

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

**ELTON INACIO ALVES JUNIOR  
FILIPE JATO  
GUSTAVO BEZERRA HIROKI**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA UNIDADE DE  
GERENCIAMENTO ELETRÔNICO PARA  
MOTOR VOLKSWAGEN 1.6L**

Santo André – São Paulo  
2016

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

**ELTON INACIO ALVES JUNIOR**

**FILIPE JATO**

**GUSTAVO BEZERRA HIROKI**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA UNIDADE DE  
GERENCIAMENTO ELETRÔNICO PARA  
MOTOR VOLKSWAGEN 1.6L**

*Monografia apresentada ao Curso de Tecnologia  
em Eletrônica Automotiva da FATEC Santo André,  
como requisito parcial para conclusão do curso em  
Tecnologia em Eletrônica Automotiva.*

Orientador: Prof. Dr. Armando Antônio Maria Laganá

Santo André – São Paulo  
2016

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Junior, Elton Inacio Alves  
Jato, Filipe  
Hiroki, Gustavo Bezerra  
Desenvolvimento de uma unidade de gerenciamento eletrônico  
para motor Volkswagen 1.6L  
Elton Inácio, Filipe Jato, Gustavo Hiroki, - Santo André, 2016. –  
f:128.**

**Trabalho de conclusão de curso – FATEC - Santo André Curso de  
Eletrônica Automotiva, 2016.  
Prof. Dr. Armando Antônio Maria Laganá**

**1. ECU (Electronic Control Unit) 2. PIC.**

**LISTA DE PRESENÇA**

SANTO ANDRÉ, 20 DE DEZEMBRO DE 2016.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA  
“DESENVOLVIMENTO DE UMA UNIDADE PARA  
GERENCIAMENTO ELETRÔNICO PARA MOTOR  
VOLKSWAGEN 1.6L” DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

**BANCA**

PRESIDENTE:

PROF. DIRCEU LAVOISIER GRACI FERNANDES

*Dirceu*

MEMBROS:

PROF. ADRIANO RIBOLLA

*Adriano*

PROF. MARCO AURÉLIO FRÓES

*Marcos*

**ALUNOS:**

ELTON INÁCIO ALVES JUNIOR

*Elton Inacio Alves junior*

FILIPE JATO

*Filipe Jato*

GUSTAVO BEZERRA HIROKI

*Gustavo Hiroki*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos primeiramente ao prof. Dr. Armando Antônio Maria Laganá, orientador deste projeto, por viabilizar o desenvolvimento do mesmo, disponibilizando tempo e recursos, nos incentivando diariamente para a execução do mesmo.

Aos familiares por estarem sempre conosco em todos os momentos desse projeto nos apoiando nos momentos mais difíceis.

Aos apoiadores Demerson Moscardini e Bruno Silva Pereira nos auxiliando constantemente no desenvolvimento deste projeto. A escola politécnica da USP da universidade de São Paulo por disponibilizar suas instalações.

Gostaríamos de agradecer a todas as pessoas que tornaram possível esse projeto. Aos professores, funcionários e colaboradores da Fatec Santo André por nos ajudar.

O Grupo

Quer você acredite que consiga  
fazer uma coisa ou não,  
você está certo.

Henry Ford

## **RESUMO**

Atualmente os veículos utilizam o motor de combustão interna de forma disseminada, necessitando de um controle complexo para atender as exigências do mercado consumidor, como potência, autonomia, conforto e desempenho, bem como exigências ambientais, como baixa emissão de poluentes, economia de combustível etc. Para que isto seja atendido a ECU (Electronic Control Unit), que gerencia o motor, é peça fundamental e passa por uma evolução constante. Novas soluções de hardware e software vêm sendo empregadas para atender as necessidades do mercado. A proposta desse trabalho é desenvolver o hardware e o software da ECU, utilizando microcontroladores da Microchip PIC e linguagem C no desenvolvimento do software. O hardware possui circuitos eletrônicos que condicionam o sinal de entrada de sensores e comandam sinais de saída para os atuadores. Esses sinais são processados pelos PICs que calculam a ignição e injeção para os regimes do motor, utilizando algumas estratégias para a melhora de emissões, rendimento, potência, etc. O desenvolvimento desta ECU utilizou como base projetos anteriores da FATEC, possibilita futuros desenvolvimentos no hardware e software, bem como, apresenta a ECU de forma didática.

Palavras chaves: ECU (Electronic Control Unit), hardware, software, Microchip PIC.

## **ABSTRACT**

Nowadays vehicles use internal combustion engine in a disseminated form, requiring a complex control to accomplish the requirements of the consumer marketing, as power, autonomy, comfort and performance, as well as environmental demand, as lower exhaust emission, fuel economy etc. To achieve it, the ECU (Electronic Control Unit), which manages the engine, it is essential and has been passed through a constant evolution. New hardware and software solutions are being used to attend the market needs. The purpose of this work is to develop the hardware and ECU software using microcontrollers from Microchip PIC and C language in the software development. The hardware contains electronics circuits which condition the input signal of sensors and command output signals to the actuators. These signals are processed by the PICs which calculates the ignition and injection for the engine speed, using strategies to improve emissions, performance, power, etc. The development of this ECU is based on previous FATEC projects, enable future hardware and software developments, as well as, presents the ECU in a didactic way.

Keywords: ECU (Electronic Control Unit), hardware, software, Microchip PIC.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Carburador utilizado no Volkswagen fusca de 1970, no Brasil. ( <a href="http://www.pt.wikipedia.org/wiki/Carburador">www.pt.wikipedia.org/wiki/Carburador</a> , acessado dia 15/10).....	20
Figura 2: Sistema de Injeção Monoponto (esquerda) e Multiponto (direita). (Adaptado de PUJATTI, 2007) .....	21
Figura 3: Diagrama Pressão X Volume do ciclo Otto. (Extraída de MORAN & SHAPIRO, 2002).....	23
Figura 4: Ciclo completo de um motor Otto. (Extraída de Magneti Marelli – Doutor em motores, 1990).....	23
Figura 5: Sequência dos cilindros do motor. (Extraída de Apostila SENAI , 2003).....	24
Figura 6: Motor em corte com seus componentes. (Extraída de Magneti Marelli – Doutor em motores, 1990).....	25
Figura 7: Êmbolo, biela e árvore de manivelas. (Adaptado de Magneti Marelli – Doutor em motores, 1990).....	26
Figura 8: Comando de válvulas. (Adaptado de Magneti Marelli – Doutor em motores, 1990) .....	27
Figura 9: Circuito de admissão de ar. (Extraída de VOLKSWAGEN, 2009).....	28
Figura 10: Visualização da válvula de controle de ar eletrônica. (Extraído de APOSTILA DE ATUADORES – FATEC SANTO ANDRÉ, 2012).....	29
Figura 11: Diagrama do TPS com 4 pinos. (Extraído de APOSTILA DE ATUADORES – FATEC SANTO ANDRÉ, 2012).....	29
Figura 12: Tensão de saída dos sensores de posição. (Extraído de APOSTILA DE ATUADORES – FATEC SANTO ANDRÉ, 2012).....	30
Figura 13: Corpo de Borboleta. (Extraída de ALBALADEJO, 2009).....	30
Figura 14: Circuitos utilizados para a medida. (Extraído de APOSTILA DE ATUADORES – FATEC SANTO ANDRÉ, 2012) .....	32
Figura 15: Curva de resposta do sensor de Temperatura do Ar. (Extraída de BOSCH, 2010). .....	32
Figura 16: Curva de tensão x pressão. (Extraída de BOSH, 2010). .....	33
Figura 17: Roda Geradora de Impulsos. (Extraída de ALBALADEJO, 2009).....	34
Figura 18: Mudança da tensão pela variação de campo magnético. (Extraída de ALBALADEJO, 2009).....	35

Figura 19: Sinal gerado pelo sensor de relutância. (Extraída de ALBALADEJO, 2009).....	36
Figura 20: Organização das moléculas causada pela detonação. ( <a href="http://www.flaviocursos.com.br">www.flaviocursos.com.br</a> , acessado dia 15/10).....	41
Figura 21: Representação da detonação. ( <a href="http://www.flaviocursos.com.br">www.flaviocursos.com.br</a> , acessado dia 15/10) .....	42
Figura 22: Sinal da rede CAN. ( <a href="http://www.can-cia.org/">www.can-cia.org/</a> , acessado dia 15/10).....	44
Figura 23: Arquitetura de comunicação de uma rede CAN. (Hodel, 2016).....	44
Figura 24: Versões anteriores com microcontrolador PIC e Freescale. (Os autores) .....	45
Figura 25: ECU versão IV com microcontroladores PIC. (Os autores) .....	46
Figura 26: Veiculo GOL 1.6L utilizado no projeto. (O autores).....	47
Figura 27: PIC18F46K22. (extraído de DATASHEET PIC 18F46K22, 2012).....	49
Figura 28: Bloco do PIC de gerenciamento. Sinais de entrada e de saída. (Os autores).....	50
Figura 29: Bloco do PIC de sincronismo. Sinais de entrada e de saída. (Os autores).....	51
Figura 30: Bloco do PIC de admissão. Sinais de entrada e de saída. (Os autores) .....	51
Figura 31: Bloco do PIC de comunicação. Sinais de entrada e de saída. (Os autores) .....	52
Figura 32: Esquema elétrico do regulador de tensão. (Os autores) .....	53
Figura 33: Esquema elétrico do sensor Knock. (Os autores) .....	54
Figura 34: Esquema elétrico do circuito do sensor lambda (pré e pós catalisador). (Os autores) .....	55
Figura 35: Esquema elétrico dos condicionadores analógicos. (Os autores) .....	56
Figura 36: Esquema elétrico dos condicionadores digitais. (Os autores).....	56
Figura 37: Esquema elétrico do condicionador de rotação. (Os autores) .....	57
Figura 38: Exemplo de aplicação CI MC33186 (extraído de FREESCALE, 2011). .....	58
Figura 39: Esquema elétrico do circuito da interface da válvula borboleta. (Os autores).....	58
Figura 40: Exemplo de aplicação do MC33810 (Extraído de FRESCALLE, 2008). .....	59
Figura 41: Esquema elétrico do circuito da interface da Injeção e Ignição. (Os autores) .....	60
Figura 42: Esquema elétrico dos Reles. (Os autores).....	60
Figura 43: Esquema elétrico da interface de comunicação via rede CAN. (Os autores) .....	62
Figura 44: Modulo do <i>bluetooth</i> e suas pinagens. (O autores).....	62
Figura 45: Esquema elétrico da interface de comunicação via USB. (Os autores) .....	63
Figura 46: Interface desenvolvida para diagnose de parâmetros. (Os autores) .....	65
Figura 47: Hardware utilizado para gerar o sinal de rotação (Tower). (Os autores) .....	68

Figura 48: Aplicação utilizada para a geração do sinal de rotação (EXTRAÍDO PEREIRA, 2013).....	68
Figura 49: Sinal de Rotação gerado pela tower. (Os autores) .....	69
Figura 50: Bobina do Gol. (Os autores) .....	70
Figura 51: Sinal gerado pela ECU da Fatec (em amarelo). (Os autores) .....	71
Figura 52: Kit de ignição da Fatec Santo André. (Os autores).....	72
Figura 53: Sinal do comando da injeção (em azul) e sinal da injeção (em vermelho). (Os autores) .....	73
Figura 54: Kit de injeção da Fatec Santo André. (Os autores).....	74
Figura 55: Sinal do TPS (em verde) e pedal (em amarelo) do GOL. (Os autores) .....	75
Figura 56: Kit da válvula borboleta da Fatec Santo André. (Os autores).....	76
Figura 57: Simulação em bancada com todos os kits. (Os autores) .....	76
Figura 58: Rotação (em amarelo), injetor (em verde), MAP (em azul) e linha 15 (em roxo) em bancada a 1000 rpm. (Os autores) .....	77
Figura 59: Sinal do TPS (em verde) e Injeção (em vermelho). (Os autores) .....	79
Figura 60: Sinal do TPS (em verde) e Injeção (em vermelho). (Os autores) .....	80
Figura 61: Curva de potência utilizando ECU original, em vermelho mostra o RPM por potência e em azul RPM por torque. (Os autores).....	81
Figura 62: Curva de potência utilizando ECU IV, em vermelho mostra o RPM por potência e em azul RPM por torque. (Os autores).....	82
Figura 63: Comparação dos dois testes. ECU original (em azul) e ECU IV em vermelho. (Os autores) .....	83
Figura 64: Microcontrolador de Gerenciamento. (Os autores).....	88
Figura 65: Microcontrolador de Comunicação. (Os autores) .....	89
Figura 66: Microcontrolador de Admissão. (Os autores) .....	90
Figura 67: Microcontrolador de Sincronismo. (Os autores).....	91
Figura 68: Entrada do Sensor knock e Alimentação Geral. (Os autores).....	92
Figura 69: Entrada do sensor da Sonda lamda (pré e pôs catalisador). (Os autores) .....	93
Figura 70: Condicionadores dos sensores de temperatura da agua e ar. (Os autores).....	94
Figura 71: Condicionadores dos sensores de pedal 1 e 2. (Os autores).....	95
Figura 72: Condicionadores dos sensores de Pressão do ar condicionado e bateria. (Os autores) .....	96

Figura 73: Condicionadores dos sensores TPS (1 e 2). (Os autores) .....	97
Figura 74: Condicionadores dos sensores MAP e Alternador. (Os autores) .....	98
Figura 75: Condicionador do sensor de rotação. (Os autores) .....	99
Figura 76: Condicionadores dos sensores digitais de embreagem, combustível, freio 2 e botão do ar condicionado. (Os autores).....	100
Figura 77: Condicionadores dos sensores digitais de freio 1, velocidade, linha 15 e fase. (Os autores) .....	101
Figura 78: Interface de ignição e injeção. (Os autores).....	102
Figura 79: Interface da válvula borboleta. (Os autores) .....	103
Figura 80: Interface da rede CAN. (Os autores).....	104
Figura 81: Interface de USB. (Os autores) .....	105
Figura 82: Interface dos reles. (Os autores).....	106
Figura 83: Informações. (Os autores) .....	107
Figura 84: Fluxograma do PIC de Gerenciamento (1). (Os autores).....	108
Figura 85: Fluxograma do PIC de Gerenciamento (2). (Os autores).....	109
Figura 86: Fluxograma do PIC de Gerenciamento (3). (Os autores).....	110
Figura 87: Fluxograma do PIC de Gerenciamento (4). (Os autores).....	111
Figura 88: Fluxograma do PIC de Gerenciamento (5). (Os autores).....	112
Figura 89: Fluxograma do PIC de Admissão (1). (Os autores) .....	113
Figura 90: Fluxograma do PIC de Admissão (2). (Os autores) .....	114
Figura 91: Fluxograma do PIC de Admissão (3). (Os autores) .....	115
Figura 92: Fluxograma do PIC de Comunicação (1). (Os autores) .....	116
Figura 93: Fluxograma do PIC de Comunicação (2). (Os autores) .....	117
Figura 94: Fluxograma do PIC de Comunicação (3). (Os autores) .....	117
Figura 95: Fluxograma do PIC de Sincronismo (1). (Os autores).....	118
Figura 96: Fluxograma do PIC de Sincronismo (2). (Os autores).....	119
Figura 97: Fluxograma do PIC de Sincronismo (3). (Os autores).....	120
Figura 98: Fluxograma do PIC de Sincronismo (4). (Os autores).....	121
Figura 99: Fluxograma do PIC de Sincronismo (5). (Os autores).....	122
Figura 100: Fluxograma do PIC de Sincronismo (6). (Os autores).....	123
Figura 101: Fluxograma do PIC de Sincronismo (7). (Os autores).....	124
Figura 102: Curva do sensor do MAP. (Extraído de ROSSETTI, 2015) .....	125

Figura 103: Curva do sensor NTC de temperatura do motor. (Extraído de ROSSETTI, 2015) .....	126
Figura 104: Curva do sensor NTC de temperatura do ar de admissão. (Extraído de ROSSETTI, 2015) .....	127
Figura 105: Mapa de ignição ECU IV. (Os autores) .....	128
Figura 106: Curva de correção de injeção pela tensão da bateria. (Os autores).....	128

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de HC, NOx e CO exigidos em cada fase do PROCONVE. (Os autores)..	22
Tabela 2: Relação dos componentes na figura 6. (Adaptado de Magneti Marelli – Doutor em motores, 1990).....	25
Tabela 3: Estequiometria em função dos combustíveis. (Os autores).....	38
Tabela 4: Especificações do motor. (Ficha técnica Volkswagen Gol G5 1.6L TOTAL FLEX) .....	47
Tabela 5: Ficha técnica do microcontrolador 18F46K22. (Os autores) .....	48
Tabela 7: Tabela de Potencia máxima e torque máximo. (Os autores) .....	83
Tabela 8: Levantamento de emissões do Gol. (Os autores) .....	84

## **LISTA DE TERMOS, ABREVIATURAS E SIGLAS**

**CAN** - *Controller Area Network – Tipo de protocolo de comunicação serial;*

**CO<sub>2</sub>** - *Dióxido de Carbono;*

**ECU** - *Electronic Control Unit – Unidade eletrônica de controle. Dispositivo eletrônico que efetua a leitura de entradas e o acionamento de saídas;*

**EFI** - *Electronic Fuel Injection – Injeção eletrônica de combustível;*

**GND** - *Ground – Terra. Potencial de zero Volts em circuitos elétricos e eletrônicos.*

**I<sub>2</sub>C** - *Inter-Integrated Circuit – Tipo de protocolo de comunicação serial;*

**I/O** - *In/Out – Entrada ou Saída de um módulo eletrônico;*

**LCD** - *Liquid crystal display – Display de cristal líquido;*

**MCI** - *Motor de Combustão Interna;*

**N<sub>2</sub>** - *Nitrogênio;*

**NTC** - *Negative Temperature Coefficient – Coeficiente Negativo de Temperatura;*

**O<sub>2</sub>** - *Oxigênio;*

**PMI** - *Ponto Morto Inferior;*

**PMS** - *Ponto Morto Superior;*

**PROCONVE** - *Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos. Regulamentação governamental que rege as emissões de gases permitidas para automóveis em comercialização no Brasil;*

**PWM** - *Pulse With Modulation – Modulação por largura de pulso;*

**SAE** - *Society Automotive Engineers – Sociedade de Engenheiros Automotivos. É uma organização responsável pelos estudos em engenharia automobilística, e indústrias montadoras de automóveis.*

**SPI** - *Serial Peripheral Interface Bus – Tipo de protocolo de comunicação serial;*

**uC** - *Microcontrolador;*

# Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Objetivo .....	17
1.2	Motivação .....	18
1.3	Desenvolvimento do Trabalho.....	18
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	19
2.1	Histórico do Automóvel .....	19
2.2	Fundamentos do motor de combustão interna.....	22
2.2.1	Funcionamento básico do motor de combustão interna .....	22
2.2.2	Componentes do motor de combustão interna .....	24
2.3	Massa de ar .....	27
2.3.1	Componentes do sistema de admissão .....	27
2.3.2	Estratégias para o cálculo de massa de ar.....	31
2.4	Sistema de injeção eletrônica .....	33
2.4.1	Válvula injetora .....	33
2.4.2	Roda geradora de impulsos .....	34
2.4.3	Sensor efeito Hall .....	34
2.4.4	Sensor Indutivo ou de Relutância Magnética.....	35
2.4.5	Sensor de fase .....	36
2.4.6	Injeção indireta multiponto.....	36
2.4.7	Tempo de injeção.....	36
2.5	Sistema de Ignição.....	37
2.5.1	Bobina de ignição .....	37
2.5.2	Vela de Ignição .....	37
2.6	Formação da mistura ar/combustível.....	37
2.6.1	Emissões .....	38
2.7	Controle da Unidade de Gerenciamento Eletrônico (ECU) .....	40
2.7.1	Sensor de detonação KNOCK .....	41
2.8	Tipos de arquitetura .....	43
2.8.1	Rede CAN .....	43
3	HARDWARE .....	45
3.1	Descrição do Hardware .....	45
3.2	Veículo Utilizado.....	46
3.3	Descrição do microcontrolador, blocos e circuitos do hardware.....	48
3.3.1	Bloco de Gerenciamento .....	49
3.3.2	Bloco de Sincronismo.....	50
3.3.3	Bloco de Admissão.....	51
3.3.4	Bloco de Comunicação .....	52
3.3.5	Círcuito de alimentação geral .....	52
3.3.6	Círcuito do sensor knock .....	53
3.3.7	Círcuito da Sonda Lambda .....	54
3.3.8	Condicionadores Analógicos.....	55
3.3.9	Condicionadores Digitais .....	56
3.3.10	Condicionador de Rotação.....	57
3.3.11	Círcuito da Válvula Borboleta.....	57

3.3.12	Círcuito de Injeção e Ignição.....	58
3.3.13	Relés .....	60
3.4	Circuitos de comunicação.....	61
3.4.1	Rede CAN .....	61
3.4.2	Bluetooth .....	62
3.4.3	USB .....	63
4	SOFTWARE.....	64
4.1	Gerenciamento.....	64
4.2	Sincronismo.....	64
4.3	Admissão. ....	65
4.4	Comunicação. ....	65
4.5	Interface IHM .....	65
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	66
5.1	Etapas de teste em bancada .....	67
5.1.1	Testes com Rotação .....	67
5.1.2	Ignição .....	69
5.1.3	Injeção .....	72
5.1.4	Válvula Borboleta.....	74
5.1.5	Simulação em bancada .....	76
5.2	Etapas de teste no veículo.....	77
5.3	Teste e Curvas de Potência.....	81
5.4	Emissões .....	83
6	CONCLUSÃO.....	85
6.1	Propostas Futuras.....	85
7	Bibliografia.....	87
	APÊNDICE A – <i>Hardware</i> .....	88
	APÊNDICE B – <i>Firmware</i> .....	108
	APÊNDICE C – Curvas dos Sensores.....	125

# **1 INTRODUÇÃO**

A crescente necessidade de redução de emissões de poluentes, o aumento da eficiência e do desempenho dos motores de combustão dos veículos, fez com que o sistema de gerenciamento e de controle do motor tivesse, cada vez mais, um papel fundamental na engenharia automotiva. Atualmente o veículo conta com inúmeros módulos e uma complexa rede de comunicação para distribuição de dados e informações de desempenho.

