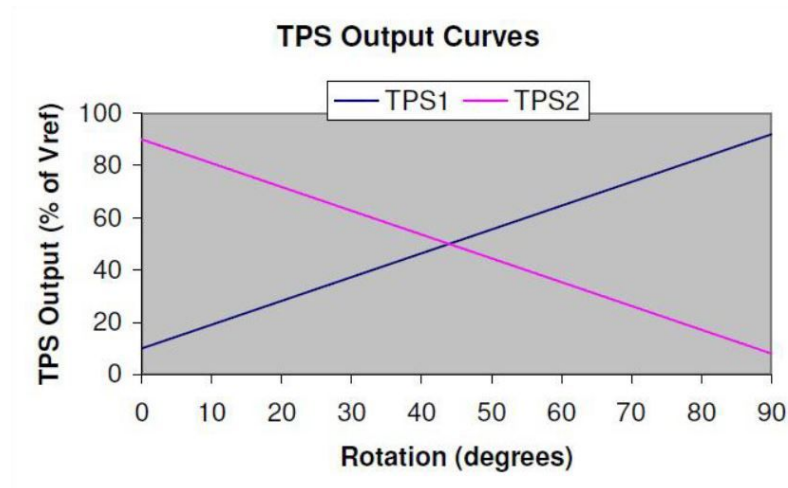


Figura 16: Sinal do sensor de posição da válvula borboleta

Para a realização deste teste, pretendia-se isolar o bloco de admissão do restante do sistema. Para isso, a entrada *TPS2* foi adaptada de forma que um potenciômetro fosse ligado a ela e funcionasse similarmente a um acelerador. A entrada do *TPS1* e saídas ligadas ao motor de acionamento da válvula borboleta foram devidamente ligadas ao corpo da borboleta, presente em bancada no laboratório.

O objetivo do teste consiste em verificar a variação de abertura da borboleta a partir da variação do potenciômetro utilizado como acelerador. Assim pode-se comprovar o funcionamento também do driver de acionamento da borboleta MC33186.

5.7. TESTES DO BLOCO DE SINCRONISMO

O bloco de sincronismo tem a função de manter a precisão no funcionamento do motor, controlando a injeção, ignição e os avanços de acordo com os regimes de carga do motor. Todas as informações para o sincronismo atuar na injeção e ignição são enviadas pelo bloco de gerenciamento.

Entradas:

Tempo de injeção (Via SPI pelo Gerenciamento)

Rotação

Fase

Linha 15 (alimentação)

Saídas:

Sinal do relé da bomba

Sinal do relé da ventoinha

Sinal das velas de ignição (MC33810)

Sinal do atuador de injeção (MC33810)

LEDs

5.7.1. Simulador de rotação e fase

O sinal de rotação nesse tipo de motor é proveniente da leitura dos dentes de uma roda fônica solidária ao virabrequim do motor. A roda possui 60 dentes com os dois últimos dentes ausentes (dente 59 e 60), para a identificação do PMS.

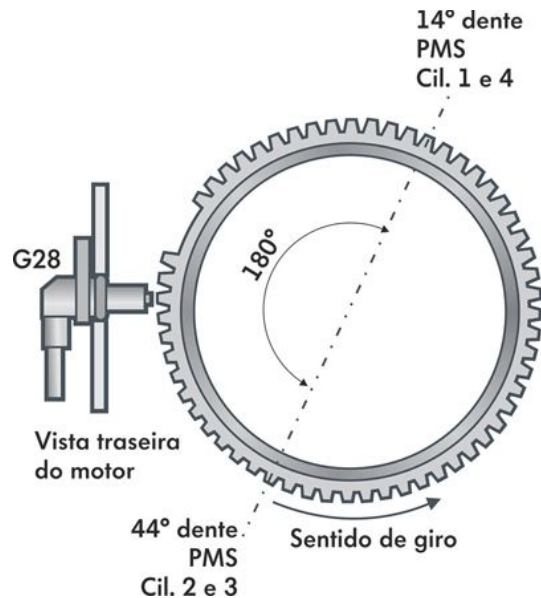


Figura 17 - Ilustração de roda fônica (<http://www.noticiasdaoficinavw.com.br/v2/wp-content/uploads/2013/06/img-12.jpg> - Acesso em fev/2018)

Para a programação do sinal de rotação, o programa definirá o período do sinal de meio dente, a partir de uma rotação *RPM* de 0 a 6000 rpm definida pelo usuário.

$$T_{volta}(us) = 60000000 / (RPM)$$

$$T_{1/2\ dente}(us) = T_{volta} / 120$$

A partir do período de rotação definido para meio dente, o programa deverá alternar o sinal de saída no período $T_{1/2\ dente}$ 116 vezes, sendo as 4 últimas interações com o dente em zero.

Para isso utilizaremos o Timer 1 do Arduino, programado para levar a uma rotina de interrupção do sistema toda vez que estourá-lo com o período de meio dente.

O software presente no Anexo 1 tem a função de simular o sinal de rotação a partir da leitura de um sensor do tipo hall em uma roda fônica com 60 dentes e 2 falhas. Por meio da aquisição de sinal por um osciloscópio demonstrada na figura abaixo, serão medidos os períodos do sinal de um dente, do sinal de uma falha e o período entre dentes para a validação do software de simulação.

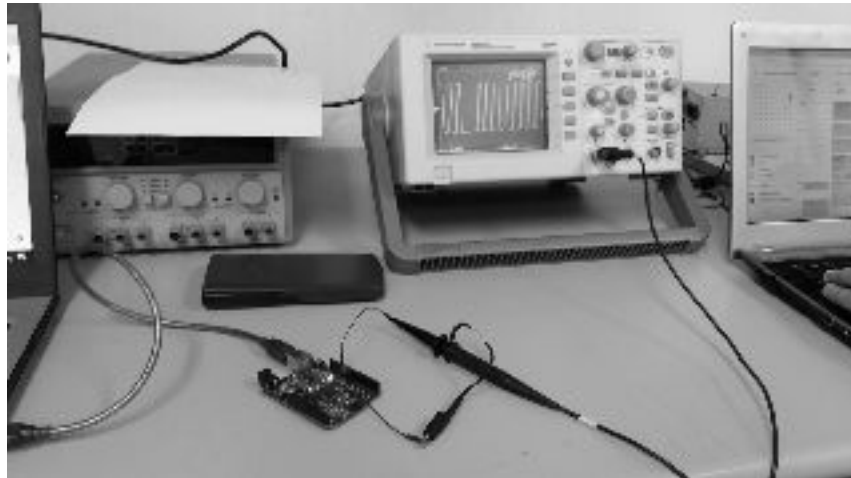


Figura 18 - Medição do sinal simulado de rotação durante testes (Os autores)

Para simular toda a faixa de operação do motor, será medida a saída do programa para 3 saídas de Rotação: 500 *rpm*, 2000 *rpm* e 8750 *rpm* , cujo resultados esperados são mostrados na tabela a seguir.

Valores de T_{falha} , T_{dente} e $T_{entre-falhas}$ esperados			
Rotação do motor (<i>rpm</i>)	T_{falha} (<i>us</i>)	T_{dente} (<i>us</i>)	$T_{entre-falhas}$ (<i>us</i>)
500	4000	2000	120000
2000	1000	500	30000
8750	228,6	114,3	6857,1

Tabela 3: Resultados esperados para o teste do simulador de rotação (Os autores)

Para simular o sinal de fase, é necessário entendê-lo como é gerado, logo devemos entender, primeiro, o ciclo de funcionamento do eixo do comando de válvulas de um motor à combustão interna e sua funcionalidade.

O eixo do comando de válvulas é responsável pela abertura e fechamento das válvulas de admissão e exaustão em cada um dos cilindros do motor. Esse eixo roda em uma relação 1:2 em comparação com o virabrequim, de forma que, para cada duas voltas do virabrequim, uma volta é realizada no comando de válvulas. Solidário ao eixo de válvula, existem cames defasados angularmente, de forma que, com o movimento do eixo, os cames empurram as válvulas e proporcionam sua abertura e fechamento nos momentos certos do Ciclo Otto.



Figura 19: Eixo de comando de válvulas (<http://fabricadoscomandos.com.br/wp-content/uploads/comando1.jpg> - Último acesso em março/2018);

O sensor de fase trata-se de um sensor muito similar ao sensor de rotação e normalmente está associado à leitura de uma roda dentada, apesar de ter algumas peculiaridades. Sua principal função é identificar, em relação ao PMS do primeiro cilindro, qual cilindro encontra-se no ciclo de combustão. A utilização desse sensor torna-se essencial para simplificar os cálculos do bloco de sincronismo em identificar qual será o cilindro que deverá injetar combustível.

A imagem abaixo (PEREIRA, 2013) demonstra a aquisição do sinal de fase e rotação em um motor de combustão interna do Ciclo Otto.

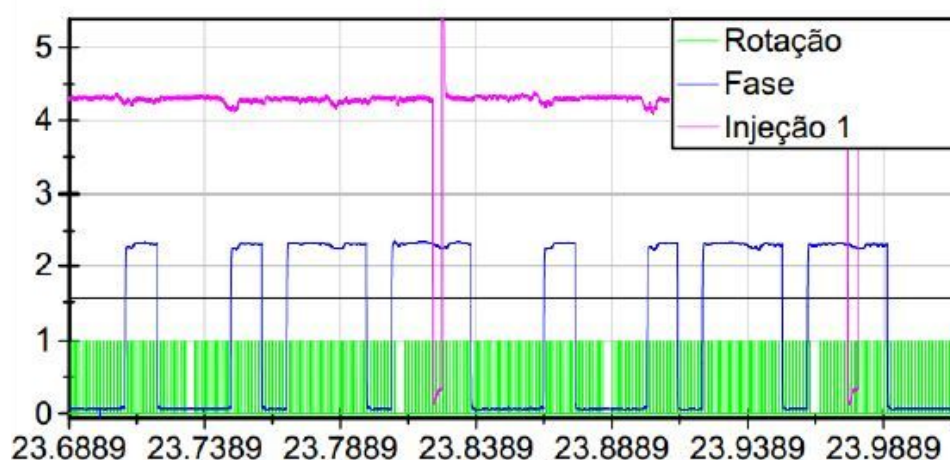


Figura 20: Acionamento de Injeção no cilindro 1 de acordo com sinal de fase e rotação (ALBALADEJO, 2013)

Pela imagem, nota-se que a geometria da roda dentada não é simples e, conseqüentemente, do sinal gerado por ela também não é. Mas um padrão em comum pode ser observado facilmente.

A leitura do sinal de fase ocorre quando o bloco de sincronismo identifica a falha da roda fônica, sendo que, nesse caso, o sinal do sensor de fase sempre inverte na próxima identificação de falha. Essa característica também é fundamental para o software da ECU identificar se houve perda do sinal de fase e corrigir caso necessário.

Dessa forma, mostra-se necessário simular um sinal que inverta de estado binário ao completar a primeira volta na árvore de manivelas. No caso da imagem, quando a ECU detecta a falha e lê um sinal de fase como “1”, sabe que nessa volta da árvore de manivelas, injetará sequencialmente nos cilindros 1(PMS no dente 14) e 3 (PMS no dente 44). Ao ler “0” na detecção de falha, o sistema injetará sequencialmente nos cilindros 4 e 2.

A partir dessas informações, foi desenvolvido o software presente no Anexo 2, de forma a englobar a simulação de rotação já discutida em conjunto com o sinal de fase implementado.

A imagem abaixo representa os sinais de rotação a partir da roda fônica e da roda dentada do sensor de fase. Espera-se obter sinais similares em funcionamento a esses a partir do simulador.