A ECU utiliza diversos sensores para a aquisição de parâmetros físicos que definem mapas de funcionamento e estratégias para os atuadores, gerenciando o motor de forma a otimizar o consumo de combustível, emissões de poluentes e aumento de desempenho. As estratégias de software e hardware são mantidas em segredo pela indústria automotiva e seus fornecedores, dificultando a compreensão deste complexo sistema de gerenciamento.

O presente projeto consiste em desenvolver uma ECU a partir dos projetos anteriores (MOSCARDINI & MATA, 2014; PEREIRA C. F., 2013), utilizando microcontroladores da família Microchip PIC para gerenciar o motor de um veículo Volkswagen GOL 1.6L (EA-111) FLEX 2009. O projeto está divido em duas etapas sendo o aperfeiçoamento do hardware apresentado por (MOSCARDINI & MATA, 2014) para uma placa de menor dimensão, com maior poder de processamento, adição de novos drivers, como sensor lambda e sensor de detonação, e possibilidade de implementação de novas funcionalidades em futuros projetos, bem como a melhoria do software para um programa estruturado em módulos.

Para uma melhor organização, desenvolvimento e didática, foi necessária a separação em blocos, cada qual com suas funcionalidades, assegurando a comunicação entre eles, sendo esses: Gerenciamento, Sincronismo, Comunicação e Admissão.

## **1.1 *Objetivo***

Este trabalho tem como objetivo desenvolver o hardware e o software de uma unidade de controle automotiva (ECU) utilizando como base a ECU desenvolvida por (PEREIRA C. F., 2013) e (MOSCARDINI & MATA, 2014) com microcontroladores da família PIC da fabricante Microchip®.

A meta é adaptar o hardware e o software para os veículos Volkswagen GOL G5 1.6L (EA111) Flex e o Volkswagen POLO 2.0L (EA113) gasolina com ênfase no GOL, resultando em uma placa de menor dimensão, arquitetura de software evoluída e otimizada.

A conclusão deste trabalho permitirá a utilização da placa base da ECU de forma didática e prática abrindo possibilidades futuras para o desenvolvimento de diferentes estratégias de software.

## **1.2 Motivação**

A motivação para este trabalho baseia-se na evolução do hardware e do software desenvolvidas no trabalho de (MOSCARDINI & MATA, 2014) onde é possível entender de forma didática as funções do gerenciamento do motor, facilitando a compreensão das estratégias utilizadas em uma ECU. O desenvolvimento do hardware teve como objetivo aumentar a praticidade o poder de processamento e reduzir as dimensões da placa em relação ao projeto anterior. Essa mudança visa aumentar o entendimento sobre o funcionamento da unidade de gerenciamento que é geralmente vista como uma caixa preta, ou seja, estudá-la de forma prática e não teórica.

## **1.3 Desenvolvimento do Trabalho**

O desenvolvimento da unidade de gerenciamento eletrônico foi dividido em quatro etapas, sendo:

- Alteração do compilador CCS para o compilador XC8, garantindo o mesmo funcionamento da versão anterior programada com o compilador CCS sem alteração de nenhum parâmetro.
- Desenvolvimento do esquema elétrico, circuito impresso e sua montagem.
- Testes em bancada para garantir todas as funcionalidades da placa e funcionamento dos condicionadores e dos microcontroladores.
- Elaboração do *Software* que será aplicado no veículo Gol, garantindo que todo o processamento esteja adequado, todas as comunicações corretas, assim como a leitura dos sinais e dos atuadores dentro dos parâmetros previamente definidos.

## **2 REFERÊNCIAL TEÓRICO**

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica básica para o entendimento deste projeto, passando pela história do motor, seu funcionamento, componentes, controle, gerenciamento e estratégias de desempenho.

### ***2.1 Histórico do Automóvel***

Atualmente o motor de combustão interna é amplamente utilizado em automóveis, aeronaves e embarcações.

Seu desenvolvimento teve início em 1665 onde o vapor era utilizado como combustível. Em 1759, Henry Hood propôs a utilização de ar quente ao invés de vapor, idéia essa executada por George Caley em 1807. Os motores a ar apresentavam um melhor rendimento por operarem com pressão superior aos motores a vapor o que gera uma força maior na cabeça do êmbolo e consequentemente uma maior transmissão de força (CÂMARA, 2006).

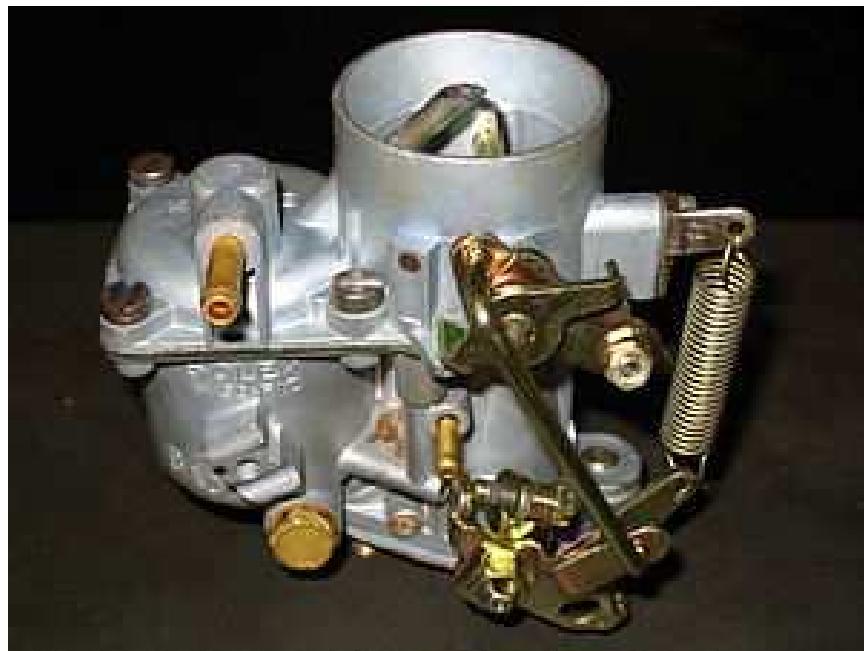
A exploração de petróleo por Drake em 1859 proporcionou uma avanço significativo para o desenvolvimento do motor a combustão, pois, o combustível líquido era armazenado facilmente (STONE, 1999).

Em 1876 Nikolaus Otto desenvolveu o motor de combustão interna ciclo Otto que foi implementado no automóvel por Gottlieb Daimler e Carl Benz, cada qual com um projeto independente (FLINK, 1990).

A introdução do motor de combustão interna utilizando combustíveis líquidos nos veículos ganhou força de mercado e novas empresas surgiram para concorrer com os demais fabricantes fazendo com que esse produto se desenvolvesse (ALBALADEJO, 2013).

Ao mesmo tempo em que o automóvel foi evoluindo, as necessidades de segurança, conforto, desempenho, autonomia e etc., foram acompanhando essa evolução, tornando o controle dos veículos cada vez mais complexo.

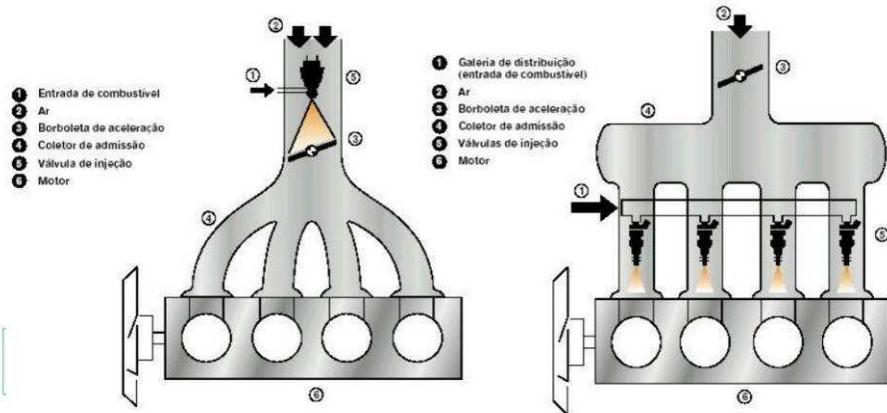
Neste caminho de evolução constante, o automóvel passou por vários estágios, como por exemplo, a ignição com platinado e condensador, acompanhado dos famosos carburadores para promoverem a mistura ar-combustível.



**Figura 1: Carburador utilizado no Volkswagen fusca de 1970, no Brasil.**  
([www.pt.wikipedia.org/wiki/Carburador](http://www.pt.wikipedia.org/wiki/Carburador), acessado dia 15/10)

Com o despertar do mundo para o cuidado com o meio ambiente na década de 80 notou-se que o sistema utilizado alimentação de combustível emitia muitos gases nocivos para saúde e para o meio ambiente, além da própria ineficiência em termos de rendimento do motor. As montadoras de automóveis buscaram outras soluções para estes desafios.

Surgiram então os sistemas de injeção de combustível, que eliminaram os carburadores. Foi desenvolvido um sistema que utiliza uma válvula injetora e uma válvula borboleta. O ar admitido é misturado com combustível que é injetado antes da válvula borboleta e essa mistura vai para o coletor de admissão sendo distribuída para as câmaras de combustão. Posteriormente ocorreram mudanças nesse sistema onde foram empregadas quatro válvulas injetoras que injetam o combustível antes da entrada na câmara de combustão acima da válvula de admissão. Esse sistema é chamado de Injeção Multiponto e é utilizado atualmente.



**Figura 2: Sistema de Injeção Monoponto (esquerda) e Multiponto (direita). (Adaptado de PUJATTI, 2007)**

Alguns veículos já utilizam um sistema de injeção direta onde a injeção de combustível é feita dentro da câmara de combustão por uma válvula injetora. Esse sistema reduz emissões e principalmente melhora o consumo de combustível.

O sistema da ignição também passou por mudanças saindo da bobina com platinado, passando pela ignição eletrônica, eliminação da bobina e utilização de um transformador.

Nesta constante evolução do automóvel em busca de melhor eficiência energética e redução das emissões de poluentes, um fato importante no Brasil aconteceu em 1988 quando teve início a primeira fase do PROCONVE que definiu os limites de emissão de gases poluentes e nocivos à saúde humana e ao meio ambiente. Em cada fase podemos destacar pontos importantes:

**Fase L-I:** de 1988 a 1991, aprimoramento dos projetos dos modelos já em produção e redução das tolerâncias do PROCONVE.

**Fase L-II:** a partir de 1992, aplicação de tecnologias novas: injeção eletrônica ou carburadores eletrônicos e conversor catalítico para redução de emissões, separadamente atendiam a fase de exigências.

**Fase L-III:** 1º de janeiro de 1997, o fabricante/importador empregou, conjuntamente, as melhores tecnologias disponíveis para a formação de mistura e controle eletrônico do motor.

**Fases L-IV e L-V:** a prioridade nestas fases, é a redução das emissões de HC e NOx, por serem nocivos a camada de Ozônio.

A tabela (1) apresenta os valores de HC, NOx e CO exigidos em cada fase.

	Fase I	Fase II	Fase III	Fase IV	Fase V
Monóxido de carbono (CO) (g/km)	24.0	24.0	2.0	2.0	2.0
Hidrocarbonetos não metano (NMHC) (g/km)	2.1	2.1	0.3	0.16	0.05
Óxidos de nitrogênio (NOx) (g/km)	2.0	2.0	0.6	0.25	0.12

**Tabela 1: Valores de HC, NOx e CO exigidos em cada fase do PROCONVE. (Os autores)**

Atualmente o controle de emissões é bem restrito o que fez com que o foco da indústria automobilística mudasse fortemente para o desempenho dos motores e consequentemente para o consumo e autonomia do veículo. Diferentes tecnologias foram empregadas visando a redução de emissões de poluente preservando, ao máximo possível, o desempenho dos novos veículos.

Essa constante evolução fez com que o controle eletrônico do motor se tornasse extremamente complexo, onde qualquer variação pode causar um aumento no consumo, perda de desempenho, aumento de emissões, etc. obrigando as empresas a investir cada vez mais em tecnologias de ponta para assegurar o correto funcionamento dos sistemas eletrônicos de comando.

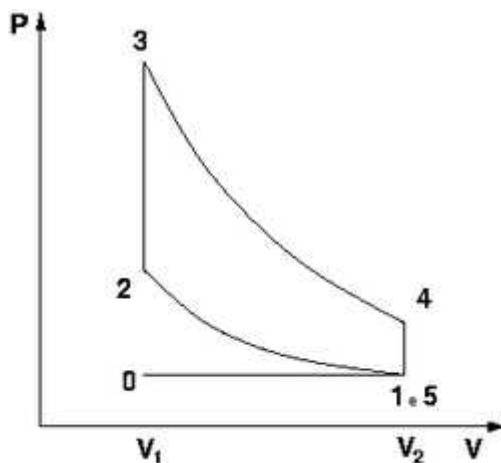
## **2.2 Fundamentos do motor de combustão interna**

Em meio a diferentes tipos de motores a combustão desenvolvidos, dois deles tiveram maior destaque e são amplamente utilizados nos dias de hoje, sendo o motor Diesel criado por Rudolf Christian Karl Diesel, caracterizado pela combustão por meio da compressão e ignição espontânea, e o motor Otto, criado por Nikolaus Otto e caracterizado por ignição por centelha.

### **2.2.1 Funcionamento básico do motor de combustão interna**

Segundo (ALBALADEJO, 2013) o motor é todo conjunto de peças fixas e móveis que transformam um determinado tipo de energia em energia mecânica. Logo, o motor transforma energia através da queima do combustível, gerando uma força vetorial que é transformada em angular na arvore de manivelas.

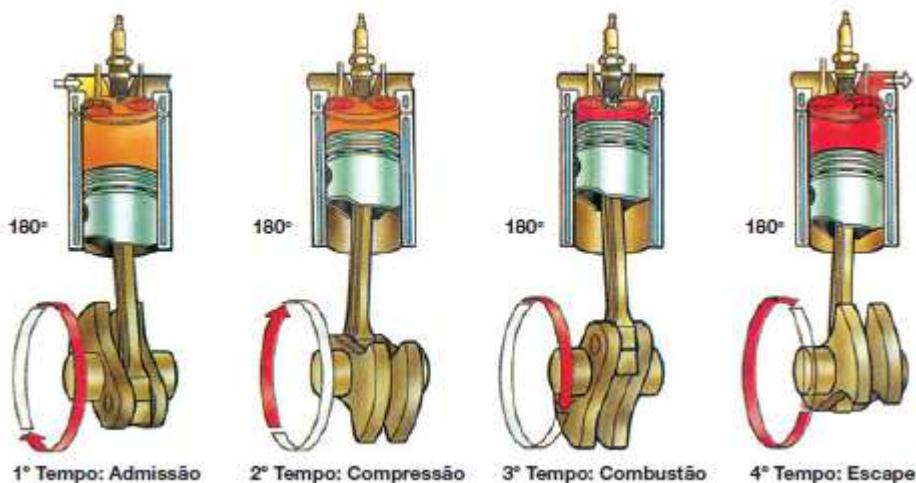
O motor de combustão ciclo Otto é formado por quatro processos onde ocorre variação de pressão, temperatura e volume. O seu ciclo é representado pela figura (3).



**Figura 3: Diagrama Pressão X Volume do ciclo Otto.** (Extraída de MORAN & SHAPIRO, 2002)

Na figura (3) observa-se no processo (0-1) uma admissão, ou seja, o ar está sendo admitido no cilindro. No processo (1-2) há uma compressão conforme o êmbolo se move do ponto morto inferior para o ponto morto superior. No processo (2-3) ocorre uma combustão, onde há uma transferência de calor gerando a queima na câmara de combustão. No processo (3-4) a energia gerada força o êmbolo para baixo. E finalmente, no processo (4-5) a queima está completa, a válvula de exaustão abre expulsando os gases de escape por meio da depressão no coletor de escape (MORAN & SHAPIRO, 2002).

O funcionamento do motor Otto tem como base esse ciclo onde cada processo é representado por uma posição de um êmbolo, logo o ciclo é formado por quatro êmbolos que trabalham ordenadamente, como representado na figura (4).



**Figura 4: Ciclo completo de um motor Otto.** (Extraída de Magneti Marelli – Doutor em motores, 1990)

Na figura (4) o primeiro tempo é da admissão. O êmbolo vai para baixo (ponto morto superior para inferior) gerando uma depressão na câmara de combustão succionando a mistura

ar/combustível para dentro. A válvula de admissão neste momento é aberta para liberar a passagem da mistura.

No segundo tempo (compressão) a válvula de admissão é fechada e o êmbolo sobe (ponto morto inferior para superior) comprimindo a mistura.

No terceiro tempo a vela de ignição gera a centelha antes do embolo comprimir totalmente a mistura gerando uma grande pressão. O êmbolo vai para baixo (ponto morto superior para inferior).

No quarto tempo a válvula de escape abre liberando os gases que resultaram da combustão. O êmbolo vai para cima (ponto morto inferior para superior) de forma a eliminar os gases restantes.

Essa sequência é repetida individualmente por cada cilindro a cada meia volta da arvore de manivelas como representado na figura (5).

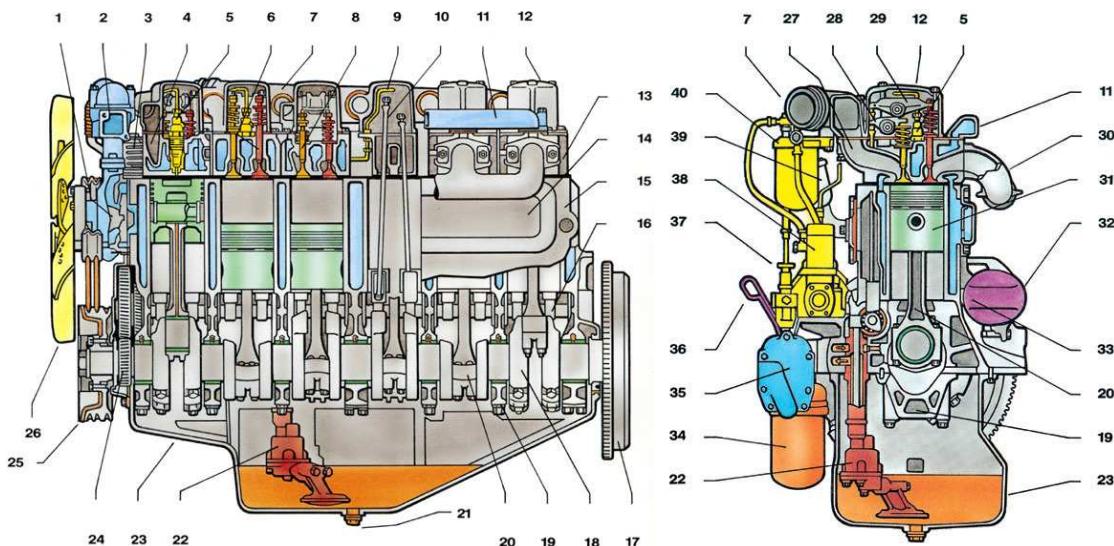
	1º Cil.	2º Cil.	3º Cil.	4º Cil.
1/2 Volta	Combustão	Escape	Compressão	Admissão
1 Volta	Escape	Admissão	Combustão	Combustão
1 1/2 Volta	Admissão	Compressão	Escape	Combustão
2 Voltas	Compressão	Combustão	Admissão	Escape

**Figura 5: Sequência dos cilindros do motor. (Extraída de Apostila SENAI , 2003)**

Em alguns casos a quantidade de cilindros pode mudar como em motores V6, V8 ou motores três cilindros utilizados em diferentes veículos atualmente, porem, o ciclo continua sendo o mesmo mudando apenas a diferença entre o ângulo de cada cilindro, sendo que quanto menor for essa diferença maior será o torque na arvore de manivelas.

## **2.2.2 Componentes do motor de combustão interna**

Os motores de combustão interna são constituídos por diferentes componentes, como cilindros, êmbolos, cabeçote, cárter, arvore de manivelas, bloco do motor, engrenagens, válvulas, bombas e etc. A figura (6) e a tabela (2) mostram os componentes do motor mais detalhadamente.



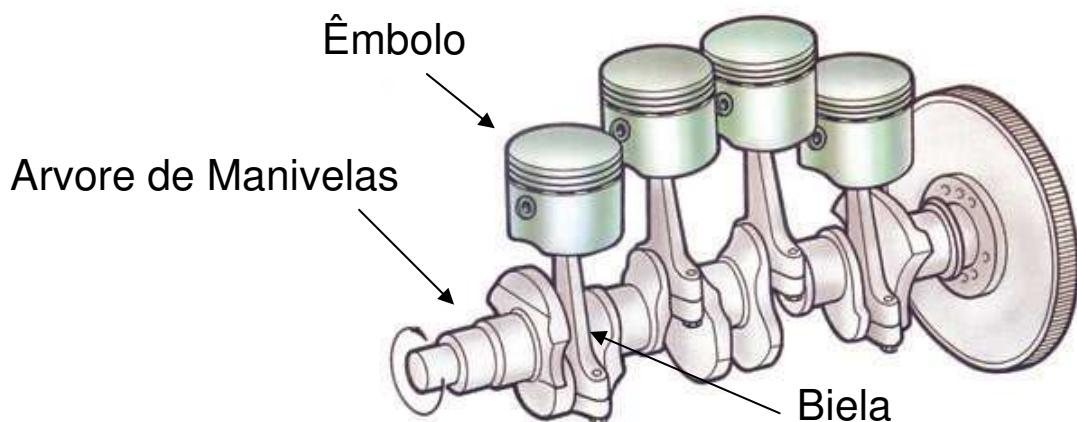
**Figura 6: Motor em corte com seus componentes. (Extraída de Magneti Marelli – Doutor em motores, 1990)**

Componentes do Motor de Combustão Interna	
01 — Bomba-d'agua	21 — Bujão de escoamento do óleo do cárter
02 — Válvula termostática	22 — Bomba de óleo
03 — Compressor de ar	23 — Carter
04 — Duto de admissão	24 — Engrenagem do eixo virabrequim
05 — Bico injetor	25 — Polia anti-vibradora
06 — Válvula de escape	26 — Hélice
07 — Coletor de admissão	27 — Duto de admissão tangencial
08 — Válvula de admissão	28 — Balancim da válvula de admissão
09 — Linha de injeção de combustível	29 — Balancim da válvula de escape
10 — Vareta de válvula	30 — Coletor de escape
11 — Duto de saída de agua de refrigeração	31 — Pistão
12 — Tampa de válvula	32 — Motor de partida
13 — Cabeçote	33 — Dreno da agua de refrigeração
14 — Tampa lateral do bloco	34 — Filtro de óleo
15 — Bloco do motor	35 — Radiador de óleo
16 — Eixo comando de válvulas	36 — Vareta indicadora do nível de óleo
17 — Volante	37 — Bomba manual de combustível
18 — Eixo virabrequim	38 — Bomba injetora
19 — Capa do mancal principal	39 — Respiro do cárter
20 — Biela	40 — Filtro de combustível

**Tabela 2: Relação dos componentes na figura 6. (Adaptado de Magneti Marelli – Doutor em motores, 1990)**

### 2.2.2.1 Êmbolo

O êmbolo ou pistão como é chamado é uma peça mecânica podendo ser fundido, onde se coloca a matéria prima em uma forma, forjado, onde a matéria prima é prensada na forma fazendo com que a peça se torne mais rígida, ou usinado, onde é trabalhada no formato final. Normalmente são utilizados êmbolos fundidos nos motores, porém para veículos de competição são utilizados os forjados. O êmbolo é ligado a biela por pinos e posteriormente a árvore de manivelas. A cabeça do êmbolo normalmente é lisa e a mistura ar/combustível é comprimida no topo da câmara de combustão. Alguns êmbolos têm o formato na cabeça específico para aumentar a homogeneização da mistura na câmara pelo turbilhão gerado pela entrada de ar/combustível. A figura (7) mostra o êmbolo e a biela.



**Figura 7: Êmbolo, biela e árvore de manivelas.** (Adaptado de Magneti Marelli – Doutor em motores, 1990)

A função do êmbolo é receber a força gerada pela combustão e transmiti-la para a biela e posteriormente para a árvore de manivelas, vedar e lubrificar as paredes do cilindro e dissipar calor com o líquido de arrefecimento do motor.

### 2.2.2.2 Biela

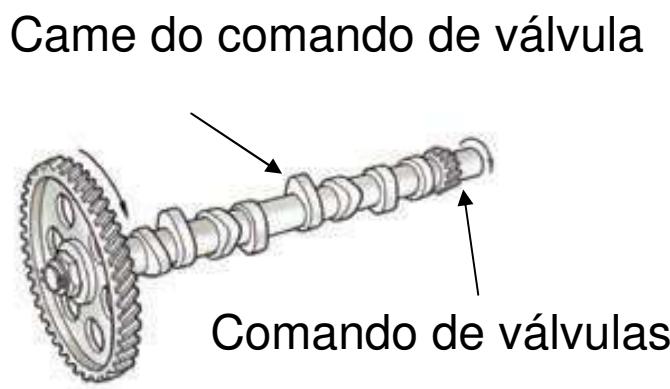
A biela é um componente mecânico geralmente forjado, que recebe toda a força vetorial gerada pelo êmbolo e transforma essa força em angular na árvore de manivelas. Ela é ligada ao êmbolo por pinos e na árvore de manivela pelo mancal.

### **2.2.2.3 Árvore de manivelas**

A árvore de manivelas ou popularmente chamada de virabrequim, é um componente mecânico feito geralmente de ferro fundido especial, pois necessita ser resistente para suportar esforços, torções e etc. Ela transforma a energia vinda da combustão dos gases em torque útil para o motor.

### **2.2.2.4 Comando de válvulas**

O comando de válvulas é um componente mecânico que aciona as válvulas de admissão e escape por meio de cames no eixo como mostra a figura 8. Ele utiliza a rotação da árvore de manivelas para sincronizar a abertura e fechamento das válvulas, porém sua relação é de dois para um, ou seja, cada volta na árvore de manivelas equivale a duas no comando de válvulas.



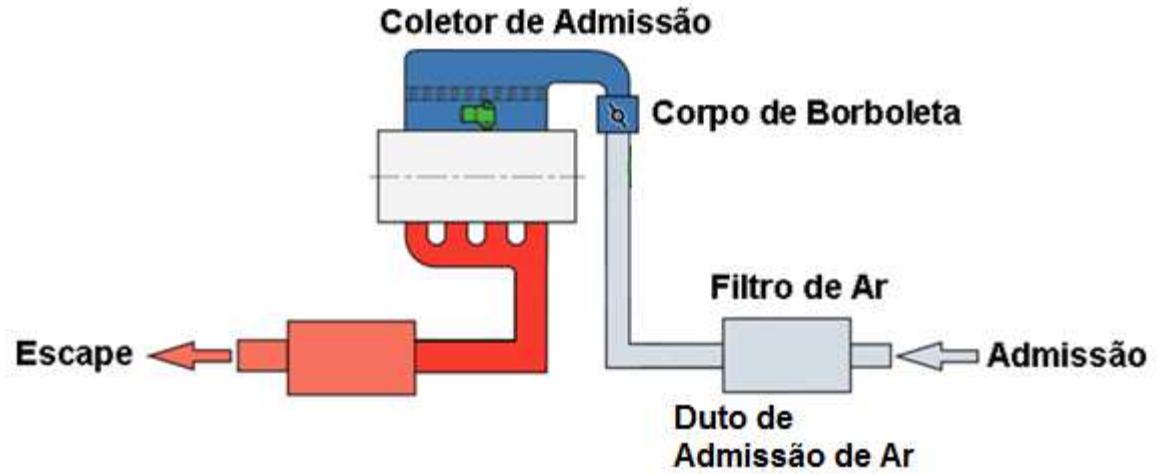
**Figura 8: Comando de válvulas. (Adaptado de Magneti Marelli – Doutor em motores, 1990)**

## **2.3 Massa de ar**

O sistema de massa de ar do automóvel é uma das partes mais importantes para o motor, pois sem o cálculo do volume de ar admitido, não é possível obter uma relação equivalente de massa de combustível logo, o fator de estequiometria fica fora do ideal.

### **2.3.1 Componentes do sistema de admissão**

O sistema de admissão conta com alguns componentes importantes para seu funcionamento e estratégias. A figura (9) representa os componentes básicos do sistema.



**Figura 9: Circuito de admissão de ar. (Extraída de VOLKSWAGEN, 2009)**

- O filtro de ar captura qualquer partícula de sujeira que venha junto com o ar admitido.
- O duto de admissão liga o filtro de ar ao corpo de borboleta.
- O corpo de borboleta faz a abertura ou fechamento dependendo do regime de carga solicitado pelo condutor do veículo.
- O coletor de admissão distribui o ar admitido para a câmara do motor.
- O escape conta com o coletor de escape e com o catalisador.

### 2.3.1.1 Válvula borboleta

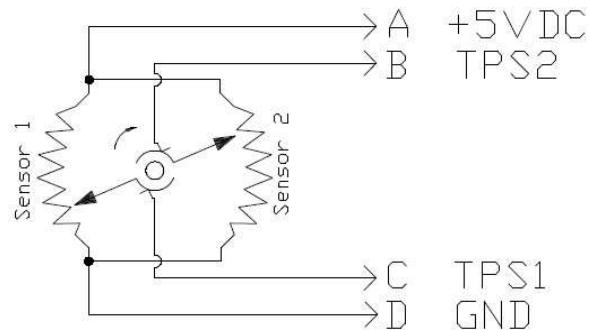
A válvula borboleta é uma peça móvel do corpo de borboleta que faz a abertura e fechamento para a passagem de ar. Quando o motorista pisca no acelerador um sensor TPS (Throttle Position Sensor) indica o ângulo de abertura da válvula borboleta. Esse acionamento era feito através de cabos entre o pedal do acelerador e a válvula borboleta porém atualmente os veículos contam com um motor DC (corrente contínua) acoplado ao corpo de borboleta. Sem carga e tração no motor a válvula borboleta fica com uma abertura mínima para garantir a passagem de ar na marcha lenta. A válvula borboleta pode ser visualizada na figura (10).



**Figura 10:** Visualização da válvula de controle de ar eletrônica. (Extraído de APOSTILA DE ATUADORES – FATEC SANTO ANDRÉ, 2012)

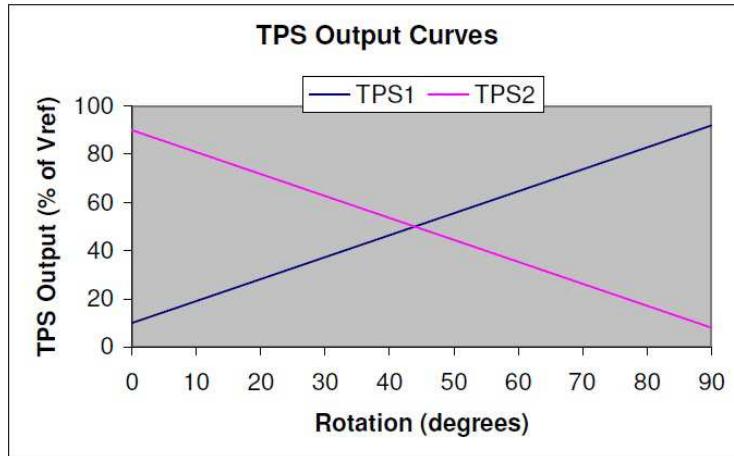
### 2.3.1.2 Sensor TPS

O sensor TPS (Throttle Position Sensor) é um potenciômetro resistivo de filme espesso. Ele contém quatro terminais como visto no esquema elétrico da figura (11).



**Figura 11:** Diagrama do TPS com 4 pinos. (Extraído de APOSTILA DE ATUADORES – FATEC SANTO ANDRÉ, 2012)

No terminal C o TPS1 irá variar seu ângulo entre 10% (fechado) e 90% (aberto) para uma alimentação da aproximadamente +5 Volts. Para fechar a válvula totalmente é necessário aplicar uma tensão inversa. No TPS2 o ângulo varia de 10% (aberto) e 90% (fechado) logo, obtemos uma relação de tensão de saída entre os dois como representado na figura (12).



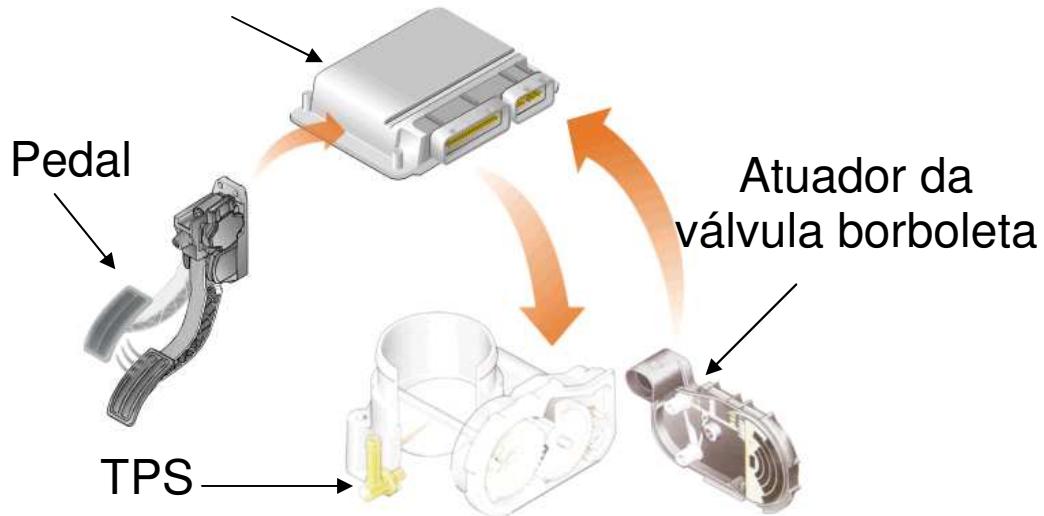
**Figura 12:** Tensão de saída dos sensores de posição. (Extraído de APOSTILA DE ATUADORES – FATEC SANTO ANDRÉ, 2012)

São utilizados dois sinais como redundância caso um sinal falhe o sistema ETC (Electronic Throttle Control) identifica essa falha pela relação entre os sinais e toma algumas ações para controlar o sistema.

### 2.3.1.3 ETC

O ETC (Electronic Throttle Control) é uma unidade de comando específica para o controle do corpo de borboleta. Ele recebe e envia os sinais do TPS e controla o motor DC. A figura (13) mostra a relação entre os sistemas e os componentes que mandam sinais e recebem sinais da unidade de controle.

### Unidade de controle



**Figura 13:** Corpo de Borboleta. (Extraída de ALBALADEJO, 2009)

### 2.3.2 Estratégias para o cálculo de massa de ar

Algumas estratégias são adotadas para estimar a quantidade de massa de ar que o sistema está admitindo. Utilizamos a estratégia speed density no veículo Gol 1.6L.

#### 2.3.2.1 Speed density

Essa estratégia mede a massa de ar indiretamente pela pressão e temperatura do ar no coletor. O fluxo do ar é obtido através de uma formula que relaciona a rotação do motor pela densidade do ar. A densidade é obtida utilizando a equação abaixo, onde;

$$\rho = \eta * \frac{P}{R*T}$$

- $\rho$  densidade,
- $\eta$  massa molar (MM),
- R é o valor da constante geral dos gases
- T é o valor de temperatura absoluta do ar
- P é o valor de pressão em atm ou mmHG

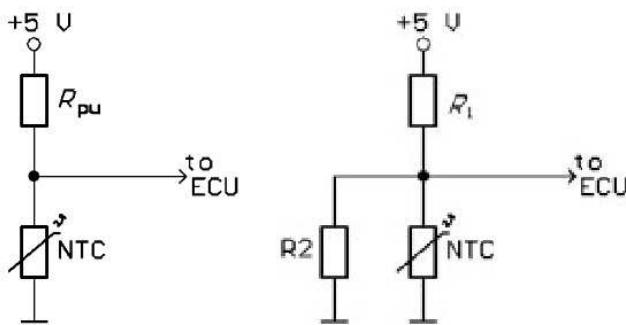
Obtendo o valor da densidade do ar é possível calcular a massa de ar em cada cilindro como mostra a equação abaixo, onde;

$$\text{Massa de Ar} = \rho * \frac{\text{Cilindrada}}{n}$$

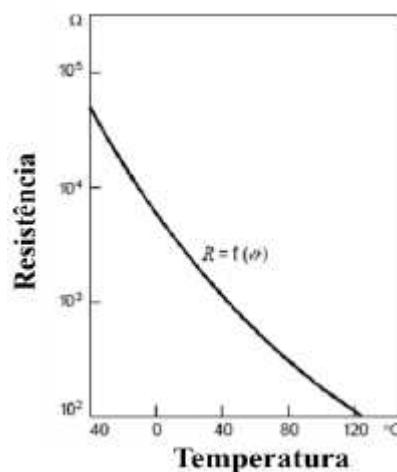
sendo que n é o numero de cilindros do motor.

#### 2.3.2.2 Sensor de temperatura NTC

É um sensor resistivo utilizado para medir a temperatura do ar por meio da variação da tensão de saída. Ele é alimentado por 5 Volts e de acordo com a temperatura do ar sua resistência varia. Como é um circuito divisor de tensão a variação de resistência causa uma variação na tensão de saída de 0 a 5 Volts. Essa tensão é enviada para a ECU e por meio de tabelas encontra-se a temperatura do ar como observado no circuito da figura (14).



**Figura 14:** Circuitos utilizados para a medida. (Extraído de APOSTILA DE ATUADORES – FATEC SANTO ANDRÉ, 2012)



**Figura 15:** Curva de resposta do sensor de Temperatura do Ar. (Extraída de BOSCH, 2010).

### 2.3.2.3 Sensor de pressão MAP

O sensor de pressão absoluta (MAP) é utilizado para medir a pressão do ar na admissão. Esse sensor pode ser piezoresistivo ou capacitivo utilizando o princípio strain-gauge.

O sensor com princípio strain-gauge ao ser submetido a uma força longitudinal se deforma variando a resistência do filamento em seu interior. Essa variação da pressão é transformada em tensão que será enviada para a ECU, logo é possível obtermos a relação mostrada na figura (16).

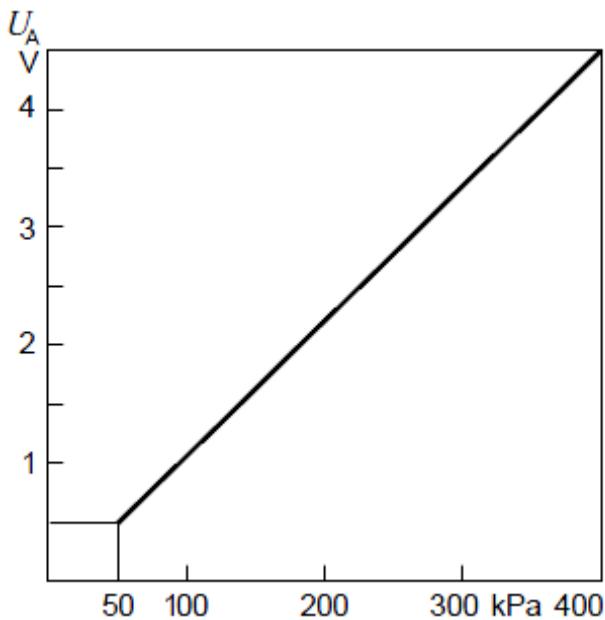


Figura 16: Curva de tensão x pressão. (Extraída de BOSH, 2010).

## 2.4 Sistema de injeção eletrônica

O sistema de injeção eletrônica tem como função injetar uma massa de combustível proporcional a massa de ar admitida. Antigamente o carburador era utilizado para este fim, porém, esse sistema emitia uma grande quantidade de poluentes por não conseguir fazer uma mistura idealmente proporcional, logo foram desenvolvidos os sistemas de injeção eletrônica indireta monoponto e alguns anos depois o multiponto.

Atualmente é vastamente utilizado o sistema de injeção indireta multiponto, porém, o sistema de injeção direta vem ganhando mercado mesmo sendo mais caro, pois sua utilização é mais precisa resultando em um melhor aproveitamento do combustível.

O sistema de injeção indireta necessita da rotação do motor identificar o tempo exato de injetar. Para isso é utilizado uma roda fônica geralmente de 60 – 2 dentes e um sensor de efeito hall ou indutivo. Esses sensores identificam a passagem dos dentes da roda fônica e enviam um sinal para a ECU, que comanda o acionamento das válvulas injetoras.

### 2.4.1 Válvula injetora

A válvula injetora é constituída de um sistema com uma mola que é recuada ao energizar a bobina da válvula. Ela tem como função injetar o combustível na forma de spray para melhor atomização e formação da mistura ar/combustível. O combustível está

pressurizado dentro da válvula e quando o embolo está descendo para fazer a admissão do ar à depressão gerada é somada com a pressão do combustível resultando em uma atomização mais eficiente.

## 2.4.2 Roda geradora de impulsos

A roda geradora de impulsos ou popularmente chamada de roda fônica é montada junto ao eixo da arvores de manivela girando na mesma rotação do motor. Ela é feita de um material ferroso para interagir com o campo magnético gerado pelos sensores e possui 60 dentes como visto na figura (17). A roda fônica tem uma falha de dois dentes para identificar qual é o primeiro dente, de forma a sincronizar a rotação do motor com a injeção e a ignição da centelha. Cada dente tem uma distância de  $6^\circ$ , logo ela possui  $360^\circ$  de giro. Com isso a cada volta na arvore de manivelas ocorre uma volta na roda fônica (ALBALADEJO, 2013).