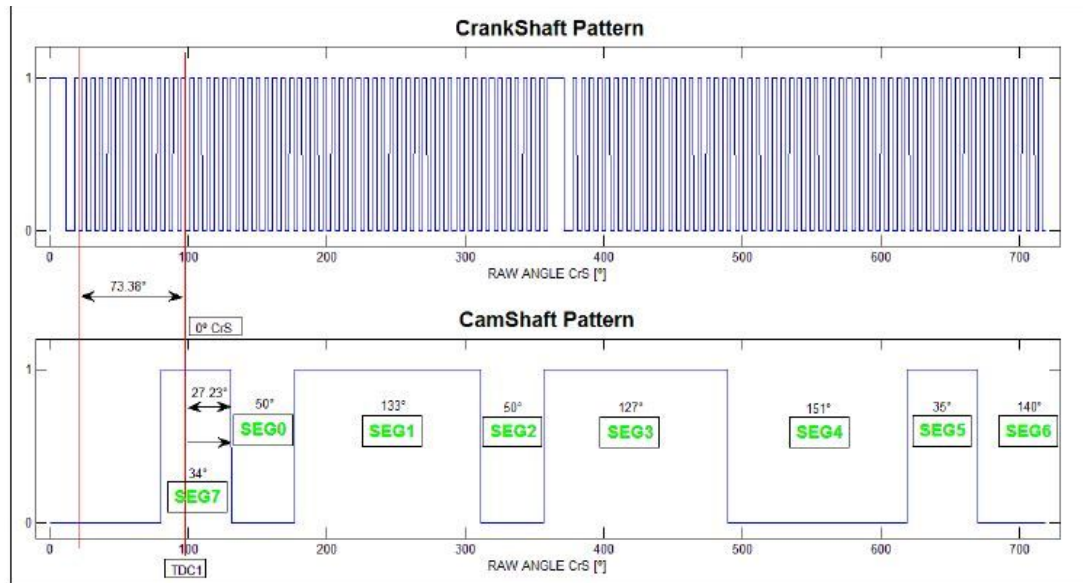


Figura 21 : Sinais de rotação e fase em sincronismo(J. P. F. DOS SANTOS e P. C. ROSSETTI, 2015)

5.7.2. Teste do condicionador de rotação e fase para o veículo GOL

A leitura de rotação do motor e fase do comando de válvulas é essencial para um gerenciamento eletrônico de motores a combustão interna do ciclo Otto. A aquisição desses dois sinais permite a ECU identificar os principais estágios do ciclo Otto, identificando os momentos certos para gerar os sinais de ignição e injeção e desenvolver o controle desejado no motor.

A ECU desenvolvida será aplicada em um veículo GOL, cujos sensores de rotação e fase são sensores do tipo hall. O sinal desses sensores já é um sinal quadrado de amplitude 5V, o que simplifica muito seu circuito condicionador, trata-se de um comparador de sinais simples. Caso a injeção seja futuramente utilizada em um veículo POLO, será necessário o teste do circuito condicionador de rotação para sensores indutivos, cujo sinal assemelha-se a uma senóide e deve ser tratado com um circuito integrado dedicado ao enquadramento de sua onda, o LM1815.

Condicionador Analógico/Digital Rotação

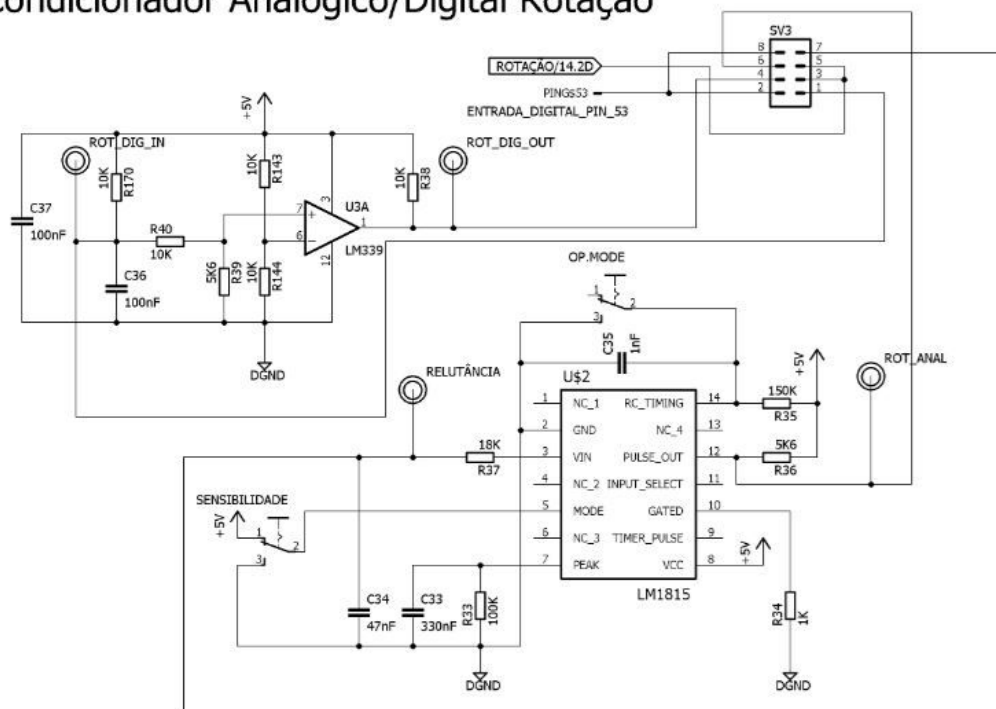


Figura 22: Circuito configurável de condicionamento de rotação.(ALVES, E. I.; JATO, F.; HIROKI, G. B.; 2016)

O circuito da figura acima deve ser configurado manualmente através de jumpers nos terminais SV1, SV2 e SV3 para que o sinal do sensor de rotação desejado chegue adequadamente aos *PICs* de gerenciamento e sincronismo. Espera-se com esse teste obter o mesmo sinal da simulação nas entradas de fase e rotação do microcontrolador, denotadas por “FASE_OUT” e “ROT_DIG_OUT” na figura abaixo.

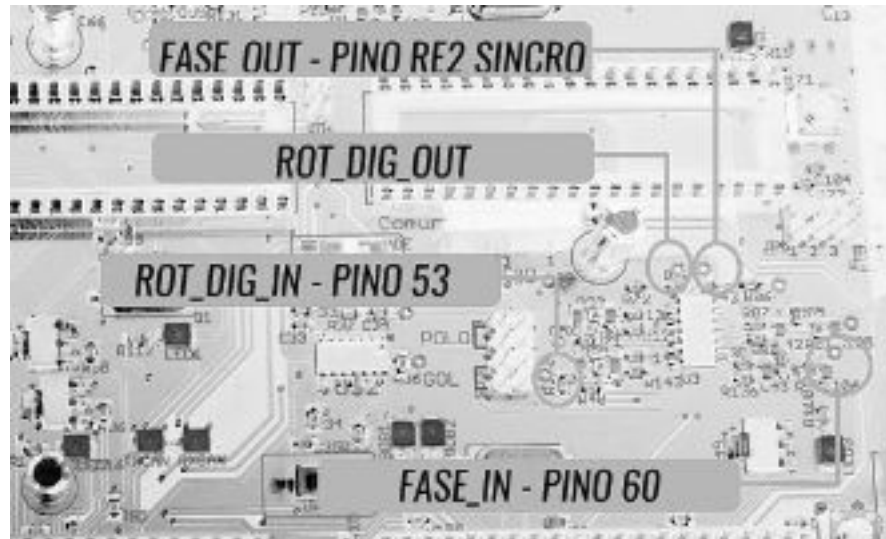


Figura 23: Entradas e saídas de rotação para leitura. (Os autores)

5.7.3. Teste do driver de injeção e ignição

Uma vez com os sinais de rotação e fase chegando nos microcontroladores de sincronismo e de gerenciamento, pretende-se utilizar uma implementação de software já utilizada em projetos anteriores e verificar com o auxílio de um osciloscópio os sinais de ignição nas saídas do CI MC33810.

Para teste dos sinais de injeção, uma alteração no código é necessária, de forma que o sistema não dependa do sinal vindo do sensor *MAP* para cálculo do tempo de injeção, pois o mesmo não estará conectado durante o teste em bancada.

5.8. TESTE DO BLOCO DE COMUNICAÇÃO

O sistema de comunicação possibilita a função de debugging utilizando um software de análises em um computador, dessa forma, o grupo pode acompanhar a estratégia de controle, e identificar problemas de origem em hardware ou software. Além disso, o bloco também é responsável pela comunicação com a rede CAN e possui suporte para utilização de um módulo

bluetooth, caso necessário, e para um display lcd de 32 dígitos (2 linhas e 16 colunas).

Entradas:

Comunicação SPI com o bloco de gerenciamento

Sinal de Linha 15 digital

Saídas:

USB para comunicação com a interface IHM.

LEDs

Saída para rede CAN

Bluetooth

LCD 16 x 2

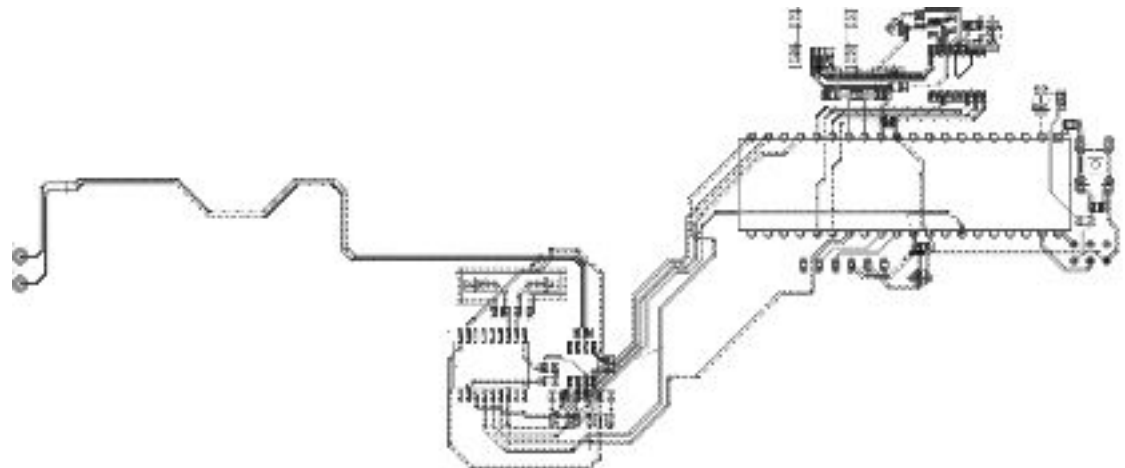


Figura 24: Sistema de comunicação explicitado.

Os projetistas da placa, apesar de terem incluído um LCD e um IC para comunicação bluetooth, descartaram seu uso no software final. Este sistema nem chegou a ser testado no sistema original e não é necessário para o funcionamento em automóvel. Portanto, esta implementação não será feita na etapa de testes.

5.6.1. Teste comunicação USB

A USB é um protocolo de comunicação amplamente difundido pelo mercado, podendo ser encontrado em quase toda aplicação. Isso justifica seu uso neste trabalho, para que a ECU possa se comunicar facilmente com os computadores pessoais da equipe.

A interface IHM foi programada pelos projetistas para receber as principais variáveis de controle do veículo, para que possa verificar-se o funcionamento da placa em tempo real.