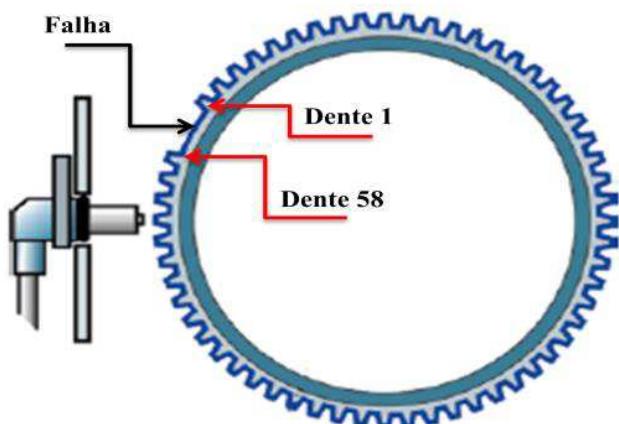
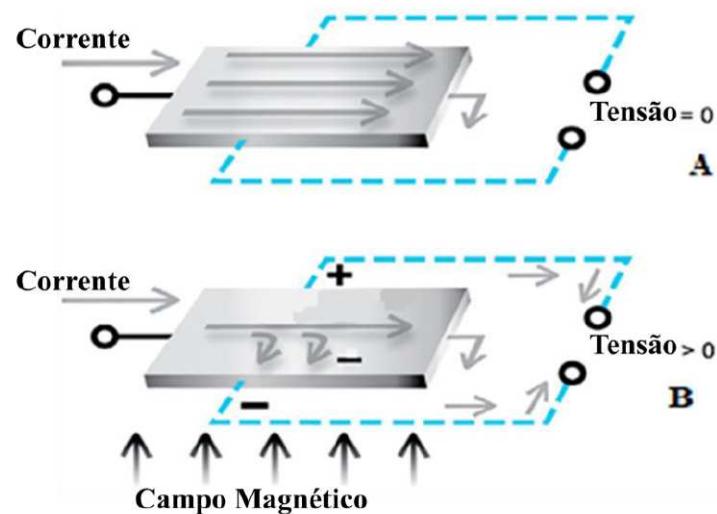


Figura 17: Roda Geradora de Impulsos. (Extraída de ALBALADEJO, 2009)

## 2.4.3 Sensor efeito Hall

O efeito Hall foi descoberto por Dr. Edwin Hall em 1879. O sensor contém um material semicondutor que quando não tem campo magnético não varia a tensão de saída. Quando surge uma corrente é gerado um campo magnético promovendo uma variação de tensão de saída. Essa tensão é perpendicular a corrente e paralela ao campo magnético. A força de Lorentz age nos elétrons movimentando os mesmos no elemento hall quando a corrente esta perpendicular ao campo magnético fazendo com que os elétrons mudem sua

trajetória para o lado inferior do material gerando assim uma diferença de tensão entre a parte superior (positivo) e inferior do material (Negativo).



**Figura 18: Mudança da tensão pela variação de campo magnético. (Extraída de ALBALADEJO, 2009)**

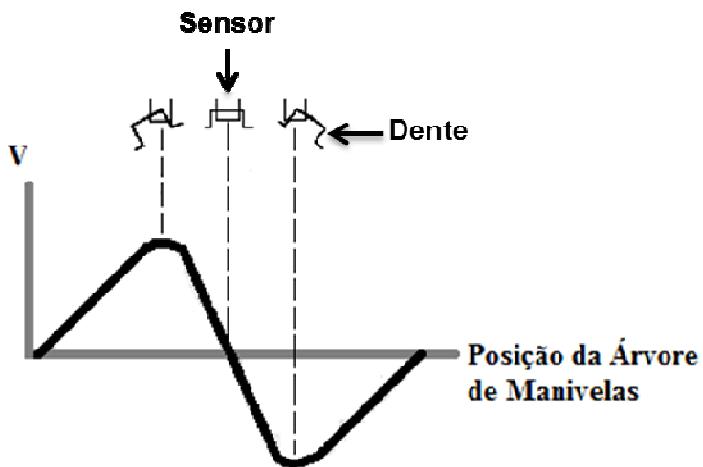
Quando o dente da roda fônica passa pelo sensor ele interrompe o fluxo magnético e quando ele passa o fluxo retorna. Dessa maneira o sensor identifica a passagem de um dente.

O veículo Volkswagen Gol utiliza esse sensor na rota fônica e sensor de fase, e o Volkswagen Polo utiliza no sensor de fase.

#### 2.4.4 Sensor Indutivo ou de Relutância Magnética

Esse sensor tem um circuito magnético que fica em aberto com tensão zero. Quando um material ferromagnético se aproxima do sensor ele fecha o fluxo magnético gerado um campo e consequentemente uma tensão que é equivalente a intensidade do campo magnético.

No veículo esse sensor fica perto da roda fônica, de modo que no momento de aproximação de um dos dentes a intensidade vai aumentando. Quando o dente fica alinhado com o sensor a tensão é nula. Conforme o dente vai passando a tensão inverte e fica negativa, logo o sinal de saída desse sensor varia dependendo da frequência da roda fônica formando um sinal senoidal como visto na figura (19).



**Figura 19: Sinal gerado pelo sensor de relutância.** (Extraída de ALBALADEJO, 2009)

O veículo Volkswagen Polo utiliza esse sensor na roda fônica.

#### 2.4.5 Sensor de fase

O sensor de fase é utilizado para identificar em qual cilindro está ocorrendo a combustão. Ele utiliza o princípio Hall para identificar a passagem dos dentes da roda fônica. Quando o veículo é desligado a ECU grava a última posição da arvore de manivelas, desta forma, no momento da primeira volta do motor o cilindro onde ocorrerá a combustão é identificado. O sinal de identificação é fundamental para que a ECU identifique em qual cilindro está ocorrendo a combustão na primeira volta do motor, sincronizando o mesmo.

#### 2.4.6 Injeção indireta multiponto

O sistema utiliza uma válvula injetora para cada cilindro do motor. A injeção é feita no coletor de admissão logo acima da válvula de admissão. Dessa maneira o arraste causado pela depressão do pistão ajuda na homogeneização da mistura. A injeção de combustível é realizada apenas no cilindro que está admitindo o ar aumentando a economia, desempenho e reduzindo emissões em relação ao sistema de injeção monoponto.

#### 2.4.7 Tempo de injeção

O tempo de injeção é essencial para o funcionamento do motor em todos os regimes de carga, pois em cada rotação do motor o avanço de ignição muda e consequentemente o tempo de injeção. A ECU calcula a quantidade de massa de ar admitida para injetar uma quantidade proporcional de massa de combustível. O tempo total é uma soma do tempo para abrir o bico da válvula, o tempo injetando combustível e o tempo de fechamento da válvula.

Caso a tensão da bateria caia ou varie ocorre uma mudança no tempo de injeção logo, a ECU identifica essa variação e adéqua o tempo.

## **2.5 Sistema de Ignição**

Antigamente os veículos utilizavam um sistema de ignição distribuindo a centelha da vela pelo distribuidor. Esse componente girava uma chapa metálica em sincronia com a árvore de manivelas, desta forma, era possível obter a rotação do motor. A distribuição era feita por um contato que quando se aproximava da chapa, conduzia a energia para vela. Essa chapa tinha janelas que representavam o ângulo de um cilindro para o outro. Nos veículos atuais o distribuidor foi substituído pela roda fônica e a bobina de ignição envia a tensão gerada direto para a vela. O veículo GOL utiliza a estratégia de centelha perdida onde o sistema aciona através do comando (1) os cilindros 1 e 3, e o comando (2) aciona os cilindros 2 e 4.

### **2.5.1 Bobina de ignição**

A bobina de ignição é formada essencialmente por um transformador com núcleo eletromagnético que gera um campo magnético dependendo da corrente que passa pelos filamentos do primário e do secundário. O fluxo magnético no núcleo gera uma tensão maior no secundário, permitindo dessa forma que o transformador atue como um elevador de tensão.

### **2.5.2 Vela de Ignição**

A vela é um componente que necessita ser extremamente resistente, pois ele fica alocado dentro do cilindro gerando a centelha para a queima da combustão na ordem de 0,2mJ, podendo ir até 3,0mJ.

## **2.6 Formação da mistura ar/combustível**

Desde o começo da utilização de combustíveis fosseis como gasolina e diesel, e mais tarde o álcool extraído de material vegetal, a relação deles com o ar vem sendo estudada para que essa mistura se torne cada vez mais homogênea gerando um maior aproveitamento da energia térmica promovida pela combustão.

É indispensável que o sistema de admissão e de injeção trabalhe de forma sincronizada para que a estequiometria não sofra variação, logo, o sistema deve pulverizar o combustível

para uma melhor atomização, e consequentemente, retirar o máximo de desempenho da mistura, evitando os gases tóxicos.

A tabela (3) representa a relação da massa de combustível ideal para a homogeneização da mistura dos combustíveis mais usuais. Essa relação é chamada de estequiometria do combustível.

Combustível	Ar/Combustível [Kg/Kg]
Gasolina Pura (E0)	14,7:1
Gasolina Comum (E27)	13,2:1
Etanol (E100)	9,0:1
Diesel	15,2:1

**Tabela 3: Estequiometria em função dos combustíveis. (Os autores)**

A ECU utiliza uma relação de correção do fator lambda para verificar se a relação ar combustível encontra-se estequiométrica, rica ou pobre. Essa relação é representada pela equação abaixo.

$$\lambda = \frac{A/C_{real}}{A/C_{ideal}}$$

Quando a mistura esta com  $\lambda=1$  a relação encontra-se estequiométrica, com a relação  $\lambda<1$  a mistura esta com excesso de combustível comumente chamada de mistura rica e com a relação  $\lambda>1$  a mistura esta com excesso de oxigênio comumente chamado de mistura pobre. A mistura pobre gera emissões de NOx e CO, por outro lado, a mistura rica gera emissões de HC e CO (ALBALADEJO, 2013).

A massa de combustível pode ser calculada utilizando a massa de ar admitida, o fator lambda da mistura ( $\lambda$ ) e a relação estequiométrica como representado na equação abaixo.

$$Massa\ de\ combustível = \frac{Massa\ de\ ar}{Relação\ estequiométrica\ (composição\ do\ combustível)} * fator\ de\ correção\ (\lambda)$$

## 2.6.1 Emissões

Nos últimos anos no Brasil observa-se uma grande massa de veículos circulando pelas ruas, principalmente nos grandes centros urbanos, onde os maiores problemas são os congestionamentos e a emissão de poluentes. A intensificação da massa de automóveis trouxe como consequência o aumento da degradação do meio-ambiente devido em especial à poluição do ar. Para se ter controle das emissões de gases nos veículos o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, criou os Programas de Controle da Poluição do Ar por

Veículos Automotores – PROCONVE, responsável por automóveis, ônibus, caminhões, máquinas rodoviárias e agrícolas. Para as motocicletas foi criado o PROMOT controle de motocicletas e similares. Os programas tinham função de reduzir emissões e controlar estabelecendo exigências para os veículos, nacionais e importadas.

Os veículos automotores são os principais causadores da poluição do ar, são diversas substâncias tóxicas que podem trazer efeitos nocivos à saúde. A emissão é composta de gases como:

- Óxidos de Nitrogênio (NOx)
- Hidrocarbonetos (HC)
- Monóxido de Carbono (CO)
- Óxidos de Enxofre (SOx)
- Outras substâncias particuladas

As poluições do ar causadas pelos veículos ocorrem devido à combustão incompleta do motor, ou seja, a quantidade de combustível não está proporcional à quantidade de ar que está sendo admitido, esse fator é chamada de Estequiometria. A relação estequiométrica permite relacionar quantidades de produtos e reagentes que atuam em uma mesma reação química. Para dosar a quantidade correta é necessário um cálculo, é nesse momento que a injeção eletrônica atua através de sensores e atuadores calcular a quantidade mais exata possível, buscando a combustão completa e o mínimo de emissões.

A combustão incompleta pode ocorrer de duas maneiras: Mistura Rica e Mistura Pobre.

A mistura pobre é resultado da sobra de combustível na combustão, houve mais partículas de combustível para pouca quantidade de ar, resultando em emissões de NOx e CO.

A combustão rica é resultado da pouca quantidade de combustível para muita massa de ar na combustão, resultando em emissões de HC e CO.

A resultante de uma combustão ideal deve ser H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>.

Existe uma preocupação enorme por parte do governo com relação às emissões de poluentes. Em alguns países, legislações ambientais restringem as emissões nos motores de combustão interna de forma bastante rígida. Normas estabelecidas pelo PRONCOVE

(Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos), por exemplo, estabelecem limites de emissões dos veículos automotores como carros e motocicletas. Estas legislações obrigam os fabricantes a investirem em tecnologias de controle de emissões nos motores de combustão interna, desenvolvendo, por exemplo, a injeção eletrônica, o controle de marcha lenta e sensores mais precisos, diminuindo a queima incompleta de combustível efetuada nos motores, o que é responsável por boa parte dos problemas ambientais e de saúde da população global (CÂMARA, 2006).

## **2.7 Controle da Unidade de Gerenciamento Eletrônico (ECU)**

A ECU necessita utilizar estratégias para controlar o motor do veículo em todos os regimes de carga, ou seja, dependendo da solicitação de carga feita pelo motorista a ECU utiliza sensores e atuadores para melhor atender essa necessidade.

- Partida – Na partida a chave (linha 15) aciona a ECU que verifica o sensor de Fase para identificar a ultima posição do cilindro onde deverá ser feito a combustão. A ECU estima a massa de ar admitida através dos sensores de Pressão e Temperatura e calcula uma massa de combustível mais rica até que o motor se aqueça. Nessa estratégia o controle de emissões da ECU não consegue atingir os mais baixos níveis.
- Aquecimento – A ECU mantém a mistura rica para aquecer rapidamente o motor monitorando a temperatura do líquido de arrefecimento. As emissões são reduzidas também pelo catalisador.
- Marcha lenta – Nessa estratégia a ECU controla por meio da válvula borboleta a abertura da mesma, pois, no Volkswagen Gol e Polo não há atuador (by-pass). A válvula borboleta fica com uma passagem mínima para garantir a marcha lenta em caso de problemas.
- Aceleração – Na aceleração a ECU identifica a solicitação do condutor e aciona a válvula borboleta para abrir e admitir uma maior quantidade de massa de ar para injetar uma massa de combustível que entregue a potência exigida. Através do sensor de rotação é possível controlar o tempo de injeção e o avanço de ignição. As emissões se mantêm controladas.

- Plena carga – Em plena carga o condutor necessita da potência máxima do veículo logo, a ECU enriquece a mistura conforme a configuração feita via software.
- Desaceleração – Nesse regime de carga existe duas estratégias possíveis o dash-pot que é o fechamento gradual da válvula borboleta evitando solavancos no motor e o cut-off que é o corte da injeção feita apenas com alta rotação e motor aquecido. A ECU usa o dash-pot para tentar controlar as emissões

### 2.7.1 Sensor de detonação KNOCK

O sensor de detonação também conhecido como sensor knock é constituído de um piezoelétrico capaz de converter energia mecânica em pequenos sinais elétricos. As moléculas do sensor são polarizadas em condições de repouso onde não há uma orientação particular. Quando o cristal é submetido a uma colisão, vibração ou pressão ocorre a orientação das moléculas conforme o nível dos eventos mecânicos. Devido esta orientação ocorre a produção de tensão nos cristais.



**Figura 20:** Organização das moléculas causada pela detonação. ([www.flaviocursos.com.br](http://www.flaviocursos.com.br), acessado dia 15/10)

Quando ocorre a faísca na vela de ignição junto com a mistura ar/combustível e a alta pressão no cilindro, ocorre à combustão. A chama gerada tem uma velocidade de expansão que depende de fatores como temperatura e propriedades geométricas.

A velocidade de queima aumenta conforme a intensidade de compressão, temperatura e turbulência da mistura na câmara. A velocidade de expansão da chama se altera no início da queima onde o tempo de chama é menor. Portanto para obter o ponto exato de pressão máxima e tempo de propagação exata é necessário adiantar o ponto de ignição para aproveitar a melhor potência e torque no motor. Após o pico de pressão rapidamente decresce devido a dispersão do calor.

Com o aumento da rotação e consequentemente aumento da turbulência dentro da câmara pela mistura ar/combustível somada à pressão do êmbolo (PMI á PMS) a vela de ignição é exigida cada vez mais ao ponto em que os intervalos de acionamentos diminuem. Devido ao calor de todo o trabalho gerado, a temperatura chega em média 750° a 800°, e devido a esse nível alto de temperatura ocorre um fenômeno conhecido como reação pré-inflamatória.

Se a mistura alcançar condições críticas de reações do avanço da chama, por consequência se inflama espontaneamente causando um aumento elevado da pressão, causando o que se chama de "Batida de pino" que são transmitidos sobre o motor em forma de vibrações. A principal consequência para o motor é a perda de potência e sobrecargas térmicas nas peças do veículo, comprometendo severamente a vida útil do motor.

Como é possível observar no gráfico da figura 21, após o momento da ignição quando ocorre à detonação o sinal detecta a batida do pino mantendo a pressão mais elevada por mais tempo. No momento da detonação espontânea a propagação da chama ocorre antecipadamente devido a temperatura e pressão elevada na câmara de combustão, sendo que o sensor de detonação na parte externa da câmara de combustão identifica a vibração causada por este fenômeno.

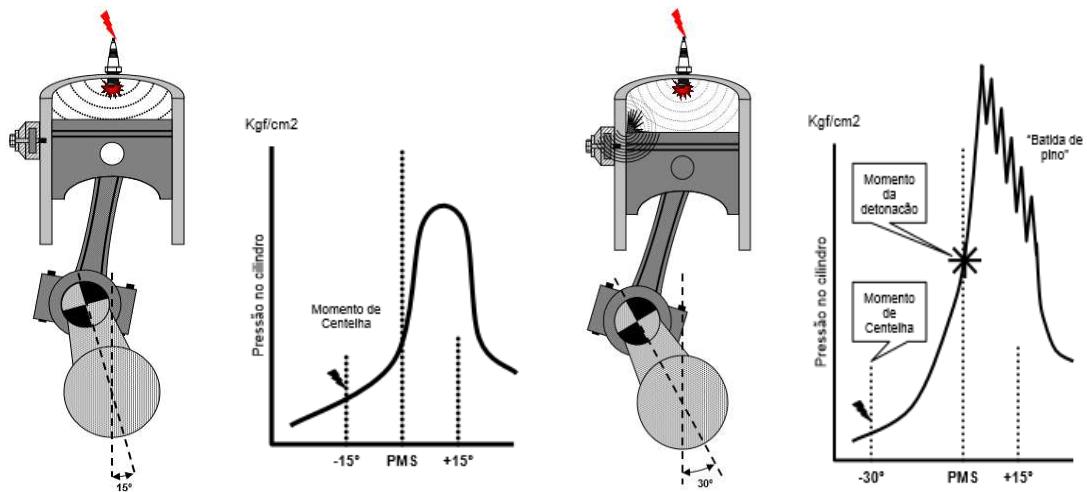


Figura 21: Representação da detonação. ([www.flaviocursos.com.br](http://www.flaviocursos.com.br), acessado dia 15/10)

A detonação é um processo de combustão incorreta que ocorre dentro da câmara e as principais causas para que ocorra são:

- Temperatura elevada
- Componentes mecânicos gastos
- Gasolina adulterada
- Ponto de ignição avançado demais
- Mistura pobre
- Vela de ignição sem as especificações corretas

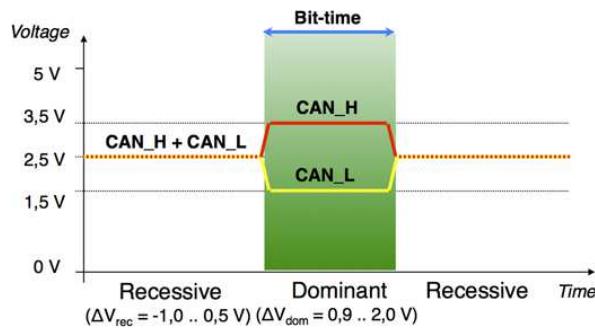
Ou seja, a detonação é uma contrapressão na câmara de combustão em oposição a chama, causando uma força em cima do êmbolo, que, em geral, pode atingir picos de pressão na ordem de 250,00Kgf/cm<sup>2</sup>, onde em uma explosão ideal a pressão é na ordem de 90Kgf/cm<sup>2</sup>.

## **2.8 Tipos de arquitetura**

Atualmente o veículo utiliza a rede CAN para a comunicação dos módulos do mesmo. O sistema de OBD utiliza essa rede para caso ocorra um erro informar o usuário.

### **2.8.1 Rede CAN**

Nos veículos atuais há um grande número de unidade de controle eletrônica e a tendência é esta quantidade aumentar cada vez mais. Com isso tem a necessidade de intenso intercâmbio de comunicação de dados e informações para que cada módulo tenha condições de interagir com os outros. Para realizar as trocas de informações entre os módulos do veículo é utilizado a rede C.A.N (*Controller Area Network*), sistemas de barramentos seriais padrão veicular, onde através de um protocolo é possível enviar e receber dados. Cada rede tem sua velocidade de transmissão, todo o barramento deve estar sincronizado com a mesma velocidade para receber e enviar dados. Umas das grandes vantagens da utilização da CAN é a redução de cabos no veículo. A comunicação é realizada através de dois barramentos chamados: CAN *high* e CAN *low*.



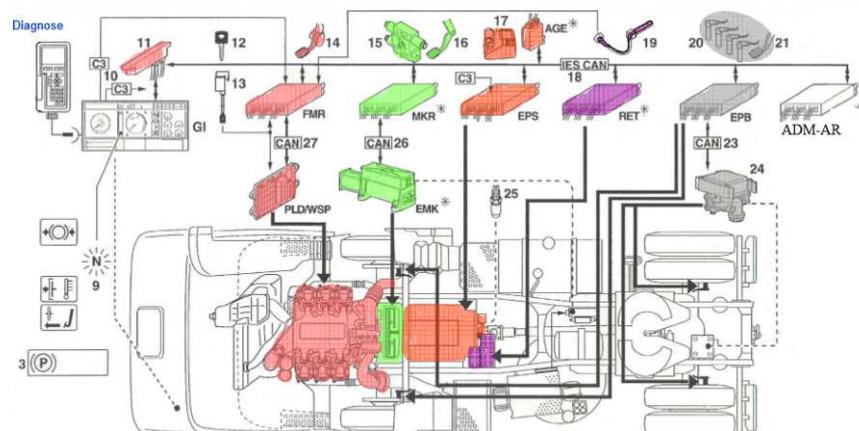
**Figura 22: Sinal da rede CAN.** ([www.can-cia.org/](http://www.can-cia.org/), acessado dia 15/10)

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 nós esperam receber a mensagem, porém as outras unidades de mesmo nível de prioridade conseguem assumir o controle do barramento também. A vantagem desse tipo de topologia é caso haja uma falha em um dos nós os outros conseguem manter a comunicação entre eles sem prejudicar todo o acesso dos demais.

Para cada aplicação existe uma arquitetura mais adequada de comunicação, inclusive para sistemas de diagnose, que são:

-Arquitetura centralizada: Apenas um único sistema de diagnose, limitação de expansão e grandes números de cabos.

-Arquitetura distribuída: Quantidade reduzida de cabos, facilidade de instalação, único sistema de diagnose, necessitando de um software de controle e taxa de transmissão não definida.



**Figura 23: Arquitetura de comunicação de uma rede CAN.** (Hodel, 2016)

### 3 HARDWARE

A proposta do projeto é desenvolver um hardware robusto com capacidade de gerenciar os motores a combustão quatro cilindros com injeção indireta.

Tendo em vista o aumento contínuo de sistemas eletrônicos embarcados e a ausência de profissionais especializados no mercado, a proposta de nosso curso é formar profissionais especializados na área automotiva. Utilizando as versões anteriores (MOSCARDINI, 2014; PEREIRA, 2013) de hardware com melhorias e atualizações no circuito, desenvolvemos a programação realizada a partir dos projetos anteriores.

#### 3.1 Descrição do Hardware

O hardware foi desenvolvido tomando como base os conhecimentos adquiridos no projeto de (PEREIRA C. F., 2013), utilizando microcontroladores da Freescale para o gerenciamento do VW POLO 2.0L; (MOSCARDINI & MATA, 2014), utilizando PIC da Microchip para gerenciamento do mesmo veículo, mostradas na figura (24).

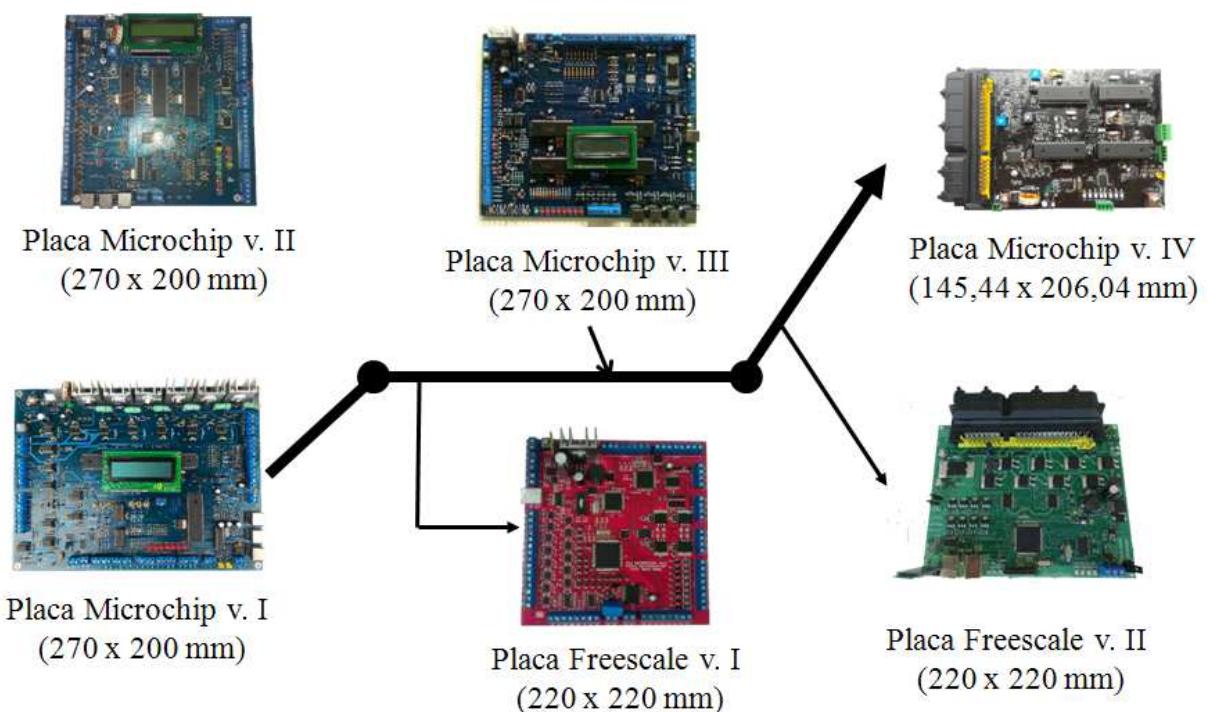
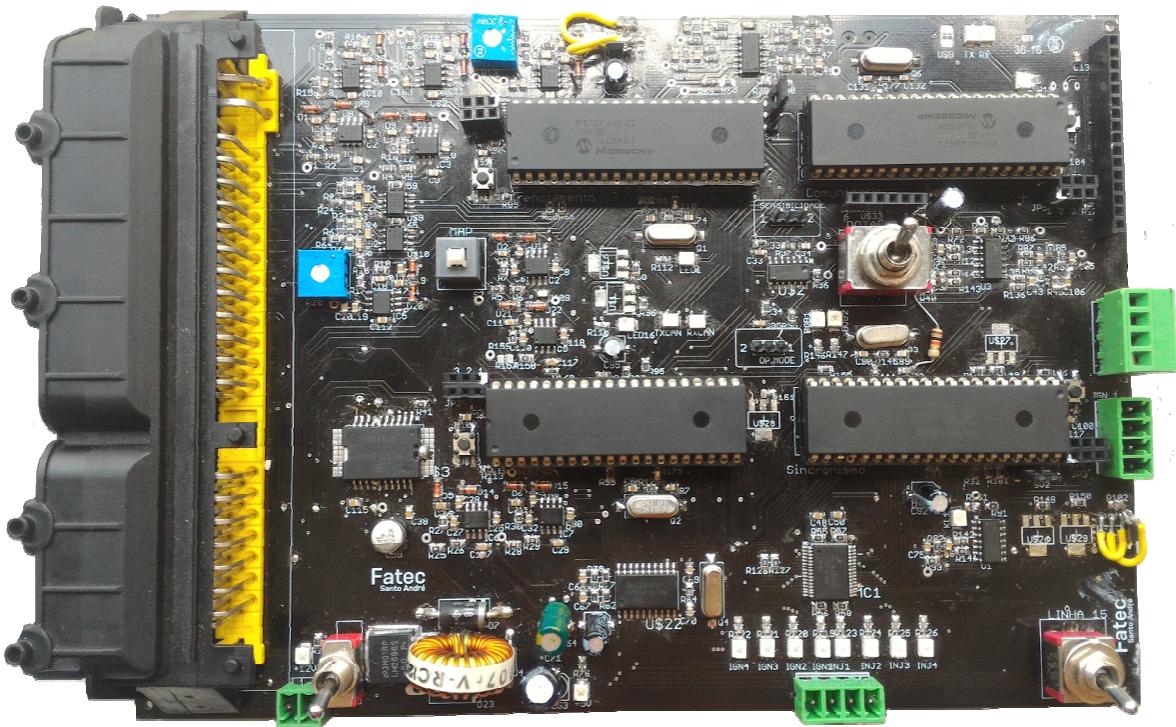


Figura 24: Versões anteriores com microcontrolador PIC e Freescale. (Os autores)

A figura (25) apresenta a ECU desenvolvida neste projeto.



**Figura 25: ECU versão IV com microcontroladores PIC. (Os autores)**

### **3.2 Veículo Utilizado**

O veículo utilizado no projeto é o Volkswagen GOL 1.6L FLEX 2008, disponibilizado pela FATEC Santo André para afins de estudos. A versão anterior da ECU foi desenvolvida para o Volkswagen Polo Sedan 2.0L 2004. As informações de desempenho do GOL, disponibilizadas pela Volkswagen no manual do veículo são:

<b>Ficha Técnica GOL G5 Volkswagen 1.6L 2009 FLEX</b>	
Motor EA - 111 VHT - Álcool /Gasolina	
ECU Original Multiponto Bosch ME 7.5.30	
Injeção multiponto sequencial (MPFI) 1-3-4-2	
Ignição banco a banco	
4 Cilindros 8 Válvulas	
Taxa de Compressão 12,1 : 1	
Cilindrada de 1598 cm <sup>3</sup>	
Diâmetro x Curso 76,5 x 86,9 mm	
<b>Desempenho e consumo</b>	
<b>GASOLINA</b>	<b>ÁLCOOL</b>
Velocidade máxima 190 km/h	Velocidade máxima 192 km/h
Aceleração de 0 a 100 km/h 10,1 s	Aceleração de 0 a 100 km/h 9,8 s
Consumo urbano 11,2 km/l	Consumo urbano 8,5 km/l
Consumo rodoviário 16,8 km/l	Consumo rodoviário 13,2 km/l
Torque Máximo 150,92 N/m @ 2500 rpm	Torque Máximo 152,88 N/m @ 2500 rpm
Potência Máxima 101 cv @ 5250 rmp	Potência Máxima 104 cv @ 5250 rmp

**Tabela 4:** Especificações do motor. (Ficha técnica Volkswagen Gol G5 1.6L TOTAL FLEX)



**Figura 26:** Veiculo GOL 1.6L utilizado no projeto. (Os autores)

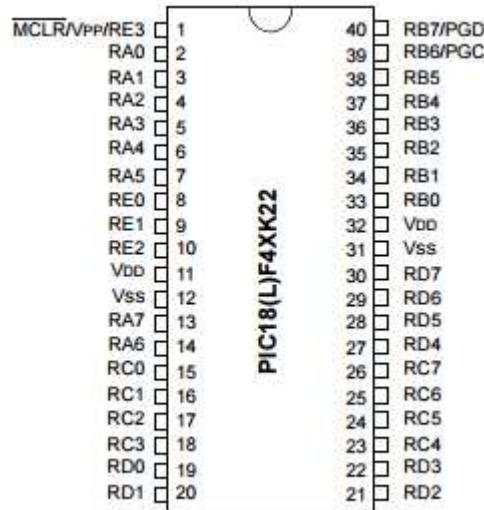
### **3.3 Descrição do microcontrolador, blocos e circuitos do hardware**

O microcontrolador utilizado da família 18F da Microchip no projeto foi o 18F46K22, pois mostrou-se como mais adequado em suas funcionalidades para aplicação. Um dos principais motivos da escolha do microcontrolador é a possibilidade de grandes números de entradas analógicas disponíveis para leituras de mais sensores. Cada bloco representa seu respectivo microcontrolador

<b>PIC18F46K22</b>	
Mem. Flash (Bytes)	64K
SRAM (Bytes)	3896
EEPROM (Bytes)	1024
I/O	36
A/D Channels	30
CCP	2
ECCP (Full Bridge)	2
ECCP (Half Bridge)	1
SPI	2
I2C	2
USART	2
Comparador	2
8-bit Timer	3
16-bit Timer	4

**Tabela 5:** Ficha técnica do microcontrolador 18F46K22. (Os autores)

O PIC 18F46K22 será utilizado no bloco de gerenciamento, sincronismo, comunicação e admissão. Todos trabalharão com cristais de 10MHz com PLL (multiplicador de frequência) de 4 vezes mais, resultado em um clock de trabalho de 40MHz para melhor processamento do sistema.



**Figura 27: PIC18F46K22.** (extraído de DATASHEET PIC 18F46K22, 2012)

### 3.3.1 Bloco de Gerenciamento

O bloco de gerenciamento como sugere o nome, é responsável por controlar todo o sistema, através dele alguns sensores condicionados por um circuito externo enviam sinais que serão processados pelo sistema de gerenciamento, bem como enviar dados para os outros blocos. Esta comunicação é realizada através de SPI (*Serial Peripheral Interface*) disponibilizada pelo microcontrolador, através deste tipo de comunicação é possível trocar informações com todos os PIC's no hardware, criando um protocolo para cada informação. O gerenciamento realiza os cálculos que servirão de parâmetros para todo o sistema.



**Figura 28: Bloco do PIC de gerenciamento. Sinais de entrada e de saída. (Os autores)**

### 3.3.2 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 no motor” são enviadas pelo bloco de gerenciamento.

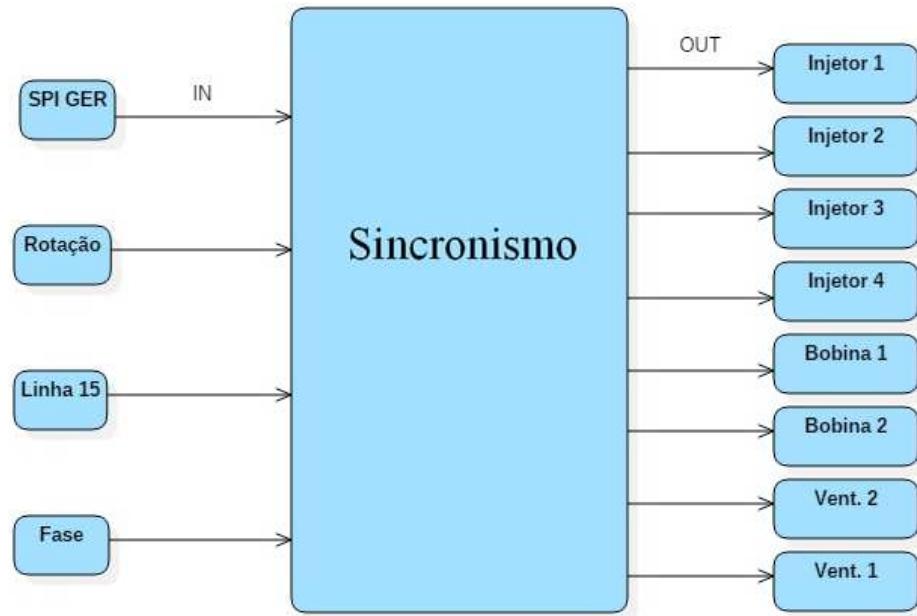


Figura 29: Bloco do PIC de sincronismo. Sinais de entrada e de saída. (Os autores)

### 3.3.3 Bloco de Admissão

Com o valor calculado pelo bloco de gerenciamento, o bloco de admissão controla a válvula borboleta, sincronizando a leitura do pedal do acelerador com o controle de PWM (*Pulse With Modulation*) do sensor TPS para controlar o servo motor da válvula.

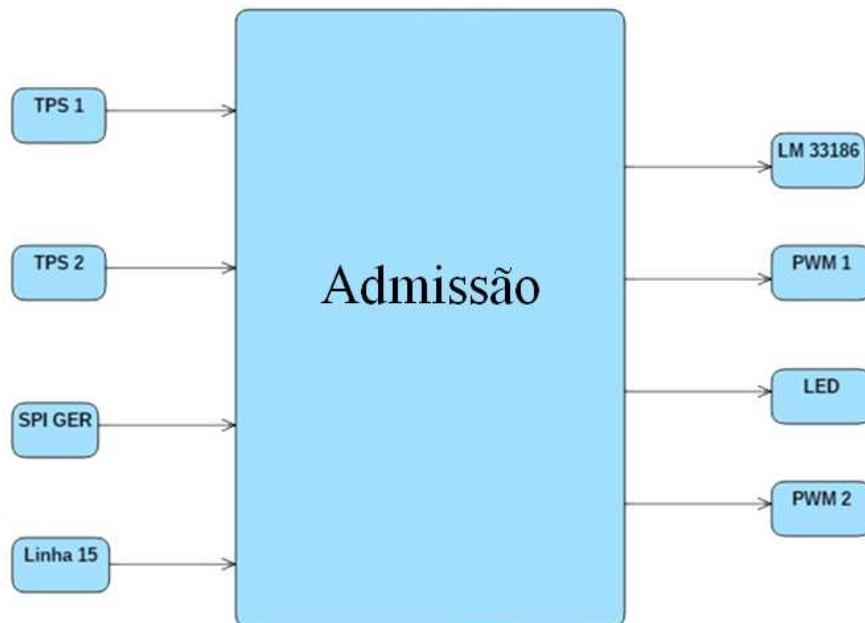


Figura 30: Bloco do PIC de admissão. Sinais de entrada e de saída. (Os autores)

### 3.3.4 Bloco de Comunicação

O bloco de comunicação é responsável por enviar dados aos sistemas eletrônicos do veículo por meio da rede CAN, os quais são recebidos pelo painel de instrumentos do veículo. Este bloco também faz a parte do sistema de diagnose que se comunica com uma interface USB. Conectado ao seu microcontrolador está um display LCD 16x2 para auxílio em testes. Para realizar a comunicação CAN do veículo utilizamos um *transceiver* MCP2515, CI específico para uso da rede CAN.

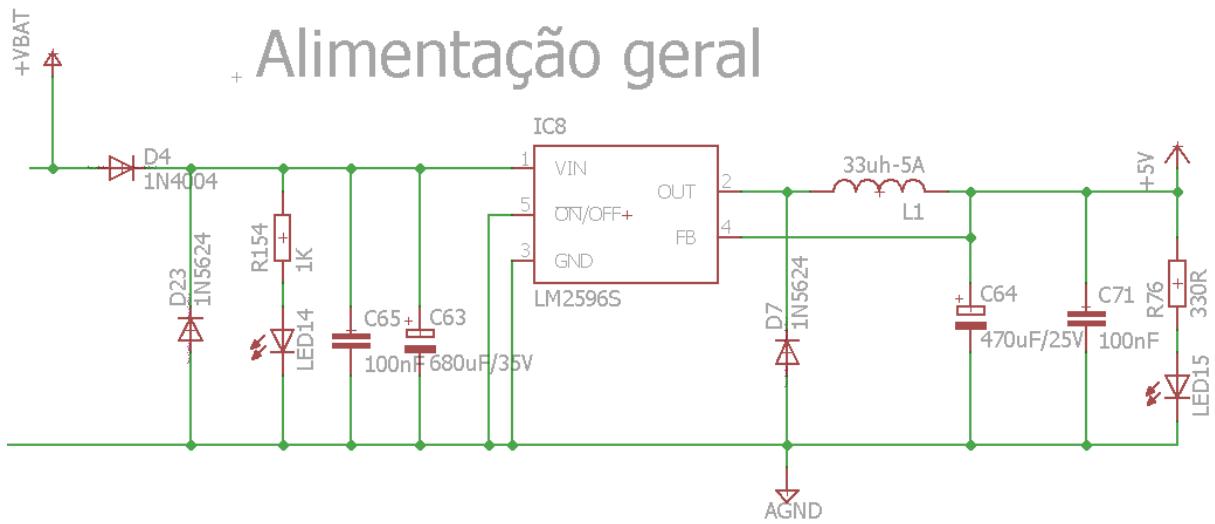


Figura 31: Bloco do PIC de comunicação. Sinais de entrada e de saída. (Os autores)

### 3.3.5 Circuito de alimentação geral

O circuito de alimentação conta com um CI LM2596S que regula a tensão vinda da bateria (entre 12V até 14V) para 5V, suportando até 3A de consumo, além de um borne de alimentação para teste em bancada que está interligado com a alimentação e aterrimento nos respectivos pinos do conector do chicote do veículo.

O circuito conta com um diodo retificador que limita a tensão de entrada e um indutor tipo toroidal que filtra o sinal de saída, capacitores para retificar a entrada e a saída do regulador de tensão e dois led's que indicam a presença de tensão na linha 15. Foi adicionado ao circuito diodos de “*load dump*” que limitam as tensões acima de 40V, que é a tensão máxima que o CI suporta. A placa também conta com LED para indicar a presença das tensões de 12V (L15) (MOSCARDINI & MATA, 2014).



**Figura 32: Esquema elétrico do regulador de tensão. (Os autores)**

### 3.3.6 Circuito do sensor knock

O TPIC8101 é utilizado para analise do sinal gerado pelo sensor de detonação no bloco do motor. Isto é feito por meio de dois canais que são selecionados por uma rede SPI. O sinal elétrico é amplificado na entrada e processado por um filtro passa faixa extraíndo as frequências de interesse e eliminando qualquer ruído de fundo associado à combustão. A forma de onda é retificada e integrada, gerando o sinal de saída que pode ser convertido em sinal analógico, o qual deve ser interligado a um conversor A/D para poder ser processado. Outra possibilidade seria efetuar a leitura do sinal digital diretamente pelo microcontrolador através de uma entrada digital.