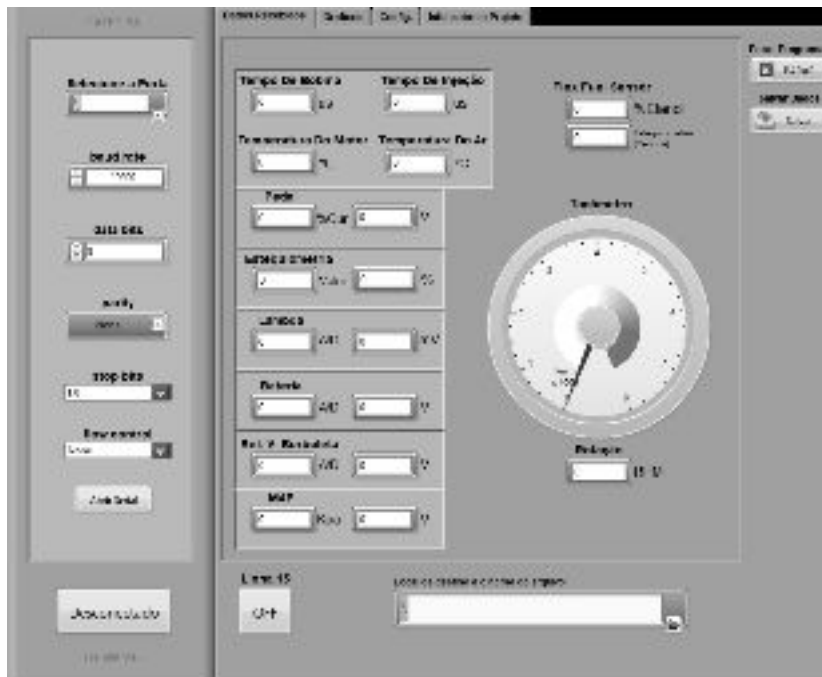


Figura 25: Interface IHM não conectada a placa.

Para o teste da comunicação USB e interface IHM foi planejado juntamente com os testes de MAP e temperatura do ar. Para isso, é necessário compreender como funciona a aquisição destes sinais:

MAP:

O sensor MAP é baseado no princípio de Strain Gauge, ou seja, possui uma membrana colocada em um diferencial de pressão. Conforme a pressão é variada, varia-se a resistência da strain-gauge, obtendo-se, assim, variação na tensão do sinal. É usado para calcular-se a quantidade de ar admitido dentro do

pistão, para que assim saiba-se a quantidade necessária de combustível que deve ser injetado para obter-se o λ desejado (referente a estequiometria).

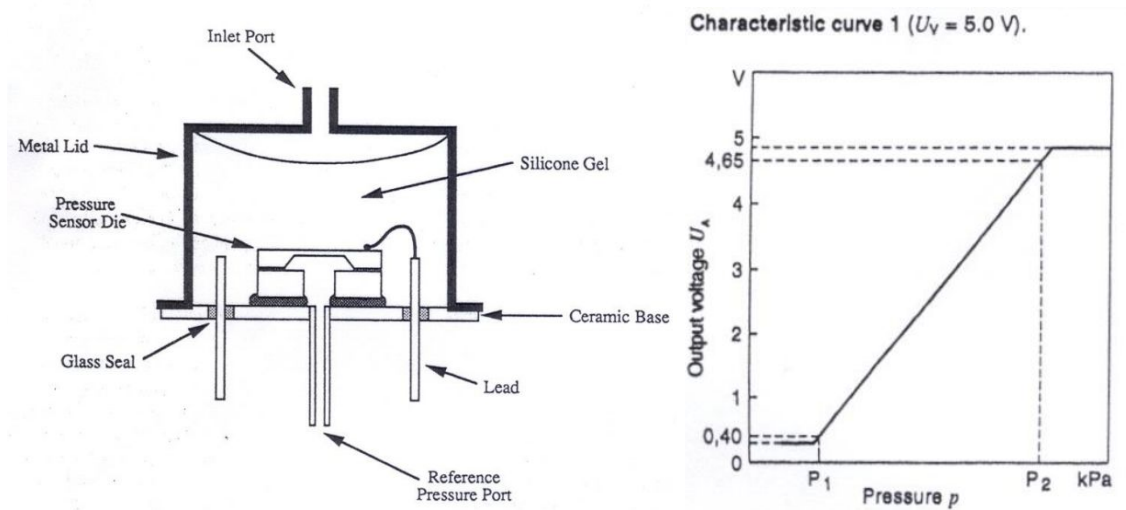


Figura 26: Esquemático de construção do sensor MAP e curva característica de resposta a pressão admitida.

A variação de tensão de saída é linear, o que justifica o uso de um potenciômetro para testá-lo no HiL.

Temperatura do ar:

O sensor de temperatura do ar admitido também é um parâmetro para se calcular a quantidade de ar admitido, a saber a equação simplificada e generalizada:

$$n = \alpha (PV \div RT) \text{ (mol, cte empírica, Pa, m}^3, \text{ J/mol.K, K)} \quad \text{Equação 2}$$

O sensor utilizado no automóvel em questão é NTC, *negative temperature coefficient*, e isso significa que conforme a temperatura sobe, sua resistência aumenta. Pode-se aproximar sua curva característica para uma reta, apesar de sofrer uma leve distorção.

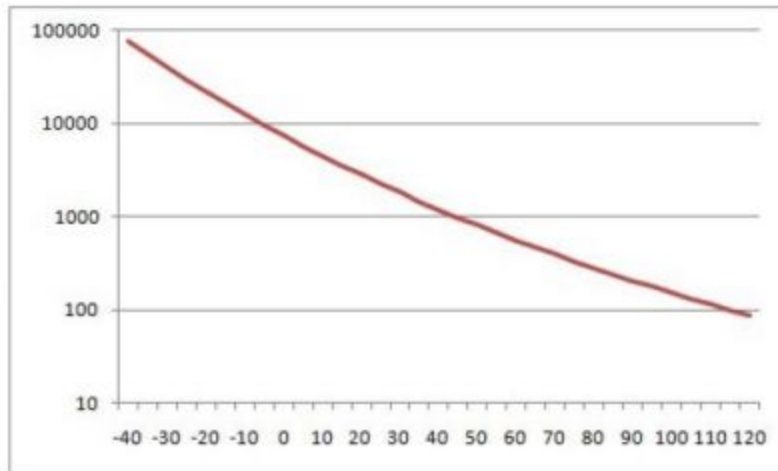


Figura 27: Variação da resistência de um elemento NTC com a temperatura (em °C)

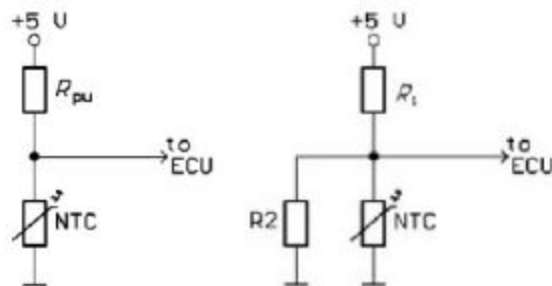


Figura 28: Circuitos empregados para verificação do sinal do sensor.

Ou seja, os sinais recebidos são claramente substituíveis por um sinal analógico provindo de um microcontrolador, ou um potenciômetro, para efeito de testes em HiL.

Ao adicionar o gerador de sinais que simula o sinal analógico do sistema acima descrito, deve-se receber uma resposta via USB pelo sistema de comunicação na interface IHM. A validação do funcionamento se dá quando o sinal lido no IHM bater com o colocado pelo potenciômetro. Adicionalmente, escreveu-se um código para que o LED pisque ao receber um sinal maior que 50%.

5.6.2. Teste rede CAN

CAN é um meio de transmissão digital projetado para operar em velocidades de 20Kbps até 1Mbps, padronizado pelo ISO/DIS 11898 para aplicações de alta velocidade (500 Kbitps) e ISO 11519-2 para aplicações de baixa velocidade (125Kbitps). A taxa de transmissão depende do tamanho da rede e a velocidade do *transceiver*. CAN é uma solução atrativa para sistemas de controle embarcado por causa de seu baixo custo, fácil gerenciamento de protocolo, a resolução determinística do conteúdo, e as características de detecção de erro e retransmissão.

Controladores que suportam a comunicação tipo CAN padrão são amplamente disponíveis, tão quanto os sensores e atuadores que são manufaturados para se comunicarem via CAN. Hoje, redes CAN têm sucesso ao substituir conexões de ponto-a-ponto em muitos domínios de aplicações, incluindo o automotivo, aviação, plantas industriais, elevadores, equipamentos médicos e possivelmente mais.

A comunicação é realizada através de dois barramentos chamados: CAN high e CAN low.

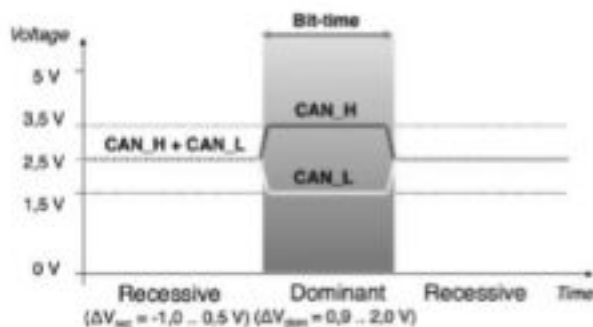


Figura 29: Sinal da rede CAN. (www.can-cia.org/ - Acesso em fev/2018)

O meio de comunicação utiliza como princípio “MultiMaster” - um nó da rede é o mestre que assume o controle e tem acesso ao barramento, enquanto os outros esperam receber a mensagem. Porém as outras unidades de mesma prioridade também conseguem assumir o controle do barramento. A vantagem desse tipo de topologia é que caso haja uma falha em um dos nós, os outros

conseguem manter a comunicação entre eles, ou seja, sem prejudicar todo o acesso dos demais.

Para a rede CAN desta ECU, usam-se os CIs:

MCP2515 (controlador CAN) - responsável pelo controle do sistema.

Comunica-se com o veículo por CAN e com a ECU por SPI.

PCA82C251 - interface entre o controlador CAN e a rede Física

Em caso de curto circuito na bateria do veículo, o CI conta com um limitador de corrente, protegendo a saída do transmissor. As linhas CAN H e CAN L também são protegidas contra transientes.

Para o teste de tal via, propôs-se colocar o osciloscópio no CAN_HIGH e CAN_LOW, sobrepondo os sinais, e decifrando a mensagem de teste gerada através do código do PIC de comunicação.

6. RESULTADOS PARCIAIS:

6.1. ESTUDO DE ESQUEMÁTICOS E DA PLACA

O estudo e a inspeção do PCB fornecida pela FATEC Santo André, através do esquemático do projeto no *software* Eagle, proporcionou o entendimento das conexões entre os conectores da placa, os sensores e os atuadores utilizados no projeto, que podem ser listados abaixo. No final deste item, é apresentado a enumeração dos conectores da ECU.