# Digital Knock

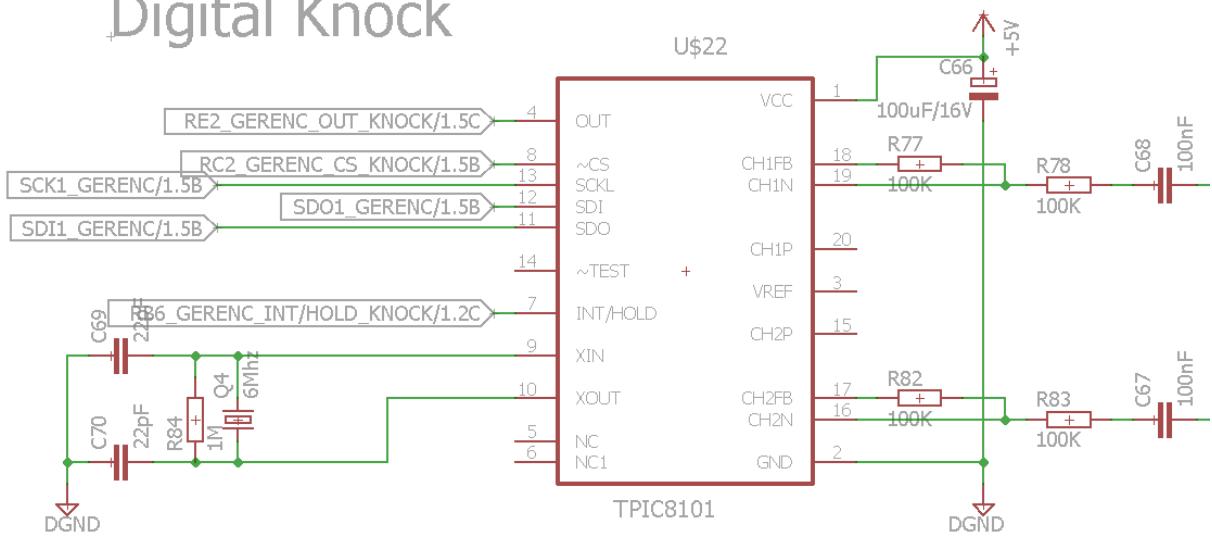


Figura 33: Esquema elétrico do sensor Knock. (Os autores)

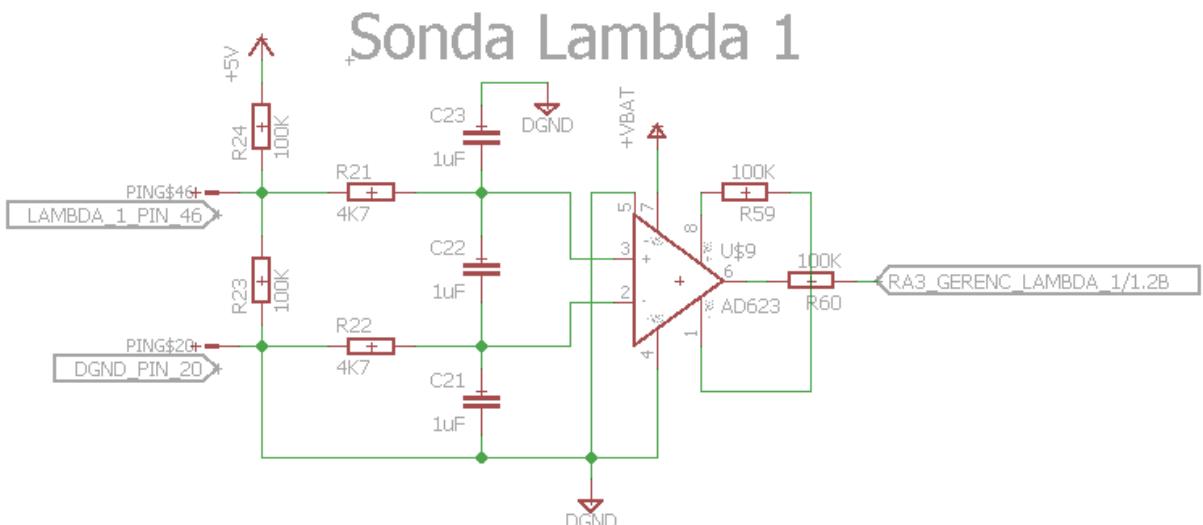
Este sensor não está sendo utilizado neste projeto.

### 3.3.7 Circuito da Sonda Lambda

O sensor de oxigênio mede o nível de oxigênio dos gases de escape e envia esse sinal para o CI AD623 que condiciona esse sinal através da temperatura em que o sensor se encontra.

Utilizando um divisor de tensão ( $100\text{K}\Omega$ ) é possível obter uma tensão na entrada do sensor de 2,5V. À medida que o sensor aquece essa resistência diminui e consequentemente a tensão também, logo, o sensor atinge seu *range* de funcionamento (PEREIRA B. S., 2015).

O hardware conta também com o segundo sensor de oxigênio verificando a eficácia do catalisador.



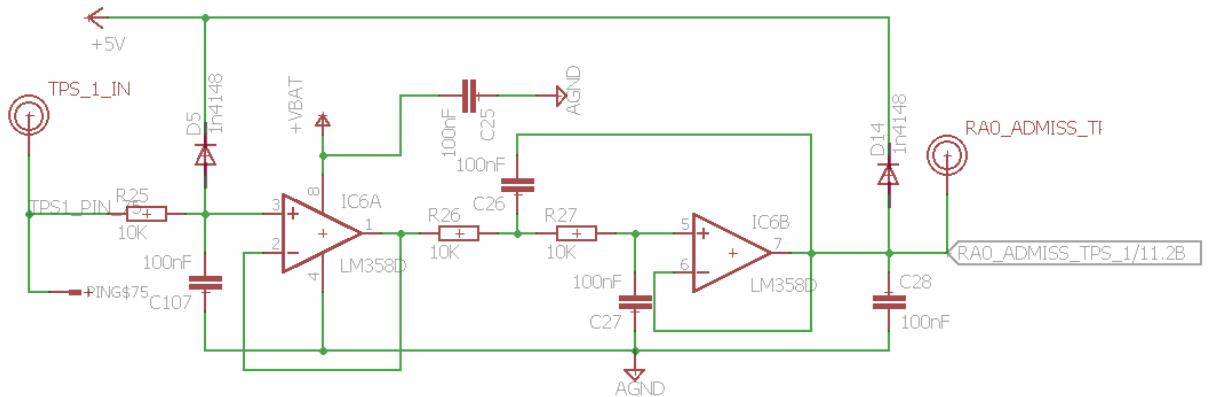
**Figura 34:** Esquema elétrico do circuito do sensor lambda (pré e pós catalisador). (Os autores)

Este sensor não está sendo utilizado neste projeto.

### 3.3.8 Condicionadores Analógicos

Os condicionadores analógicos possuem filtros ativos analógicos *Salent Key* de segunda ordem passa baixa, com frequência de corte projetada para aproximadamente 160 Hz. O amplificador operacional configurado na topologia *salent key* deve possuir uma banda passante (BW) dez vezes maior que a frequência de corte para permanecer com ganho unitário ( $A_v = 1$ ) (MOSCARDINI & MATA, 2014).

Foram utilizados os condicionadores de projetos anteriores (MOSCARDINI & MATA, 2014) e (PEREIRA C. F., 2013) que contam com filtros na entrada dos amplificadores na configuração “*pull-up*” alterando o sinal de alto (5V) para baixo (0V) quando um sinal é inserido na entrada do circuito identificando assim a falta de sinal por software. Os amplificadores (LM358) estão configurados como seguidores de tensão casando a impedância vinda do sensor com o microcontrolador. O circuito ainda conta com grampeadores na entrada e na saída dos condicionadores limitando a tensão em 5,7V e pinos para a medição de sinais. Os circuitos de Pedal\_1, Pedal\_2, Sensor de Pressão A/C, TPS\_1 e TPS\_2 estão representados na figura (35).

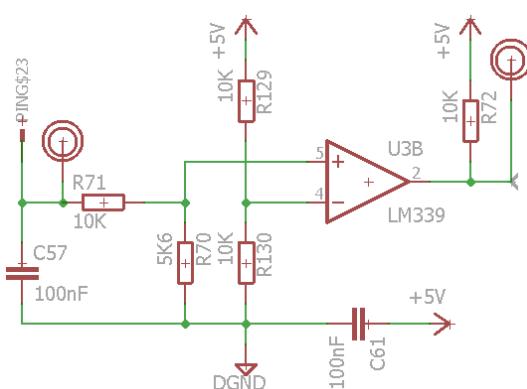


**Figura 35: Esquema elétrico dos condicionadores analógicos. (Os autores)**

Os condicionadores de Temperatura da Água e Temperatura do Ar contam com um potenciômetro antes do grampeador na entrada do operacional com o intuito de formar um divisor de tensão permitindo, desta forma, variação do sinal. Utilizamos no MAP uma chave pois nosso projeto prevê o uso da ECU em outro veículo onde a pinagem do conector é diferente. A bateria e o alternador contam com um divisor de tensão (bateria: 10k e 5k6; alternador: 3k6 e 1k) na entrada para atenuar a tensão que pode chegar a 14V.

### 3.3.9 Condicionadores Digitais

Os condicionadores digitais contam com um divisor de tensão (R129 e R130) ilustrado na figura 36, que atenua a tensão de referência para 2,5V. Quando essa tensão é maior que essa a referência o valor na saída do operacional (LM339) será de 5V (sinal alto = 1) e quando for menor a saída será 0V (sinal baixo = 0). A saída do circuito conta com um resistor de “pull-up” (R72). Os circuitos de embreagem, combustível, freio\_1, freio\_2, botão A/C, velocidade e fase estão representados na figura (36).



**Figura 36: Esquema elétrico dos condicionadores digitais. (Os autores)**

### 3.3.10 Condicionador de Rotação

O circuito condicionador de rotação conta com os dois tipos de rotação o analógico e o digital, os quais podem ser selecionados por uma chave. Implementamos os dois pois o veículo Volkswagen Gol utiliza um sensor de efeito hall, não necessitando passar pelo “quadrador” de sinais (LM1815) pois o sinal de saída do sensor já está quadrado passando apenas por um condicionador digital. Já o Volkswagen Polo utiliza um sensor de relutância que envia um sinal analógico utilizando esse CI (LM1815) para quadrar o sinal e condicionar o mesmo. Desta forma foi possível adaptar o hardware para os dois veículos. A figura (37) apresenta o circuito do condicionador de rotação utilizado.

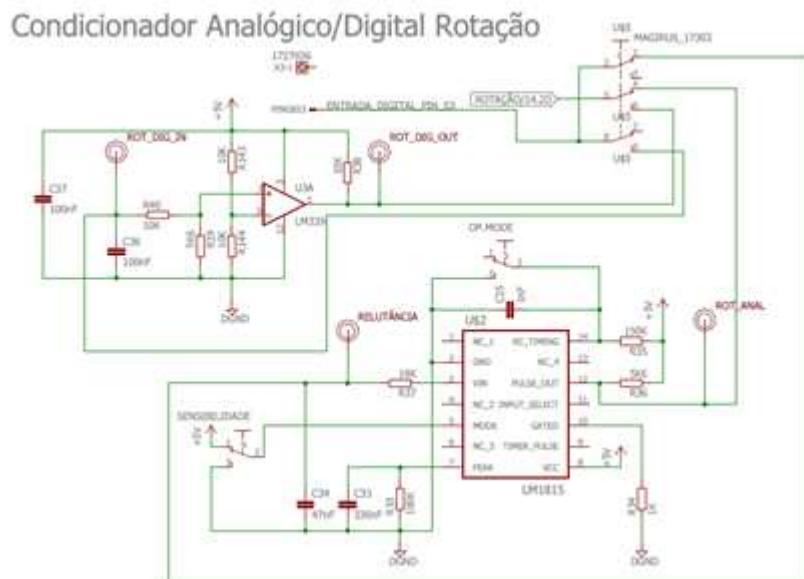
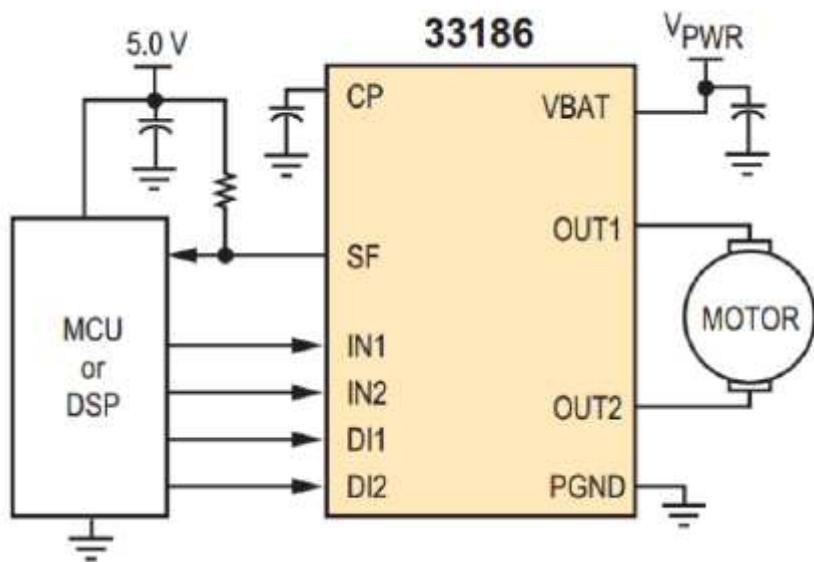


Figura 37: Esquema elétrico do condicionador de rotação. (Os autores)

### 3.3.11 Circuito da Válvula Borboleta

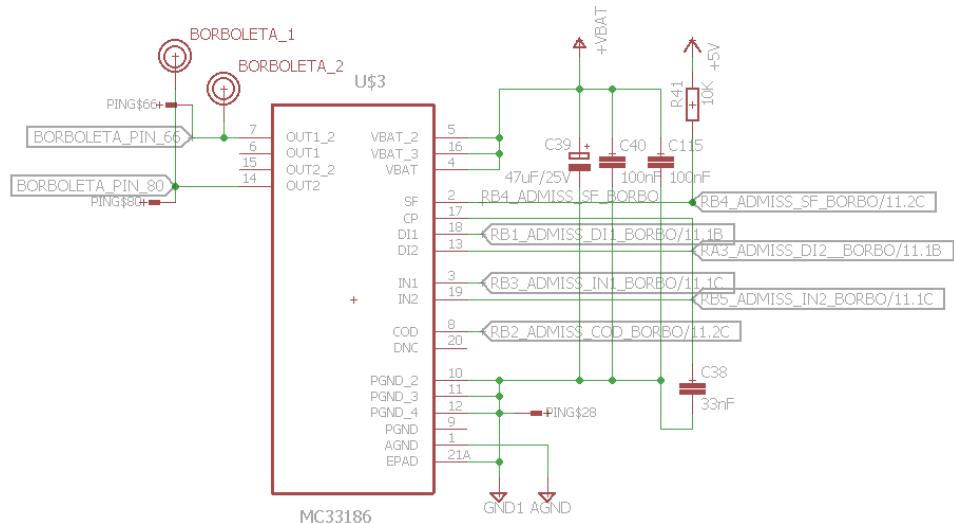
A válvula borboleta é um sistema responsável por admitir e controlar o ar externo para o coletor de admissão do motor. A abertura desta válvula tem relação direta com a modulação do pedal do acelerador. Utilizamos uma interface para controlar os pulsos de PWM através do bloco de admissão. Este motor drena correntes elétricas na ordem de 5Amperes. Utilizamos o CI da Freescale (MC33186) por ser robusto, para o controle do motor (MOSCARDINI & MATA, 2014).



**Figura 38:** Exemplo de aplicação CI MC33186 (extraído de FREESCALE, 2011).

A figura (39) apresenta a interface desenvolvida para este projeto.

### Controle da Válvula Borboleta

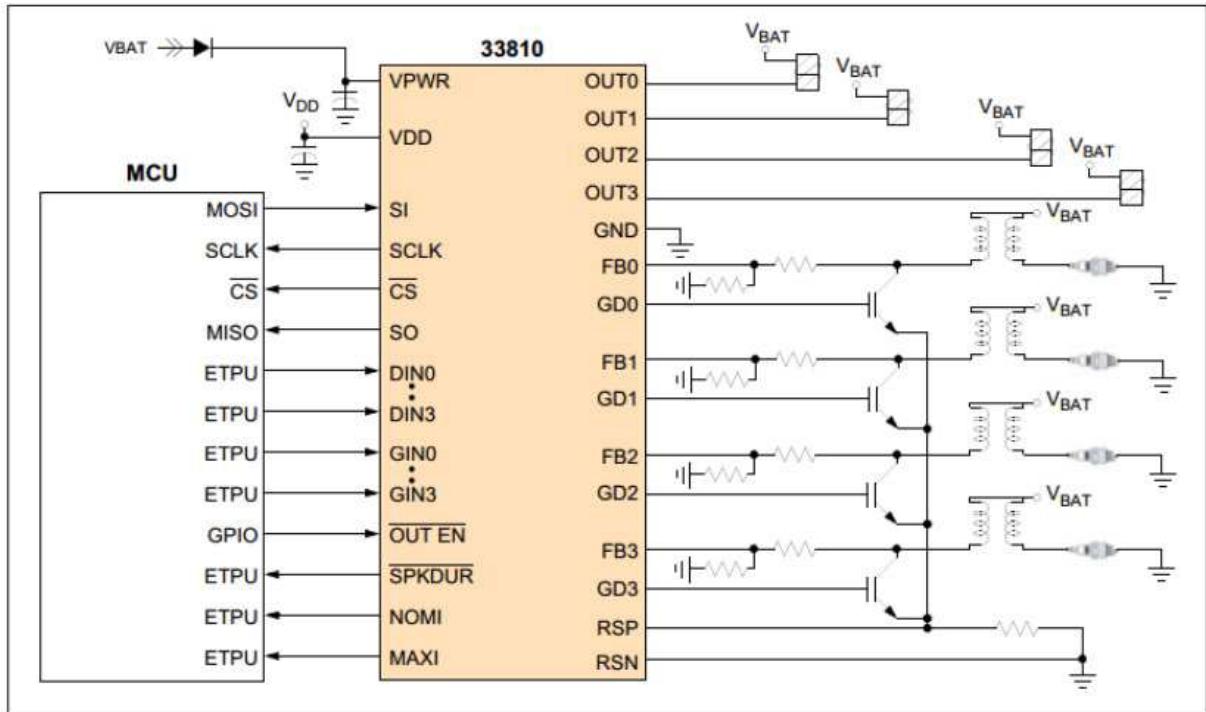


**Figura 39:** Esquema elétrico do circuito da interface da válvula borboleta. (Os autores)

### 3.3.12 Circuito de Injeção e Ignição

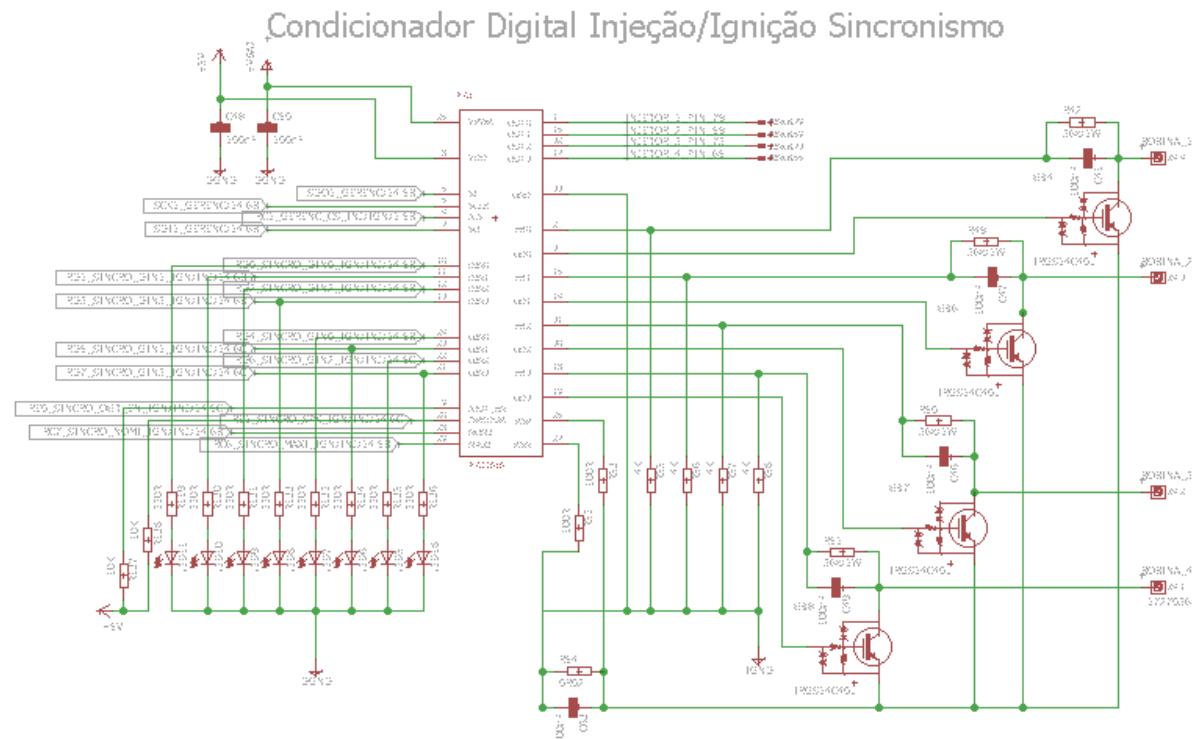
Segundo (MOSCARDINI & MATA, 2014) este circuito é responsável por realizar a interface entre a válvula injetora de combustível e o microcontrolador. Utilizamos esta

configuração para assegurar que não ocorram danos na ligação. A figura (40) apresenta o circuito utilizando o CI MC33810 como a interface de injeção e ignição.



**Figura 40:** Exemplo de aplicação do MC33810 (Extraído de FRESCALLE, 2008).

Este driver pode ser configurado via SPI do sincronismo e seu sinal de comando para acionar o driver da bobina é oriundo do mesmo microcontrolador.

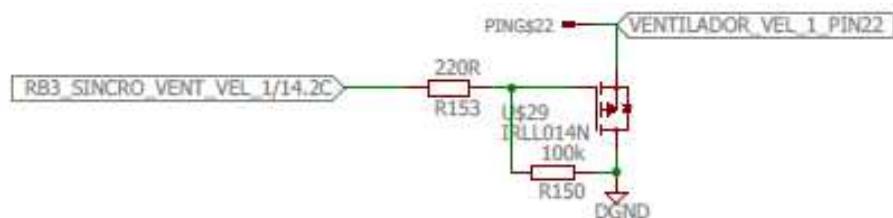


**Figura 41:** Esquema elétrico do circuito da interface da Injeção e Ignição. (Os autores)

Os leds a esquerda na figura (41) apresentam o sinal de injeção e ignição servindo para a análise em tempo real em testes tanto em bancada quanto no carro. A utilização desses leds de indicação foi indispensável no projeto anterior (MOSCARDINI & MATA, 2014) logo, adotamos esta mesma configuração no atual projeto.