Alimentação

VBat +12V (Linha 30)	15	DGND	2
VBat + 12V (Linha15)	27	IGND	28
Linha 15	4	Alternador	11

Tabela 4: Diagrama de conexão de alimentação no conector BOSCH

Sensores

Pedal 1		Pedal 2	
Sinal	33	Sinal	45
+5V	8	+5V	6
GND	7	GND	19

TPS		MAP	
TPS 1	75	Pressão	70
TPS 2	68	Temp.Ar	56
+5V	55	+5V	62
GND	61	GND	54

Knock		Sonda Lambda 1 e 2		
Knock 1	77	Sinal	46	47
GND	63	GND	20	21
Blindagem	54	Aquecimento	1	13

Rotação		Fase	
Sinal	53	Sinal	60
+5V	55	+5V	62
GND	67	GND	54

Temp. Água		Interruptores	
Sinal	74	Embreagem	38
GND	54	Freio 1	23
		Freio 2	51

Velocidade		
Sinal	5	

Tabela 5: Diagrama de conexão de sensores no conector BOSCH

Comunicação

CAN	Diagnóstico
-----	-------------

CAN Low	32	Linha K	29
CAN High	31		

Tabela 5: Diagrama de conexão de comunicação no conector BOSCH

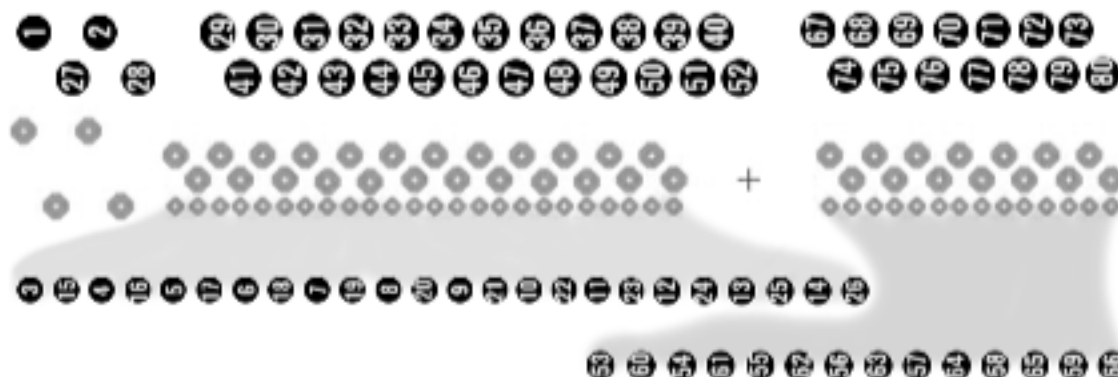


Figura 30: Enumeração dos conectores no PCB (os autores)

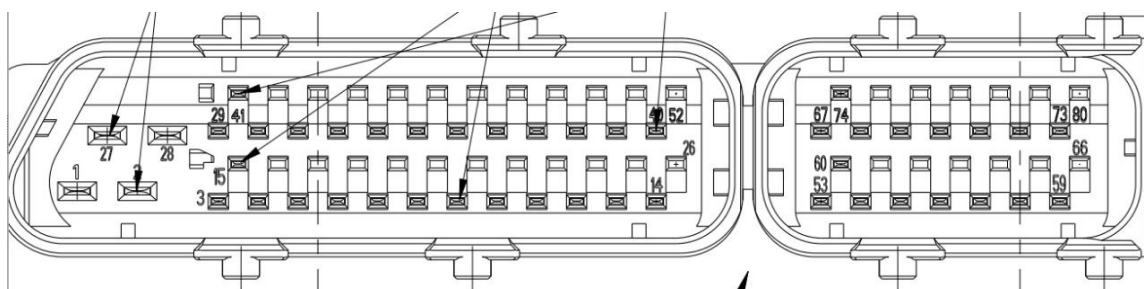


Figura 31: esquema do conector BOSCH

6.2. MONTAGEM E SOLDAGEM DAS PLACAS DO PROJETO

A primeira unidade foi finalizada em meados de Fevereiro e está sendo submetida a testes de bancada referidos no item 5.

A segunda ECU didática está em fase de montagem. Faltam poucos componentes a serem obtidos, os quais estão em processo de importação, visto que sua disponibilidade no mercado nacional é escassa. Apresenta cerca de 75% dos componentes soldados.

Até o presente momento, foram detectados dois equívocos no projeto da última versão da ECU: um referente ao circuito condicionador da linha 15, e outro referente à gravação do PIC diretamente na unidade.

6.2.1. Mudança no circuito condicionador de rotação

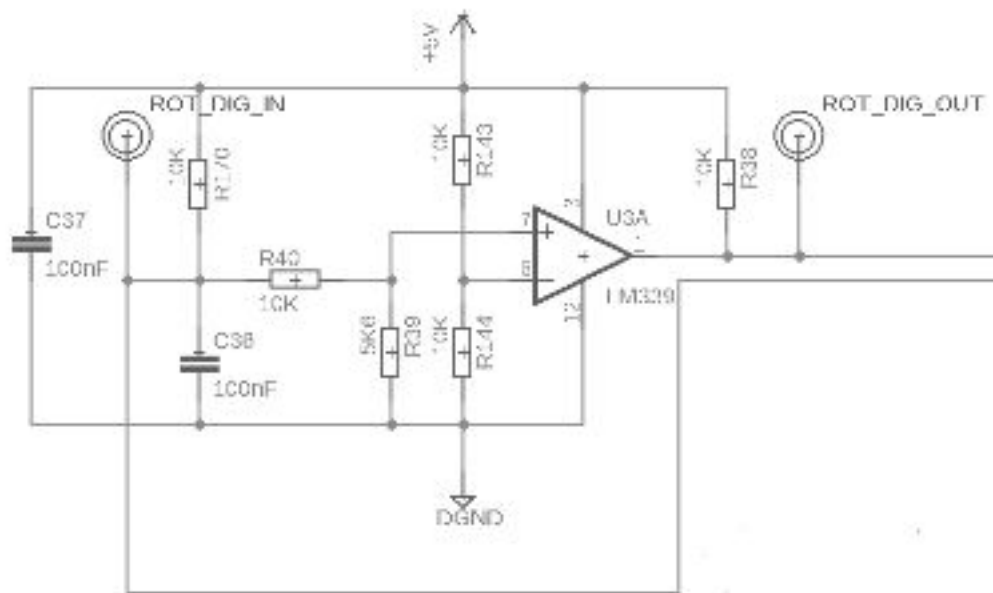


Figura 32 - Circuito comparador do condicionador Analógico/Digital para o sensor de rotação

O sinal de entrada em ROT_DIG_IN é a saída do sensor Hall, o qual atinge valores de 0 a 5V. O divisor de tensão formado pelos resistores R40 e R39 dividem a tensão de entrada de modo a fornecer 1.75V à entrada 7 do comparador LM339 quando é identificado um dente. O divisor resistivo formado por R143 e R144 fornece à entrada 6 uma tensão de referência de 2.5V, o que resulta em uma saída lógica sempre 0, segundo o funcionamento do comparador.

Para resolver essa saída nula, removeu-se o componente R39 a fim da tensão na entrada 7 ser maior que a tensão de referência quando o sensor detecta um dente. Neste caso, a tensão é de 5V.

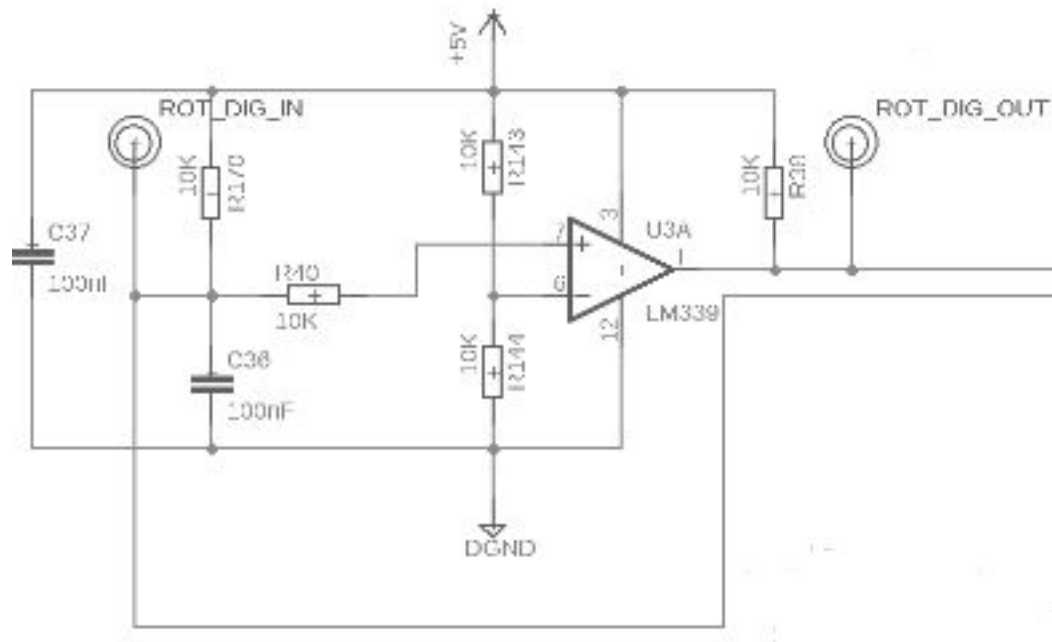


Figura 33 - Circuito corrigido do circuito comparador

6.2.2. Modificação para gravação do microcontrolador de gerenciamento diretamente na ECU

Uma trilha que ligava o bloco de gerenciamento ao circuito condicionador da bateria impedia a gravação do PIC diretamente na placa. Isso era bastante incômodo, visto que, desta forma, seria necessário remover o microcontrolador da unidade para gravá-lo externamente por meio do PICKit 3. Algo inviável para a manutenção, programação e testes da ECU.

Tal trilha é aquela que liga a saída do condicionador de tensão da bateria ao pino RB6 (pino 39) do PIC de gerenciamento, o qual é, também, a entrada PGC que recebe o *clock* na gravação do CI. Essa interligação causa o problema: para que o microcontrolador seja gravado, a ECU deve ser alimentada devidamente, o que causa uma saída de tensão positiva constante. Este sinal é direcionado a PGC, que deveria ser um sinal de clock, impedindo a gravação.

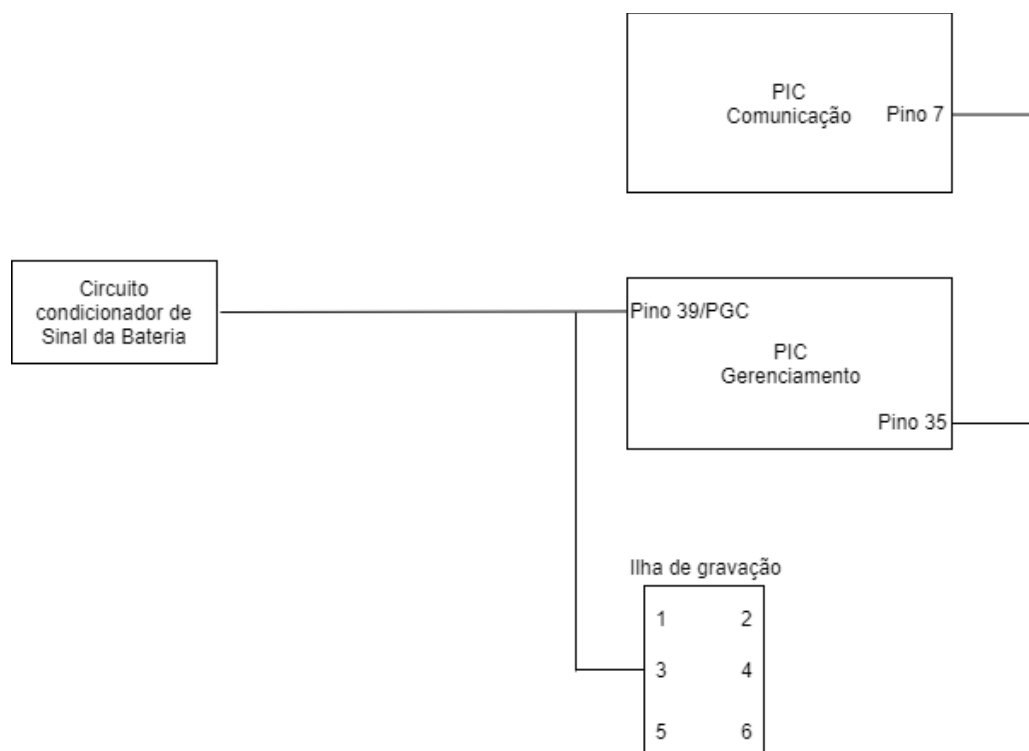


Figura 34 - Interligação equivocada entre circuito condicionador da bateria, o PIC de gerenciamento e de Comunicação

Como a reformulação e a produção de um PCB corrigido é inviável em termos econômicos para este projeto, a solução encontrada foi interromper essa trilha realizando um corte delicado no PCB, assim como a trilha que liga o pino 35 do PIC de gerenciamento com o pino 7 do PIC de comunicação.

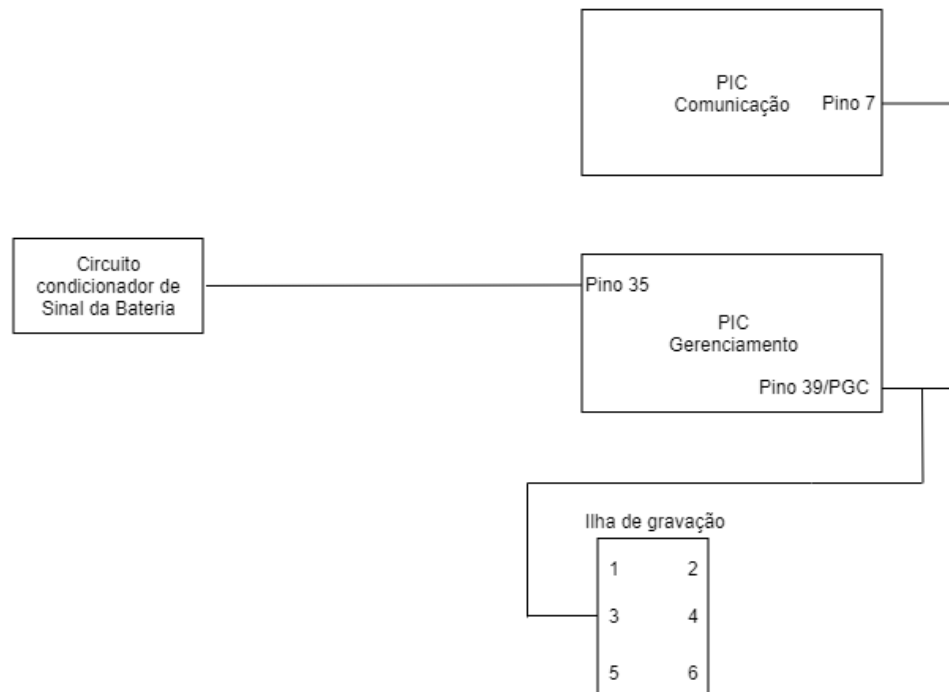


Figura 35 - Correção da interligação entre circuito condicionador da bateria, o PIC de gerenciamento e de Comunicação

Como ilustrado na figura acima, a mudança consistiu em ligar a saída do condicionador da bateria ao pino 35 do gerenciamento, e o pino 39 do mesmo com o terminal 3 da ilha de gravação e também com o pino 7 da comunicação.

6.3. TESTE DE ALIMENTAÇÃO DA PLACA

O teste de alimentação ocorreu sem grandes problemas. Medindo a tensão em cada um dos pontos mapeados, todos apresentaram a tensão que deveriam. Observando a figura abaixo, pode-se ver que todos os LEDs que indicam alimentação de determinadas partes do circuito encontram-se ativos.

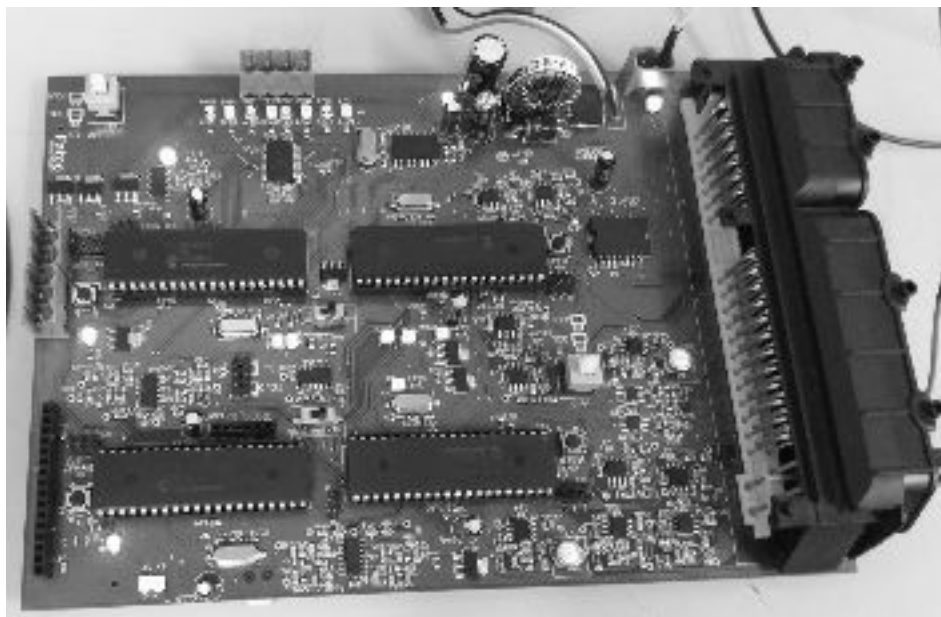


Figura 36: Placa em funcionamento (Os autores)

6.4. TESTES DO BLOCO DE GERENCIAMENTO

6.4.1. Teste do condicionador analógico de tensão da bateria e teste do condicionador digital de Linha 15

A partir da variação da tensão de alimentação da placa e medição do potencial elétrico na saída do condicionador de sinais analógico, conforme indicado na figura abaixo, o grupo obteve os seguintes dados.

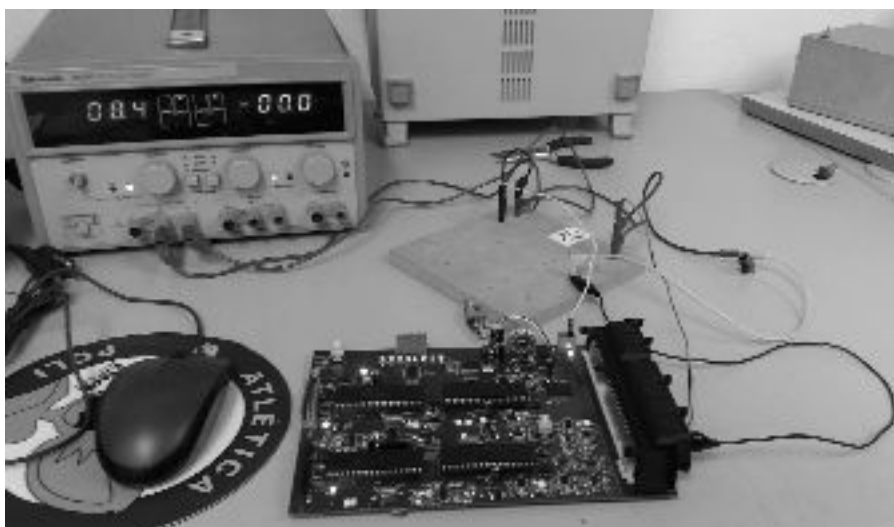


Figura 37: Teste do condicionador de tensão na bateria (Os autores)

Tensão de Entrada (VBAT+)	Tensão de Saída (PIC)
7,0 V	2,535 V
8,0 V	2,895 V
9,0 V	3,238 V
10,0 V	3,593 V
11,0 V	3,939 V
12,0 V	4,33 V
13,0 V	4,66 V
14,0 V	5,04 V
15,0 V	5,35 V

Tabela 7: Resultados do teste mencionado (Os autores)



Figura 38: Curva de calibração do sensor de tensão na bateria (Os autores)

6.4.2. Teste do pedal do acelerador e comunicação SPI

Após a montagem do circuito e gravação dos PICs, o resultado foi como o esperado. Para consolidá-lo, o osciloscópio foi usado para verificar cada sinal, também com resultado esperado. Não foi identificado ruído significativo, e a alteração do pedal levava o LED a piscar de acordo com o previsto. A conclusão foi que o sistema funciona sem falhas expressivas, ou identificáveis.



Figura 39: Montagem experimental para testes do pedal (Os autores)

6.4.3. Teste da sonda λ , monitoramento da temperatura da água de arrefecimento e da temperatura do ar de admissão

Devido a dificuldades de simular esses sensores, optou-se por testá-los em conjunto com os demais sistemas na fase de testes em veículo, onde o grupo possuirá maior infraestrutura e domínio sobre as diversas variáveis do carro.

6.4.4. Teste do relé acionador da bomba injetora de combustível

Retirando-se o PIC de gerenciamento e alimentando o gate do mosfet com 5V, foi verificado que houve continuidade entre o terminal de retorno da bobina do relé e o aterramento da placa.

6.5. TESTES DO BLOCO DE ADMISSÃO

6.5.1. Teste de acionamento dos relés ligados à admissão

Retirando-se o PIC de Admissão da placa e com o auxílio de um jumper, alimentou-se o gate dos mosfets com 5V, simulando um sinal vindo do microcontrolador. Todos os mosfets foram chaveados com sucesso e, portanto, ativarão os relés sem maiores problemas.

6.5.2. Teste do TPS e do controlador da válvula borboleta MC33186

Modificando-se o código do bloco de admissão, utilizou-se a entrada TPS2 como acelerador, sendo ligada a ela um potenciômetro. O resultado do teste foi positivo, devido ao fato do corpo da borboleta mover-se em toda sua extensão de acordo com a variação da resistência no acelerador. Não foram registradas imagens do teste.

6.6. TESTES DO BLOCO DE SINCRONISMO

6.6.1. Simulador de Rotação e fase

As imagens que revelam os resultados dos testes realizados conforme o planejado no item 5 são apresentados abaixo.

Inicialmente, simulou-se o sinal da roda fônica independente do sinal de sensor de fase em função da indisponibilidade de duas pontas de provas no osciloscópio disponível. Posteriormente foi possível simulá-los simultaneamente, como pode ser observado na última figura.

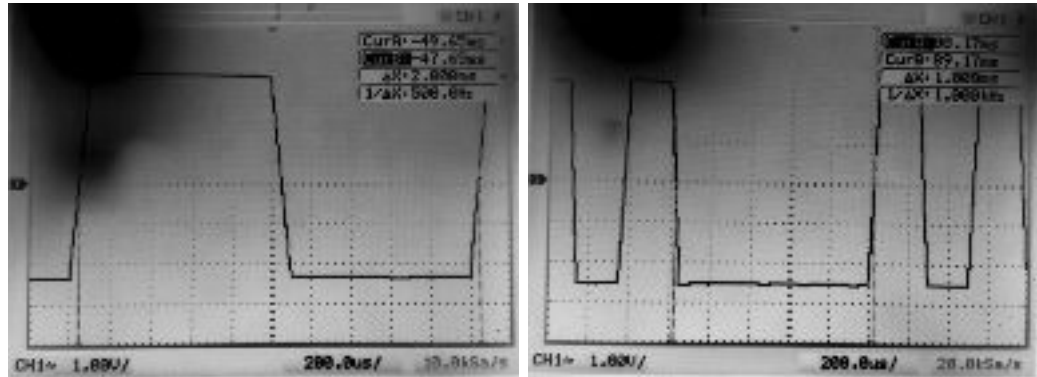


Figura 40: Tempo de um dente para um sinal simulado a 500 rpm e falha da roda fônica para um sinal de 2000 rpm (Os autores)