### 3.3.13 Relés

Foi desenvolvido um pequeno circuito que chaveia o a bobina do relé por meio de um comando (5V) oriundo do microcontrolador. Essa tensão polariza o transistor que aciona o relé, fazendo com que o mesmo conduza corrente elétrica, acionando a bobina.



**Figura 42:** Esquema elétrico dos Reles. (Os autores)

## **3.4 Circuitos de comunicação**

Desenvolvemos três tipos de circuitos para a comunicação com o veículo sendo a rede CAN, enviando parâmetros como temperatura do motor e rotação para o painel de instrumentos, comunicação USB, enviando parâmetros para a interface IHM na plataforma PC/Laptop e o modulo *bluetooth* onde é possível receber parâmetros sem a necessidade de cabos ligados a ECU.

### **3.4.1 Rede CAN**

A rede CAN conta com o MCP2515 para realizar o controle deste sistema de comunicação, recebendo e enviando mensagens pela linha CAN e se comunicando com o microcontrolador através de uma rede SPI. O CI é formado por três blocos principais:

- O modulo CAN que contem protocolos, máscaras, filtros, transmissão e recepção.
- O controle lógico e registradores que são utilizados para configurar o dispositivo e sua operação.
- Bloco de protocolo SPI.

A mensagem é carregada nos registradores de controle e transmitidos utilizando controle via SPI. Todas as mensagens são verificadas e o status de erro é lido pelos registradores apropriados movendo as mensagens para os registradores do *reciever*.

Existem pinos de interrupção que indicam a validade da mensagem e o carregamento nos registradores do *reciever*. Todos os registradores utilizam SPI para comandos de escrita ou leitura.

O CI PCA82C251 é utilizado como uma interface entre o controlador CAN e a rede Física providenciando diferentes capacidades de transmissão para a rede e o controlador, operando em três modos diferentes. O modo de controle “slope” permite o uso de dois cabos trançados para reduzir o RFI, considerando que o estado alto e baixo do “slope” deve ser limitado. Os estados podem ser programados utilizando um resistor conectado do pino 8 para o terra. O “slope” é proporcional a corrente de saída no pino 8. Em caso de curto circuito na bateria do veículo o CI conta com um circuito limitador de corrente protegendo a saída do transmissor e proteção térmica protegendo seu funcionamento. As linhas CAN H e CAN L também são protegidas contra transientes.

# Circuitos Comunicação

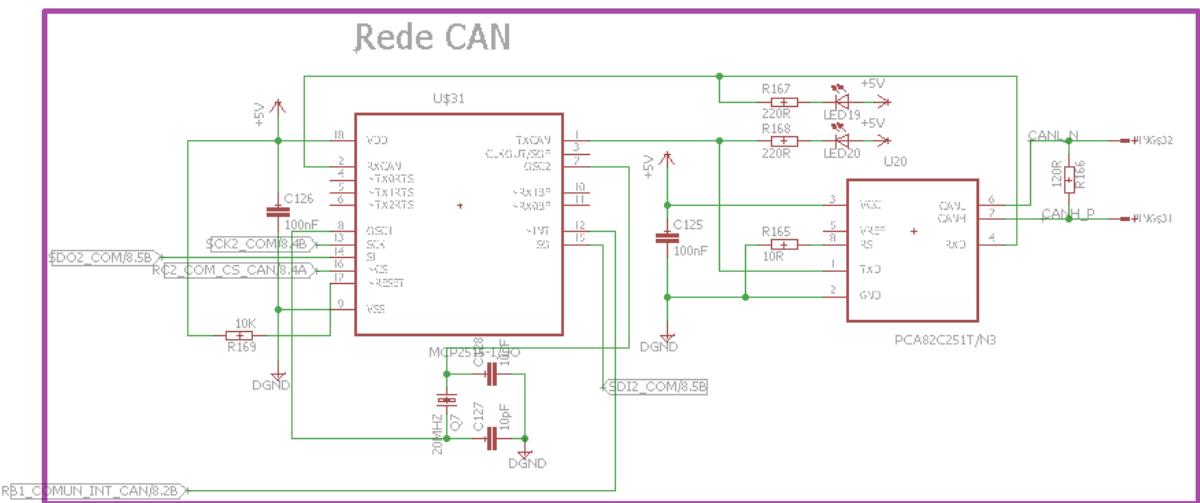


Figura 43: Esquema elétrico da interface de comunicação via rede CAN. (Os autores)

## 3.4.2 Bluetooth

O modulo HC-05 utiliza a banda civil para comunicação, o mestre e o escravo podem ser trocados, o dispositivo mestre pode se conectar com o *slave* automaticamente.

## Modulo Bluetooth

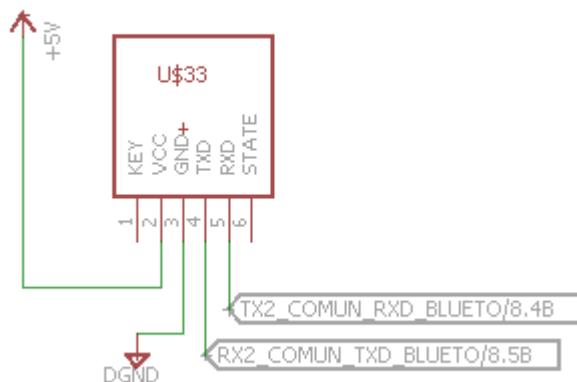


Figura 44: Modulo do *bluetooth* e suas pinagens. (O autores)

### 3.4.3 USB

O CI FTR232R é um dispositivo que faz a interface de uma porta USB para UART não necessitando de cristal externo e contendo uma memória interna EEPROM. Foi designado para funcionar utilizando o mínimo possível da largura de banda disponível.

A memória interna EEPROM é usada para guardar dados do chip e configurações do USB. Dispõe de saídas para leds informando a transmissão e a recepção de informações.

## Comunicação USB

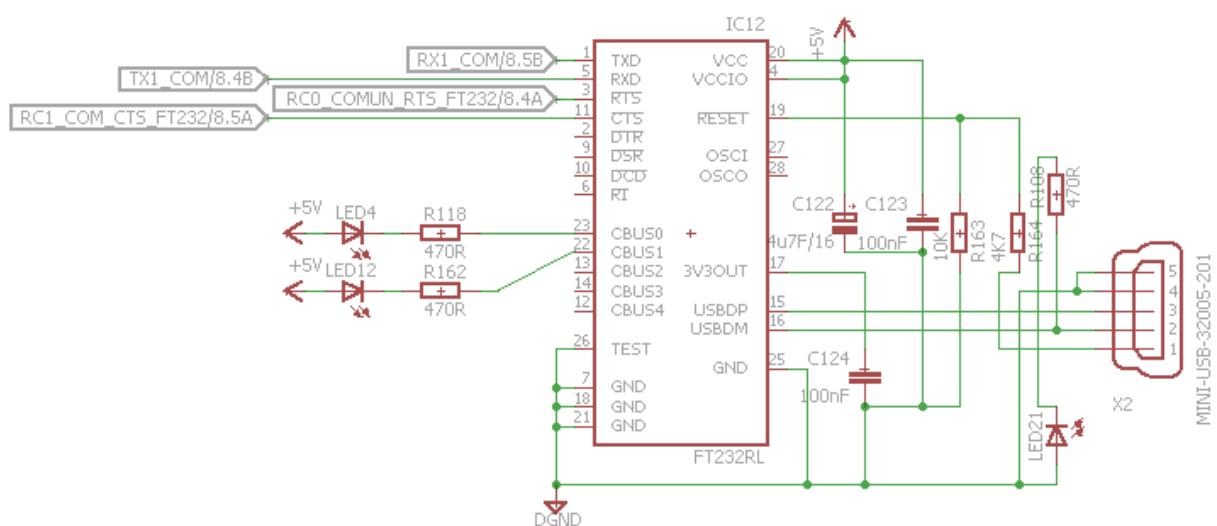


Figura 45: Esquema elétrico da interface de comunicação via USB. (Os autores)

## **4 SOFTWARE**

Utilizamos a plataforma gratuita MPLAB IDE da Microchip com o compilador XC8. A versão anterior do projeto (MOSCARDINI & MATA, 2014) utilizou o compilador CCS. Foi feita a mudança de compilador, pois o CCS configura registradores de forma “fechada” não dando acesso para o usuário verificar como o compilador funciona. Isso torna a didática limitada à utilização das funções do compilador. Já no XC8 a configuração dos registradores deve ser feita pelo usuário exigindo um maior conhecimento do “*datasheet*” e do hardware em questão. Dessa maneira é possível obter um maior controle sobre o software e otimizar o mesmo.

### **4.1 Gerenciamento.**

O bloco do gerenciamento recebe os sinais vindos dos condicionadores dos sensores e envia o acionamento para os atuadores. 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. O gerenciamento recebe o sinal de rotação e a partir da contagem dos dentes da roda geradora de pulsos ele identifica a falha efetuando as contas e enviando via SPI os acionamentos para o PIC de sincronismo repetindo essa tarefa a cada volta ou a cada sinal de identificação da falha. Os sinais de temperatura da água e temperatura do ar, MAP, pedal e TPS são analisados e o tempo de injeção se ajusta de acordo com essas variáveis.

### **4.2 Sincronismo.**

O bloco de sincronismo deve receber o sinal de acionamento do PIC de gerenciamento e acionar o driver das bobinas e dos injetores. O sincronismo também identifica a falha para ter uma referência de dentes para a ignição e injeção. O sinal de fase é utilizado para a identificação do primeiro cilindro onde deverá ocorrer à injeção. O tempo de injeção e avanço de ignição deve variar conforme a variação da rotação e pressão do motor. Os relés da bomba e da ventoinha são acionados pelo software de sincronismo.

### **4.3 Admissão.**

O bloco de admissão recebe os sinais de TPS e Pedal e com base nessas variáveis ele efetua a abertura da válvula borboleta utilizando o *duty cycle* do PWM. Estamos considerando um erro de posição da válvula.

### **4.4 Comunicação.**

O bloco de comunicação envia via SPI dados de pedal, lambda, MAP, temperatura do ar, rotação, tensão da bateria, posição da válvula borboleta, TPS, tempo de injeção e linha 15. Essas variáveis são enviadas via protocolo de comunicação serial para um CI que faz a interface entre serial e USB enviando para o Computador.

### **4.5 Interface IHM**

Essa interface de diagnose foi desenvolvida utilizando a ferramenta gratuita Visual Studio que utiliza o *c-sharp* para o desenvolvimento de programas, com o intuito de permitir a visualização de parâmetros da ECU no computador, facilitando a identificação de erros e medição de parâmetro.

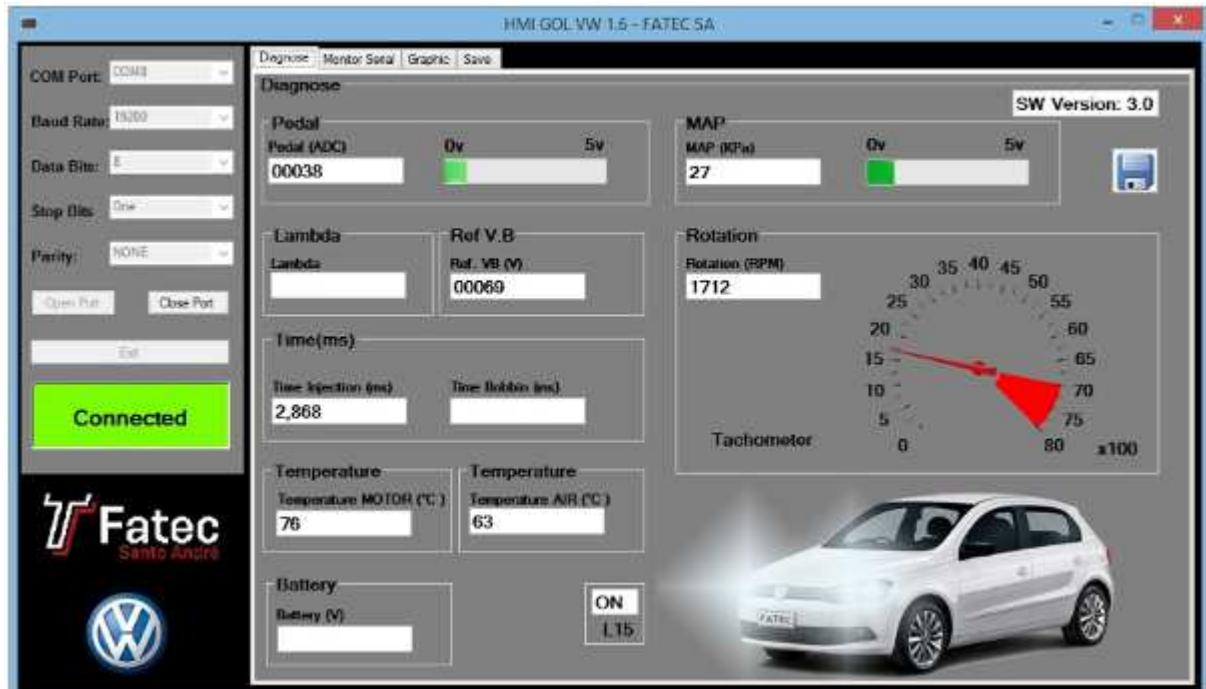


Figura 46: Interface desenvolvida para diagnose de parâmetros. (Os autores)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente projeto tem como metas aprimorar o hardware e software das plataformas anteriores, adequando sua utilização para o veículo Volkswagen GOL 1.6L EA-111 sendo capaz de gerenciar o motor deste veículo de forma satisfatória nos diversos regimes de carga. O projeto tem como característica principal a escalabilidade do mesmo, sendo possível a adaptação para o Volkswagen POLO 2.0L EA-113 e outros veículos que utilizem motores a combustão interna por ignição com centelha, multiponto (injeção indireta) de quatro cilindros. Desta maneira definimos metas concluídas no projeto, sendo que algumas dessas impostas pelos projetos anteriores (MOSCARDINI & MATA, 2014; PEREIRA C. F., 2013):

- Software robusto, garantindo o funcionamento do motor até 6000 RPM (limitado via software), mesmo com a temperatura do motor baixa (motor frio);
- Hardware flexível com possibilidade e adaptação em outros motores ciclo Otto, com limitações;
- Condicionadores resistentes evitando ruído oriundo dos sensores;
- Atender as características de respostas impostas pelos projetos da Freescale (PEREIRA C. F., 2013) e PIC (MOSCARDINI & MATA, 2014);
- Hardware com alta velocidade de aquisição capaz de efetuar a leitura de todos os sensores em qualquer faixa de rotação;
- Hardware com baixo consumo de energia sendo alimentada por uma bateria de veículo comercial (12V);
- Software com capacidade de enviar dados para uma interface em tempo real, onde é possível monitorar parâmetros do motor via PC/Laptop;
- Firmware capaz de controlar a rotação do motor em todas as condições de carga, fornecendo uma potência de no mínimo 50% do valor nominal do original (104 cv), o que corresponde a 52 cv;
- Atuadores em funcionamento após o sinal da linha 15;

A validação do software e hardware do projeto envolve primeiramente testes em bancada e posteriormente no veículo, utilizando um dinamômetro inercial para testes com carga.

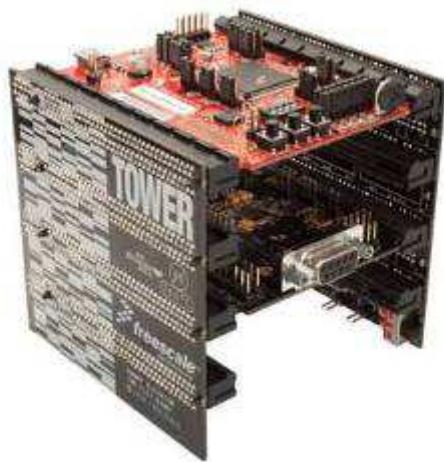
## **5.1 *Etapas de teste em bancada***

Os testes em bancadas são essenciais para a identificação de problemas com o hardware e software e a validação do mesmo. A utilização no veículo somente é possível uma vez que os resultados em bancada sejam satisfatórios evitando “erros” no acionamento de atuadores que possam causar problemas e até danificar o veículo. Para a ligação dos fios do hardware com os kits, desenvolvemos uma placa auxiliar com bornes. Devido aos testes em bancada terem sido satisfatórios, o primeiro teste da placa no carro já o fez ligar e funcionar razoavelmente (inicio dos ajustes práticos).

### **5.1.1 *Testes com Rotação***

O sinal de rotação é essencial para o desenvolvimento de todos os outros testes, pois a rotação, mais precisamente os dentes da roda geradora de impulsos, é a referência do acionamento da injeção, ignição, sinal de fase e envios de dados do SPI.

A geração do sinal é feita com auxílio de um kit Freescale que contém o microcontrolador de 8 bits S08LH64.

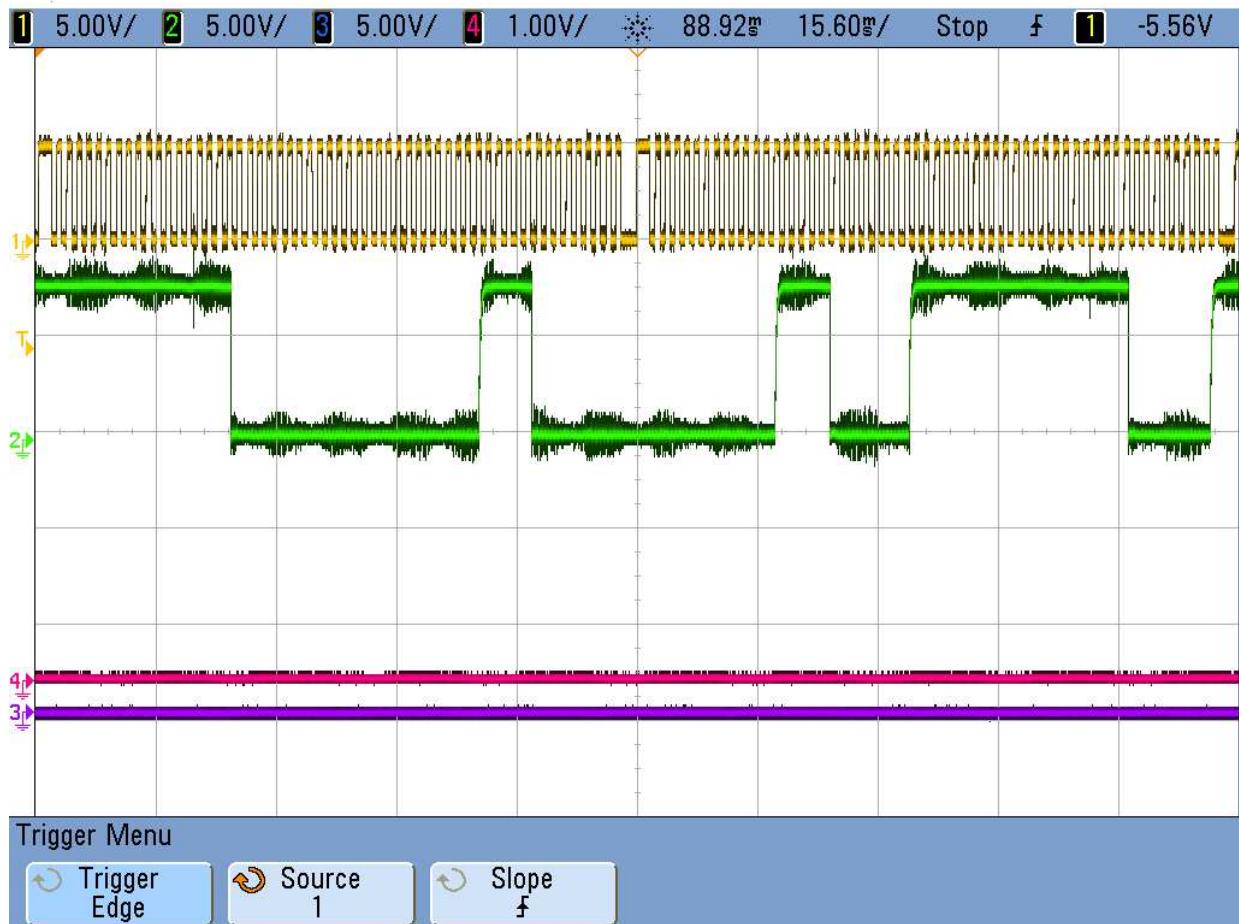


**Figura 47:** Hardware utilizado para gerar o sinal de rotação (Tower). (Os autores)

Utilizando uma plataforma PC/Laptop é possível comandar o sinal gerado, aumentando ou diminuindo a rotação. Essa interface (*software*) foi desenvolvida no projeto da Freescale (PEREIRA C. F., 2013).



**Figura 48:** Aplicação utilizada para a geração do sinal de rotação (EXTRAÍDO PEREIRA, 2013).



**Figura 49:** Sinal de Rotação (em amarelo) e fase (em verde) gerado pela tower. (Os autores)

O sinal de rotação gerado pela “tower” é invertido em comparação com o sinal gerado pelo veículo Gol que utiliza sensor de efeito Hall, invertendo a referência do mesmo. Essa diferença não provoca nenhuma alteração nos testes em bancada.