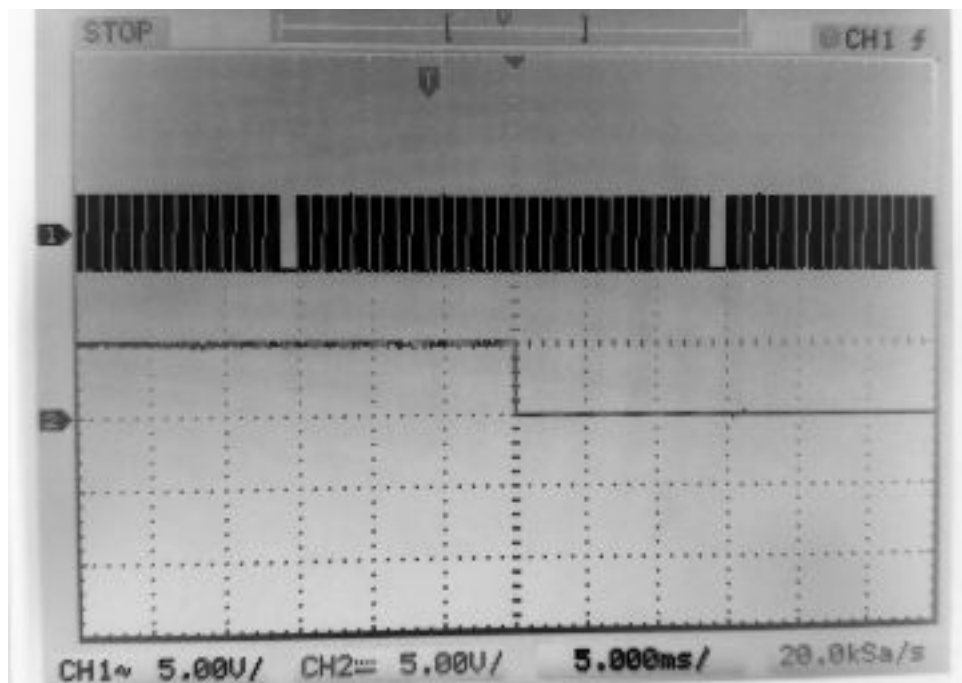


Figura 41: Sinal do simulador da roda fônica e do sensor de fase a 2000 rpm (os autores)

Na figura supracitada, é possível observar que o sinal do simulador da roda fônica possui tempo entre duas falhas consecutivas de aproximadamente 30ms, o que corresponde ao valor esperado. Os resultados são sintetizados na tabela a seguir.

Valores de T_{falha} , T_{dente} e $T_{entre-falhas}$ obtidos			
Rotação do motor (<i>rpm</i>)	T_{falha} (<i>us</i>)	T_{dente} (<i>us</i>)	$T_{entre-falhas}$ (<i>us</i>)
500	4000	2000	120020
2000	1000	499,5	29600
8750	225,6	115,2	6720

Tabela 8: Resultados obtidos da simulação (Os autores)

6.6.2. Teste do condicionador de rotação e fase para o veículo GOL

Para os testes de rotação e fase na placa, foram conectados os pinos de saída do simulador de rotação e fase na *ECU*, os GNDs do simulador e da placa também foram interconectados. A partir disso, tentou-se obter os dois sinais por osciloscópio, para verificar se nenhuma perturbação no sinal ocorria durante seu condicionamento.

O sinal de fase foi obtido de forma correta, como pode-se observar na figura abaixo, porém identificou-se um problema no comparador de sinais do sinal de rotação. Tal problema foi solucionado conforme descrito no item 6.2.1 e os condicionadores de rotação e fase foram aprovados no teste, porém, a equipe não registrou imagens do sinal de rotação obtido no osciloscópio.

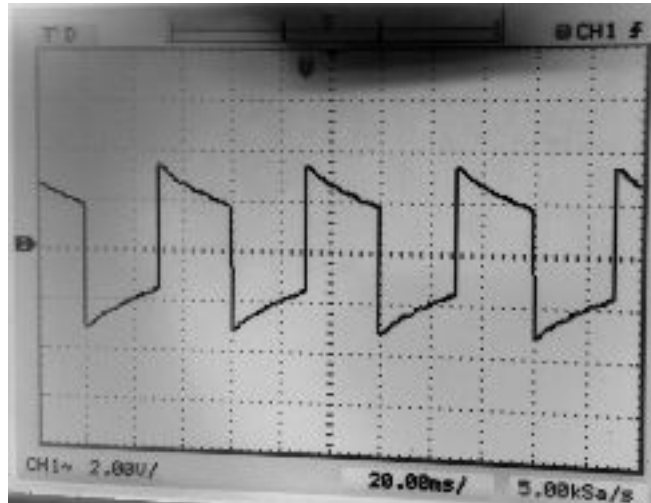


Figura 42: Sinal de fase a 2000 rpm de simulação (Os autores)

6.6.3. Teste do driver de injeção e ignição

Pela informação até aqui dada, cria-se que, ao simular rotação e fase, já seria o necessário para obter-se sinal de injeção, piscando os LEDs destinados a isso na base inferior. Porém, isso não foi verificado. Verificou-se, então, o sinal de rotação, para se ter certeza que estava chegando ao pino do PIC. No primeiro momento não estava, como foi descrito na seção 6.2.A. Corrigido este problema, mesmo assim, não se observou injeção. Ao testar o PIC, alterando o código, via-se que este estava funcionando perfeitamente. Chegou-se, então, a conclusão que o problema era o código, cuja interrupção não permitia sua continuidade.

Porém, dada a complexidade do código, e a necessidade de informações de outros PICs, ainda não se conseguiu isolar o problema. Quando perguntado, o tecnólogo Antônio também não conseguiu identificar o possível foco do problema, pois tudo funcionava de acordo com o esperado, menos as saídas de injeção (mas funcionavam quando trocava-se o código, ou seja, o problema não está no PIC).

6.7. TESTES DO BLOCO DE COMUNICAÇÃO

6.7.1. Teste de comunicação USB

Ao testar a comunicação USB, percebeu-se que haviam dois LEDs queimados, respectivos a TX e RX.

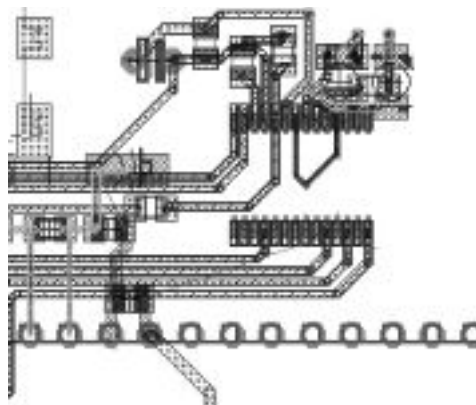


Figura 43 - LEDs queimados próximos ao CI de conexão USB.

Inicialmente, ao se conectar o cabo mini-USB, a porta COM não reconhecia a placa. Verificou-se, por três pessoas, em dois momentos diferentes, a existência de um curto entre os pinos 20 VCC e 19 Reset do CI FT232RL. Levou-se, então, a placa de volta ao laboratório de soldagem, um dia depois. Ao procurar novamente o curto, nada foi encontrado. A placa foi limpa, utilizando-se produto adequado, de maneira que o CI começou a funcionar, tratava-se de um resíduo de solda.

Agora, ao conectar com a interface IHM, a placa era reconhecida pelo computador como um objeto externo de comunicação, mas a transmissão de dados não ocorria. Os vetores de recepção de dados davam resultados não inteligíveis. Em um terceiro dia, o mesmo erro acontecia. Mesmo ao perguntar a Antônio Ferreira, projetista da comunicação USB da placa, não compreendeu-se o porquê deste circuito não funcionar. Cria-se que mesmo sem dados sensoriais, mas com a linha 15 ligada, o software deveria indicar que a linha 15 estava alimentada. Ao conectar o HiL, mesmo simulando rotação, fase, MAP, e Temperatura de Admissão, não se obtinham dados na interface.



Figura 44 - Vetores de comunicação com resultados inesperados e incompatíveis.

Não se sabe, ainda, se o CI está queimado ou danificado. O grupo, juntamente com Antônio Ferreira, estuda essa possibilidade. Por estar montando a placa novamente, e estar na mesma etapa, o tecnólogo citado adicionou esse teste em sua lista de tarefas, e comparará os resultados, uma vez que usou o CI do mesmo lote para construção de sua placa. Também pode ser que, ao atualizar a interface IHM - pois essa encontra-se na versão 5, e a que era usada na placa original era a versão 4 - algum erro tenha acontecido com os vetores de leitura, e, consequentemente, a interface não funciona.

Contudo, neste momento foram testados MAP e temperatura de admissão, cujos condicionadores analógico-digital funcionam bem.

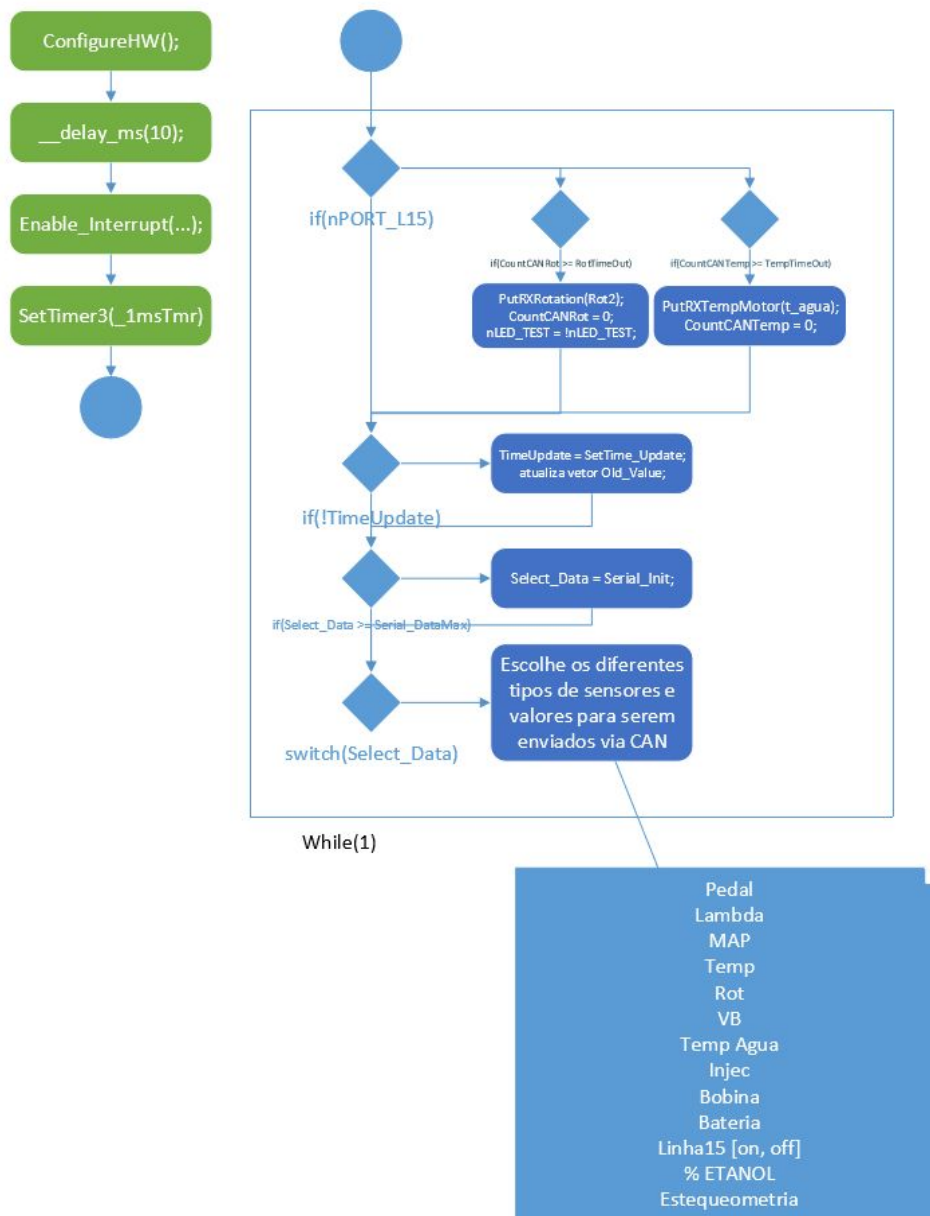


Figura 45 - Diagrama UML do funcionamento da versão de software 2.4, criado para elucidar os processos internos do PIC.

6.8. TESTES DO BLOCO DE ADMISSÃO

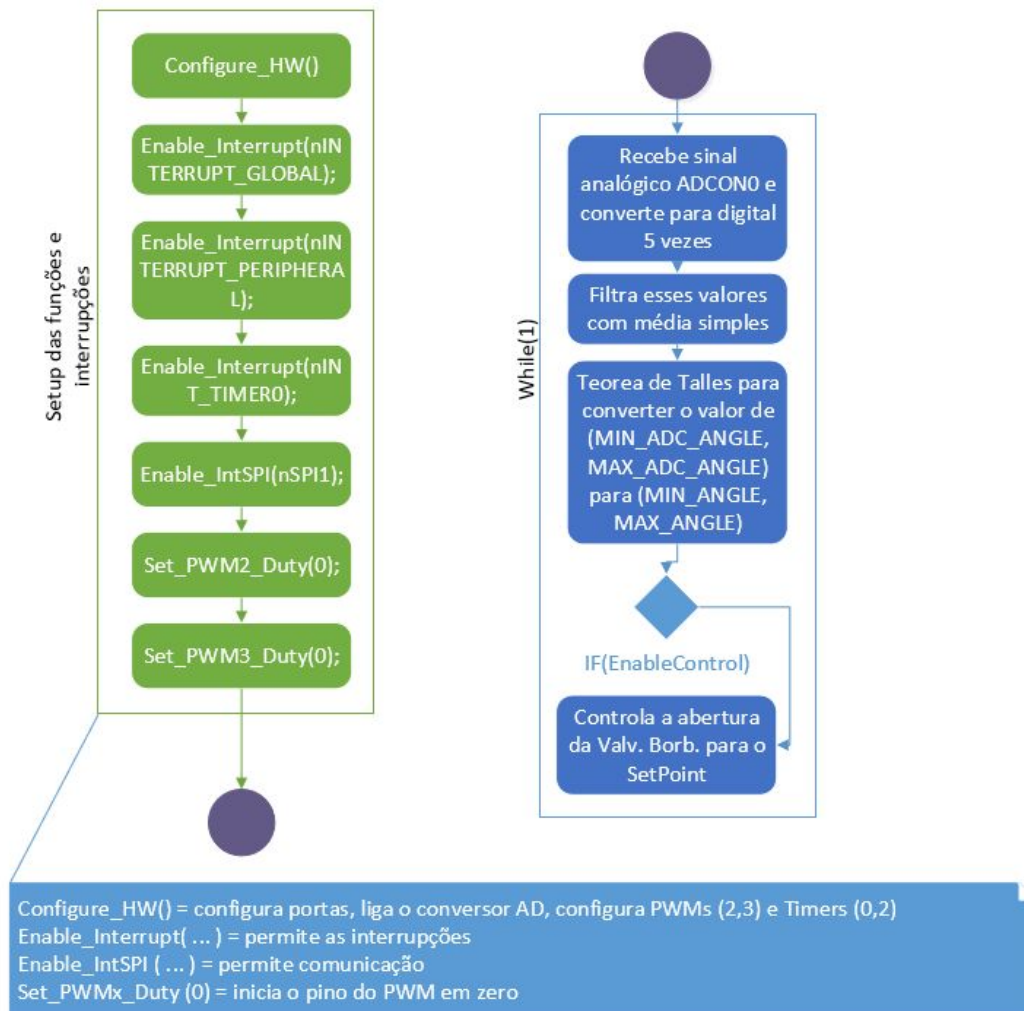


Figura 46 - Diagrama UML do funcionamento da versão de software 2.4, criado para elucidar os processos internos do PIC.

7. ANÁLISES E DISCUSSÕES:

7.1. RESULTADOS INESPERADOS

Durante o período de escrita deste relatório, muitos testes não apresentaram resultado satisfatório de funcionamento. Isso se dá porque a ECU é um sistema extremamente complicado, que necessita de muitos sistemas menores em pleno funcionamento. Mas é muito importante ressaltar que os testes foram estudados a fundo, e cada sistema da placa entrou na contagem do grupo. O grupo dedicou semanas ao estudo de cada componente, para que se pudesse consolidar testes a fim de tornar o sistema *open-source*, consolidação que faz falta no projeto de TCC motivador deste trabalho.

A pior falha da placa, o sistema de injeção e ignição de combustível, ainda não está em funcionamento. Por ser um sistema que apresenta muitos componentes, estuda-se maneiras de isolar o problema. Novas reuniões serão marcadas com Antônio para que o grupo possa entender a situação e propagar esta competência.

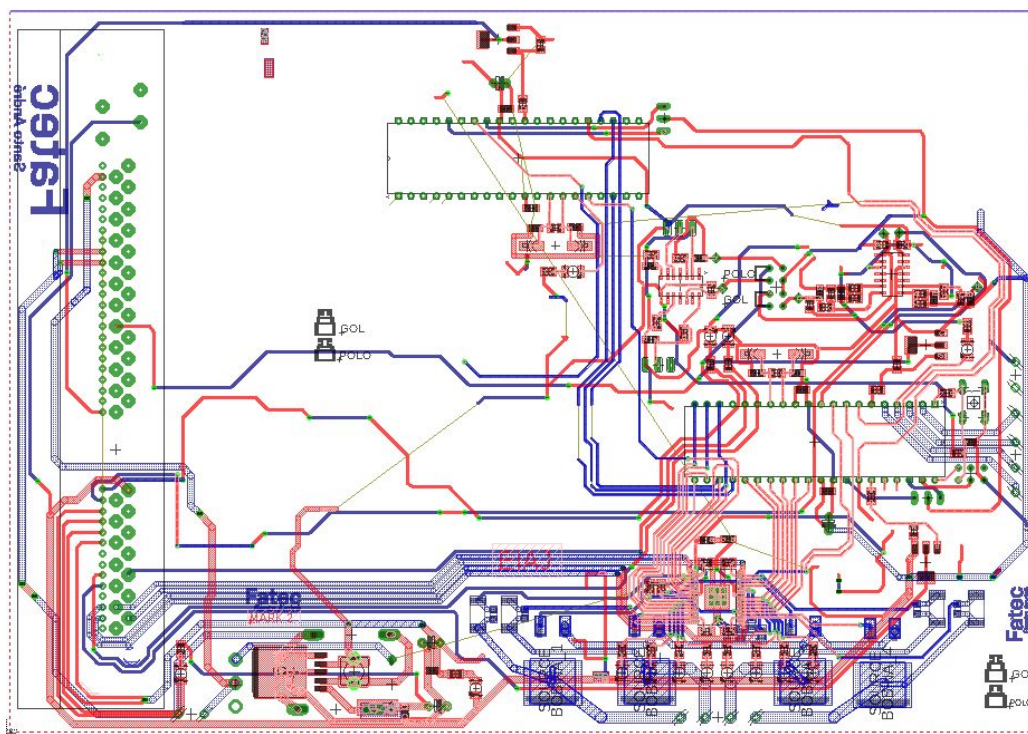


Figura 47 - Sistema da ECU com tudo o que é vital para que a injeção funcione.

7.2. PLANEJAMENTO DO RESTANTE DO TRABALHO

Para conclusão dos testes em bancada e avanço para a fase de testes em veículo, a equipe ainda precisa testar e validar o funcionamento de algumas partes vitais da *ECU*, entre elas, o driver de injeção e ignição, a comunicação com o sistema IHM e sensores de temperatura e pressão admitida. Para realizar tais testes, a equipe encontra-se desenvolvendo métodos de isolar cada um dos sistemas e testá-los separadamente, para que os possíveis focos de problema sejam identificados e solucionados.

A seguinte tabela indica o planejamento de trabalho da equipe no decorrer dos próximos meses destinados à conclusão do projeto.

Tarefas	Abril				Maio				Junho				Julho			
Solda da 2ª placa	X	X														
Testes em bancada da 1ª placa	X	X														
Testes em bancada da 2ª placa			X	X	X											
Testes no GOL G5 2009			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Implementação de controle lambda				X	X	X										
Teste de controle lambda						X	X	X								
Implementação da função FLEX								X	X	X						
Testes da função FLEX										X	X	X				
Coleta de dados								X	X	X	X	X	X			
Redação do relatório final														X	X	X

Tabela 9: Planejamento de trabalho para o restante do projeto.

7.3. PERSPECTIVAS PARA O FUTURO DO TRABALHO

O trabalho presente tem como objetivo não apenas informar a AEP sobre o trabalho feito até então, mas também auxiliar um futuro grupo que vá montar

uma placa ECU. Por ser um grupo em crescimento, ainda há grande descentralização de informações, e isso gera latência no desenvolvimento.

Ainda nesse âmbito, muita informação é gerada por outros integrantes do grupo, e, descentralizado, é difícil compartilhar tudo o que está sendo feito, ou atualizar-se em outro trabalho, visto que o grupo engloba várias faculdades e universidades, que, pela distância física, quantidade de pessoas, e dificuldade do projeto, não conseguem manter-se em constante contato.

A equipe propõe, por conseguinte, a utilização de ferramentas modernas open-source para compartilhamento de arquivos digitais e textos, o que possibilitaria até universidades internacionais entrarem no projeto. Cita-se nesse quesito, o GitHub, que permite o compartilhamento, trabalho e edição em código, CAD, e outros tipos de arquivos por várias pessoas, onde centraliza os arquivos e junta várias edições do mesmo programa em um só - assim dois programadores podem atuar em um mesmo código e não se preocupar em juntar o trabalho manualmente depois.

<https://github.com/>

O grupo pretende, ao fim do trabalho, compartilhar toda a documentação em fóruns e sites de eletrônica automotiva, a fim de difundir o conhecimento aqui gerado.

7.4. ANÁLISE DE CADA MEMBRO DA EQUIPE:

A análise da equipe foi feita por relatório técnico (escrito pelo orientador) e por auto-avaliação nos textos a seguir, onde cada membro atuante escreveu seus próprios feitos.

Filipe Gabriel Santos

Membro da equipe de software, pesquisou e desenvolveu códigos, diagramas e textos que permitiram que o grupo compreendesse o funcionamento de cada PIC. Também auxiliou na montagem da placa, ao procurar componentes, indo diversas vezes a rua Santa Ifigênia (centro de compras eletrônicas de São Paulo), separando e organizando para o método de soldagem.

Comprou e construiu ferramentas básicas que auxiliam o desenvolvimento na placa, como um chicote para gravação direta dos PICs na placa - sem que seja necessário retirá-los; microcontrolador de prototipagem para os testes em hardware in the loop; ferramentas para fazer cabos *jumper*; cadeado para guardar os componentes comprados em armário; baterias para os instrumentos do laboratório; entre outros.

Compartilhou bibliografia com a equipe, visto que foi o único do grupo a cursar PSI2618 (circuitos eletrônicos automotivos, oferecida em 2017 1ºS) até então. Desenvolveu, com isso, métodos de teste e certificação dos sistemas digitais da placa, encontrando problemas e os tratando de acordo. Escreveu textos sobre sistemas da placa, para que outros membros tivessem facilitado acesso à informação.

Reuniu-se com Antônio Ferreira, programador do código que roda na ECU (versão 2.6) e também da interface IHM, para capacitar-se nesta interface. Testou (na maioria das vezes em dupla com outro integrante) os sistemas de SPI, TPS, LEDs, Linha 15, Linha 30, condicionamento de sensores, rotação e fase, sinal de relés, injeção e ignição, interface IHM, comunicação USB, tempo de injeção, MAP e temperatura do ar admitido.

Compareceu aos eventos do Grupo de Eletrônica Automotiva, como a conferência realizada na FATEC St André, e a qualificação de mestrado de Rodrigo Peralta Ruiz.

Gustavo Gransotto Ribeiro

Membro da equipe de Hardware do grupo de trabalho, ocupou-se principalmente com o estudo intenso de todos os circuitos que compõem a placa, sua montagem e uma série de testes realizada nela.

No que toca ao estudo da placa, desenvolveu relatórios que explicam o funcionamento geral de todos os sistemas de alimentação, rotação, fase da placa. Estes relatórios mostraram-se essenciais para utilização em testes da placa, pois mostraram de forma visual as conexões necessárias, chaves e outros pontos do circuito que fossem necessárias para o funcionamento do mesmo.

Participou ativamente da montagem da primeira placa do projeto, auxiliando o técnico Jair de Souza do *LME* no processo de soldagem. Devido à complexidade da placa, a organização necessária e o atraso de componentes do projeto, a soldagem da placa durou cerca de dois meses, tendo início na metade de novembro e fim na metade de janeiro.

Após a soldagem da placa, foi responsável pelo desenvolvimento e realização dos testes de alimentação, de rotação e fase na placa. Para a realização do teste de alimentação, manteve contato intenso com um dos responsáveis pelo projeto da placa, Filipe Jato, de forma que obteve alguns esquemáticos de ligação e informações extremamente importantes sobre o funcionamento da mesma. Como Filipe Jato encontra-se montando e testando uma nova placa igual a utilizada no projeto desenvolvido neste trabalho, a parceria foi essencial para a identificação de erros de projeto e soluções para os mesmos ao longo dos testes.

Desenvolveu um programa que simula o sinal de rotação oriundo de uma roda fônica em sincronismo com a fase do motor utilizando a plataforma Arduino Uno e utilizou o simulador para testes de rotação e fase da placa.

Compareceu à qualificação de mestrado de Rodrigo Peralta Ruiz.

Leonardo

Membro da divisão de Hardware, estudou as bibliografias propostas pelo orientador, participou ativamente das compras dos componentes necessários para a montagem das duas placas, assim como na soldagem dos componentes.

Realizou compras de componentes pelos mercados de varejo online e também nas lojas físicas da Santa Ifigênia. Quanto à soldagem, revezou turnos com os demais membros da equipe a fim de auxiliar o técnico supracitado.

Compareceu ao encontro da FATEC Santo André organizado pelo orientador e pelo Prof. Dr. Armando Laganá, e membros do Grupo de Eletrônica Automotiva. Neste evento conseguiu a troca de componentes faltantes para completar a primeira ECU.

Enrique

Membro da divisão de Software, estudou os sistemas de gerenciamento e sincronismo, fez diagramas de estudo e códigos teste. Atuou na compra dos componentes, e ajudou na organização do método de soldagem. Pesquisou e indicou a compra do PICKIT3, ferramenta fundamental para o desenvolvimento da placa.

Compareceu tanto ao encontro na FATEC St. André quanto a qualificação de Rodrigo Peralta.

8. **CONCLUSÃO:**

Nesta primeira fase de desenvolvimento da placa, muitos foram os esforços e desafios. A montagem e teste de duas placas de tamanha complexidade, evitando ao máximo atrasos no cronograma, exigiram muito estudo e dedicação. Baseando-se fortemente em trabalhos anteriores, a equipe precisava se familiarizar com os mais diversos aspectos de construção e desenvolvimento do projeto já desenvolvido, processo esse que ocupou bastante o grupo e norteou o diversos testes na placa. Dentre os trabalhos citados que mais contribuíram para o trabalho atual destaca-se o de (ALVES, E. I.; JATO, F.; HIROKI, G. B.; 2016) , responsável pelo desenvolvimento do circuito utilizado e programação inicial da *ECU* para que atendesse as funções básicas de funcionamento utilizando gasolina.

A familiarização com o trabalho supracitado é essencial para a segunda parte deste projeto, visto que nela serão desenvolvidas novas tecnologias para a *ECU*, como o desenvolvimento de uma malha de controle por sonda lambda e a implementação da tecnologia *Flex*. É importante destacar, também, que o constante contato com membros do grupo de pesquisa em eletrônica automotiva foi de suma importância para a compreensão do sistema e identificação de erros.

A expectativa do grupo para essa fase do projeto era estar como todos os circuitos essenciais ao funcionamento do sistema testados e operacionais, porém, a complexidade do sistema, como a grande quantidade de componentes a serem soldados e testados, a necessidade de supervisão (pois as soldas eram realizadas em laboratório específico), a falta de ferramentas facilitadoras (como um chicote fêmea para testes de bancada), e o desconhecimento inicial dos sistemas veiculares (não apresentado normalmente no ciclo básico de engenharia elétrica) desaceleraram a produtividade. Fatores muito pequenos, como a falta de um cartão de acesso ao LSI durante grande período do desenvolvimento, também atrapalharam.

Apesar do estado atual do projeto não atender as expectativas iniciais do grupo, o projeto apresenta resultados aceitáveis até o presente momento, pois pouco falta

para que a primeira placa possa ser ligada ao motor e ainda menos para que a segunda placa termine seu processo de soldagem.

De forma geral, a equipe entende que os resultados até o presente momento são coerentes com a dificuldade do problema proposto e segue com grande bagagem de conhecimento, que facilitará e acelerará o desenvolvimento das próximas etapas descritas ao longo deste relatório.

9. ANEXOS

ANEXO 1 - Software de simulação do sinal de rotação - Arduino UNO IDE

```
/* Programa que simula o sinal vindo de uma roda fônica de 60 dentes e duas falhas
Defina a constante RPM com um valor entre 0 rpm e 9000 rpm */
#include <TimerOne.h>
#include <math.h>

#define RPM 8650

const int rodaFonica = 13;
volatile unsigned int meio_dente = 0;
volatile bool estado = 0;
double periodo_da_volta;

long Período_de_Meio_Dente();
long Período_da_Falha();
void timer1_ISR();

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    pinMode(rodaFonica, OUTPUT);
    digitalWrite(rodaFonica, LOW);
    Timer1.initialize(1000); //Seta um tempo de 1000 us no timer 1 do arduino
    Timer1.attachInterrupt(timer1_ISR, Período_de_Meio_Dente()); // Ativa
    interrupção com período calculado para meio dente na rotação especificada,
    chamando uma rotina de interrupção no estouro
}

void loop() {
}

long Período_de_Meio_Dente(){
    periodo_da_volta = 60000000.0 / (double) RPM; // Seta o período em us de
```

```

uma volta completa do virabrequim
    return((long) periodo_da_volta / 120); // Retorna o período de meio dente
de uma roda fônica 60 dentes duas falhas
}
void timer1_ISR(){ // Rotina de tratamento de Interrupção por Estouro do
Timer
    Timer1.setPeriod(Periodo_de_Meio_Dente());
    meio_dente++;
    estado = !estado;
    if(meio_dente <116)
        digitalWrite(rodaFonica, estado);
    else{
        if(meio_dente == 116){ //Dá um pulso em 1 equivalente à largura de um
dente completo da roda-fônica
            Timer1.setPeriod(4*Periodo_de_Meio_Dente());
            estado = 0;
            digitalWrite(rodaFonica,estado);
            meio_dente = 0;
        }
    }
}
}

```

ANEXO 2 - Software de simulação de rotação e fase - Arduino

UNO IDE

```
/*Programa que simula o sinal vindo de uma roda fônica de 60 dentes e
duas falhas e da leitura de uma roda dentada do comando de válvulas
(Sensor de fase)
* Defina a constante RPM com um valor entre 0 rpm e 6000 rpm
*/
#include <TimerOne.h>
#include <math.h>

#define RPM 8650

const int rodaFonica = 13;
const int sensorDeFase = 12;
volatile unsigned int meio_dente = 0;
volatile bool estadoRot = 0;
volatile bool estadoFase = 0;
double periodo_da_volta;
long periodo_meio_dente;

long Período_de_Meio_Dente();
long Período_da_Falha();
void timer1_ISR();

void setup() {
    pinMode(rodaFonica, OUTPUT);
    pinMode(sensorDeFase, OUTPUT);
    digitalWrite(rodaFonica, LOW);
    digitalWrite(sensorDeFase, LOW);
    periodo_meio_dente = Período_de_Meio_Dente();
}
```

```

    Timer1.initialize(1000); //Seta um tempo de 1000 us no timer 1 do
    arduino

    Timer1.attachInterrupt(timer1_ISR,Periodo_de_Meio_Dente()); //
    Ativa interrupção com período calculado para meio dente na rotação
    especificada, chamando uma rotina de interrupção no estouro
}
void loop() {
}
long Periodo_de_Meio_Dente(){
    periodo_da_volta = 60000000.0 / (double) RPM; // Seta o período em
    us de uma volta completa do virabrequim
    return((long) periodo_da_volta / 120); // Retorna o período de meio
    dente de uma roda fônica 60 dentes duas falhas
}

void timer1_ISR(){ // Rotina de tratamento de Interrupção por Estouro
do Timer

    if(meio_dente <116){
        Timer1.setPeriod(periodo_meio_dente);
        estadoRot = !estadoRot;
        digitalWrite(rodaFonica, estadoRot);
        if(meio_dente == 60){
            estadoFase = !estadoFase;
            digitalWrite(sensorDeFase, estadoFase);
        }
        meio_dente++;
    }

    else
        if(meio_dente == 116){ //Dá um pulso em 1 equivalente à largura
de um dente completo da roda-fônica

```

```
    Timer1.setPeriod(4*periodo_meio_dente);  
    estadoRot = 0;  
    digitalWrite(rodaFonica,estadoRot);  
    meio_dente = 0;  
}  
}
```

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ALVES JUNIOR, E. I.; JATO, F.; HIROKI. G. B. “Desenvolvimento de uma unidade de gerenciamento eletrônico para motor volkswagen 1.6 L” Monografia, Fatec Santo André, 2016.

F. S. ALBALADEJO, “Desenvolvimento de uma unidade de gerenciamento eletrônico para motores de combustão interna do ciclo Otto,” Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013.

D. MOSCARDINI e V. M. J. MATA, “Unidade de Gerenciamento Eletrônico de motor ciclo Otto Microchip PIC Volkswagen 2.0L: Plataforma de desenvolvimento III.,” Monografia, Fatec Santo André, 2014.

J. P. F. DOS SANTOS e P. C. ROSSETTI, “Otto III by FlexECU - Gerenciamento Eletrônico de um Motor VW 1.6L,” Monografia - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo., 2015.

BOSCH, Manual de tecnologia automotiva. 25 ed. São Paulo. Edgar Blucher, 2005. 1231 p.

ETEC MARTIN LUTHER KING, Eletrônica automotiva - 2º Módulo - Prof. José Carlos. 59p.

Ruiz, R. P. (2017). Gerenciamento Eletrônico de Motor Flex através de Unidade Microcontrolada com arquitetura descentralizada. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo.

Kiencke & Nielsen (2005), Automotive Control Systems For Engine, Driveline, and Vehicle, Universität Karlsruhe & Linköping University, Germany & Sweden.

Laganá, A. A. M. (2015) – Apostila de Sensores para disciplina PSI-2662 -
Projetos em Sistemas Eletrônicos Embarcados: Sensores e Atuadores.

(Hazare, M., 2014) - AN INTEGRATED SYSTEMS ENGINEERING
METHODOLOGY FOR DESIGN OF VEHICLE HANDLING DYNAMICS

(Natale, M., 2008) - Understanding and using the Controller Area Network

<https://www.iso.org/standard/63648.html> - Acesso em fev/2018

<https://www.iso.org/standard/19470.html> - Acesso em fev/2018

www.can-cia.org/ - Acesso em fev/2018

<http://www.ti.com/general/docs/techdocs.tsp> - Acesso em fev/2018

<http://www.noticiasdaoficinavw.com.br/v2/wp-content/uploads/2013/06/img-12.jpg> -
Acesso em fev/2018