### 5.1.2 Ignição

O funcionamento do sistema de ignição é semelhante ao projeto anterior (MOSCARDINI & MATA, 2014) enviando um acionamento (comando de 5 Volts) para a bobina, porém o sistema interno da mesma é diferente, resultando em um tempo de bobina

menor. O tempo de carregamento da bobina, na ignição do veículo, é de 6ms e depois é mantida em 4ms, podendo variar conforme a tensão da bateria.

A bobina de ignição cumpre quatro entradas sendo 12 Volts, GND (terra), comando 1 e 2 (funcionamento centelha perdida).

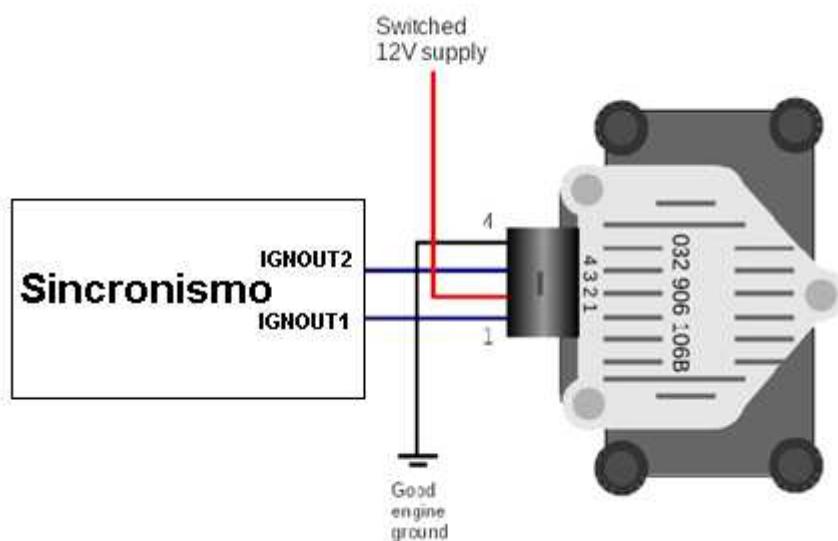


Figura 50: Bobina do Gol. (Os autores)

O comando oriundo da ECU (5 Volts) chaveia o primário da bobina (alimentada de 12 Volts) carregando o secundário da mesma, gerando a centelha na vela de ignição (comando 1 ignição nas câmaras 1 e 3, comando 2 ignição nas câmaras 2 e 4).



Agilent Technologies

THU DEC 08 12:54:13 2016

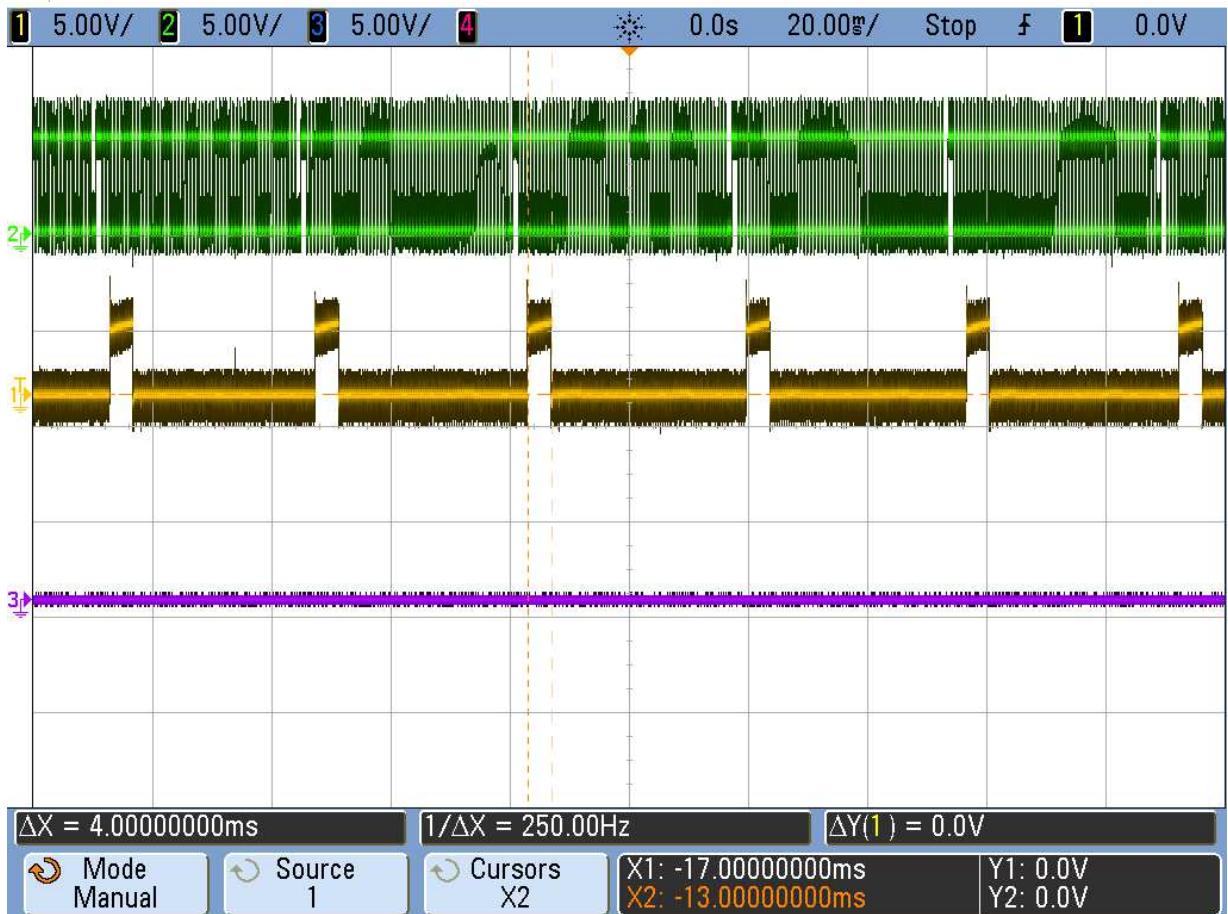
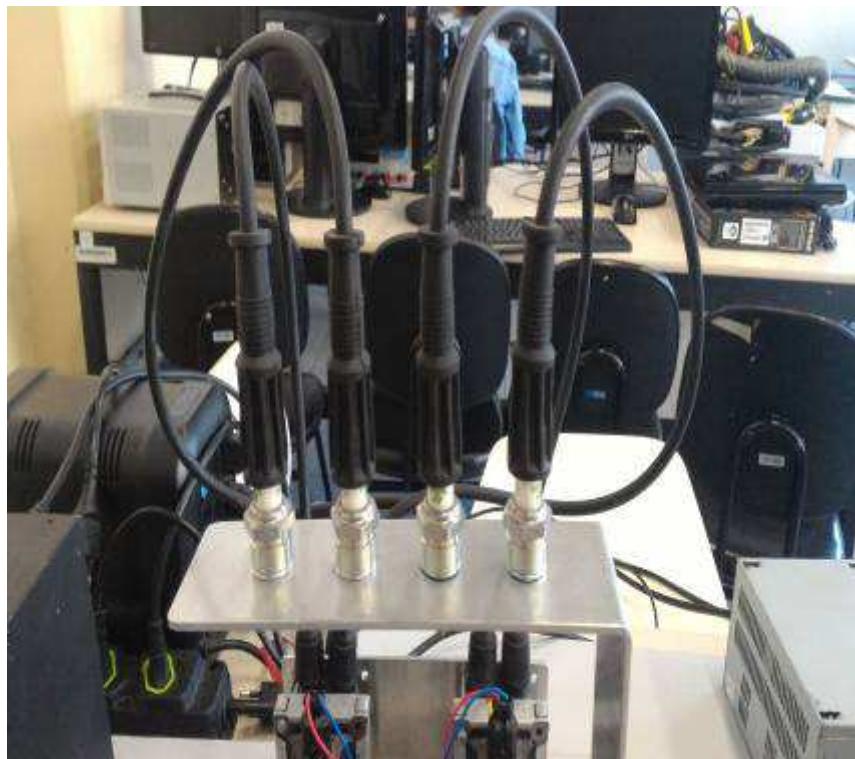


Figura 51: Sinal gerado pela ECU da Fatec (em amarelo). (Os autores)

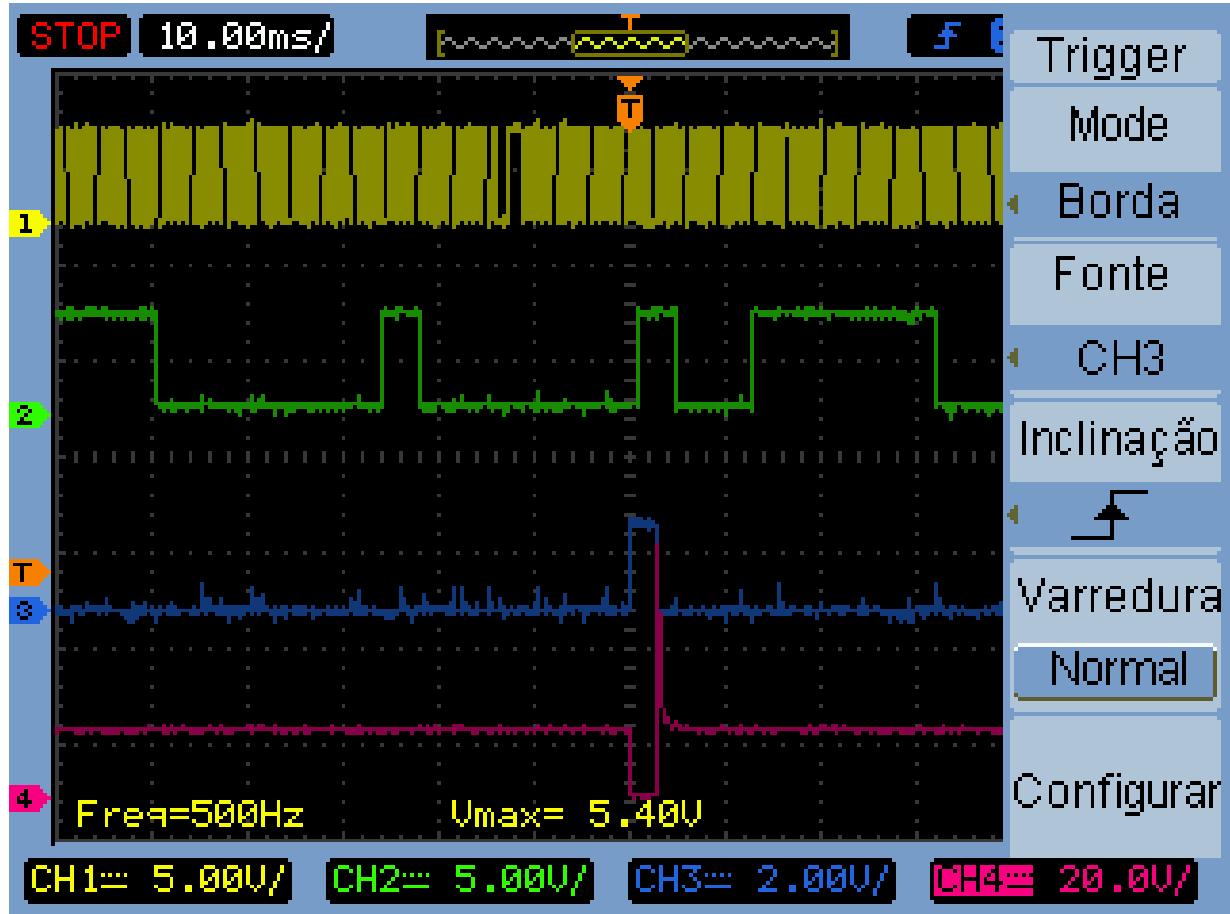
Utilizamos o kit da Fatec para realizar o acionamento das velas de ignição testando o comando vindo do PIC de sincronismo.



**Figura 52: Kit de ignição da Fatec Santo André. (Os autores)**

### 5.1.3 Injeção

O PIC do Sincronismo envia o sinal de comando (5 Volts) para o driver do injetor (MC33810), que satura a bobina do injetor. Após esta saturação do driver durante o tempo de carregamento da bobina, o bico é aberto pulverizando combustível na entrada do coletor de admissão no dente pré-determinado na abertura da válvula de admissão (segue mapa de avanço de injeção). O tempo de carregamento da bobina do injetor varia dependendo do MAP, temperatura do ar, temperatura da água e correção da bateria. O cálculo da massa de combustível é feita através da estratégia “*speed density*” pela ECU. A injeção varia de 2.4ms (mínimo) até 14ms (máximo), limitados pelo software do PIC Gerenciamento.



**Figura 53:** Sinal do comando da injeção (em azul) e sinal da injeção (em vermelho). (Os autores)

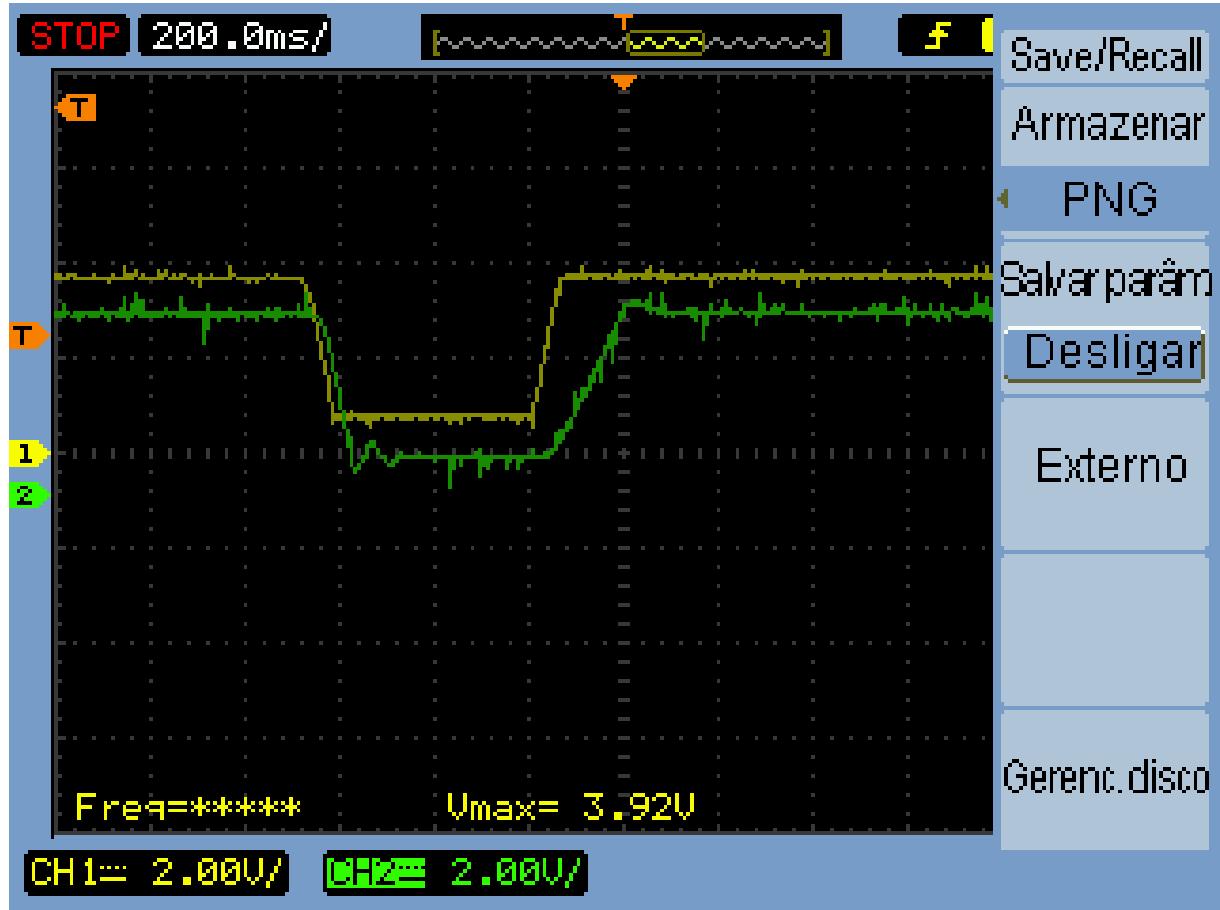
Utilizamos o kit da Fatec para simular em bancada o sinal de injeção.



**Figura 54:** Kit de injeção da Fatec Santo André. (Os autores)

#### **5.1.4 Válvula Borboleta**

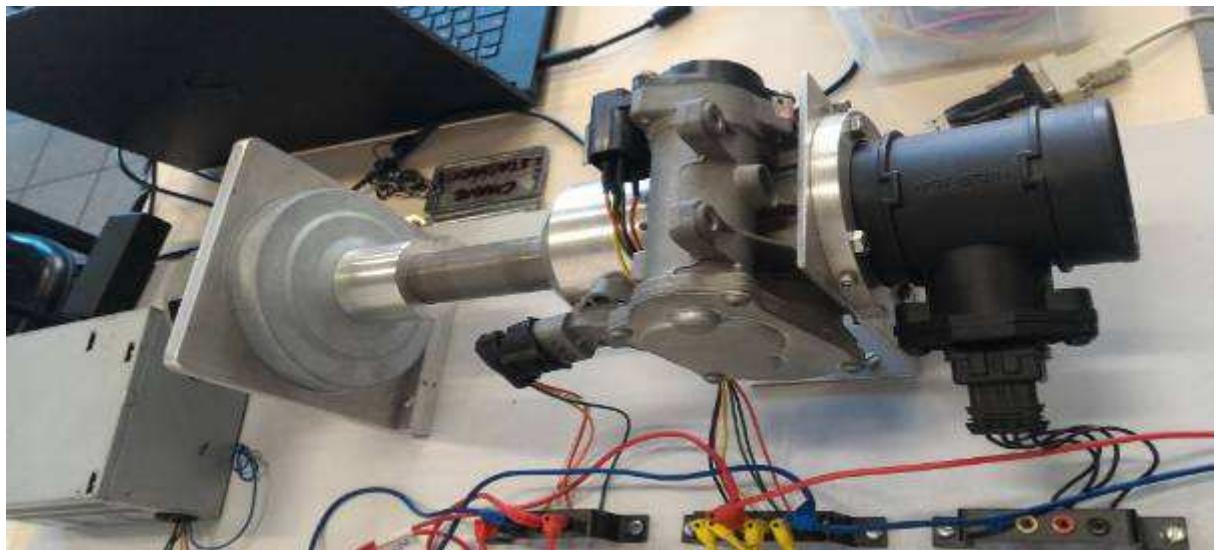
Utilizamos a calibração do projeto anterior (MOSCARDINI & MATA, 2014) como referência, adaptando a mesma para a borboleta em bancada. Após os testes em bancada tivemos que calibrar a válvula borboleta para o GOL.



**Figura 55:** Sinal do TPS (em verde) e pedal (em amarelo) do GOL. (Os autores)

O sinal acima foi obtido no VW Gol onde é possível notar uma diferença no tempo de resposta do TPS em relação ao pedal. O pedal leva na descida 72ms assim como na subida, porém, o TPS na descida leva 80ms e na subida 160ms logo, observa-se um atraso no tempo de resposta do TPS de 40ms.

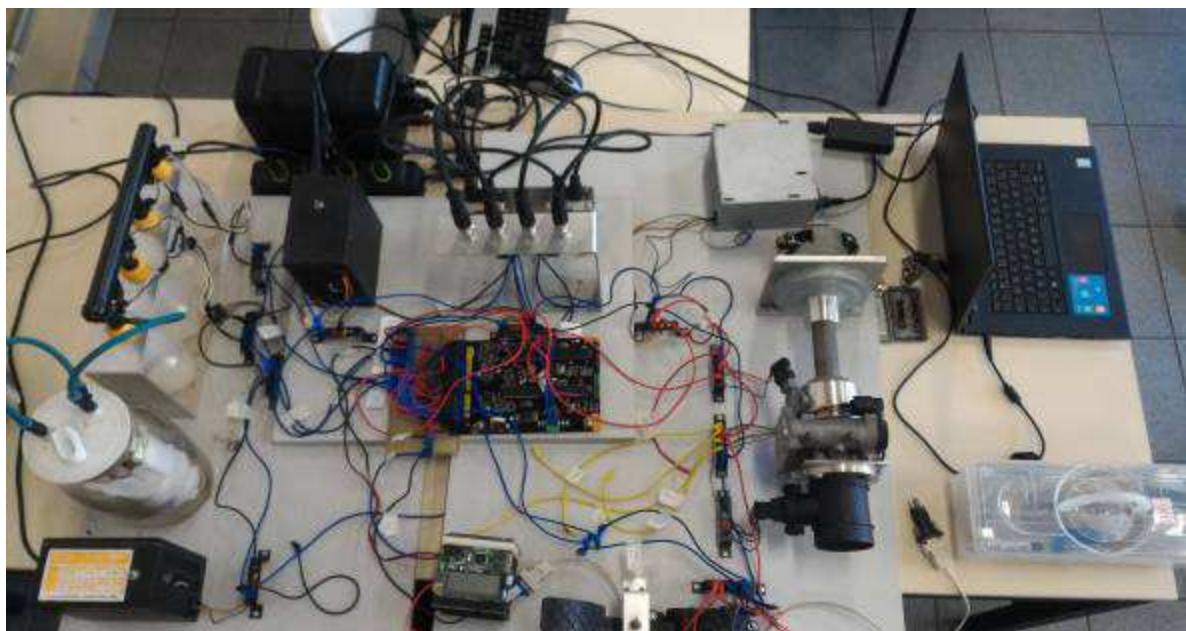
Utilizamos o kit da Fatec para os testes em bancada.



**Figura 56:** Kit da válvula borboleta da Fatec Santo André. (Os autores)

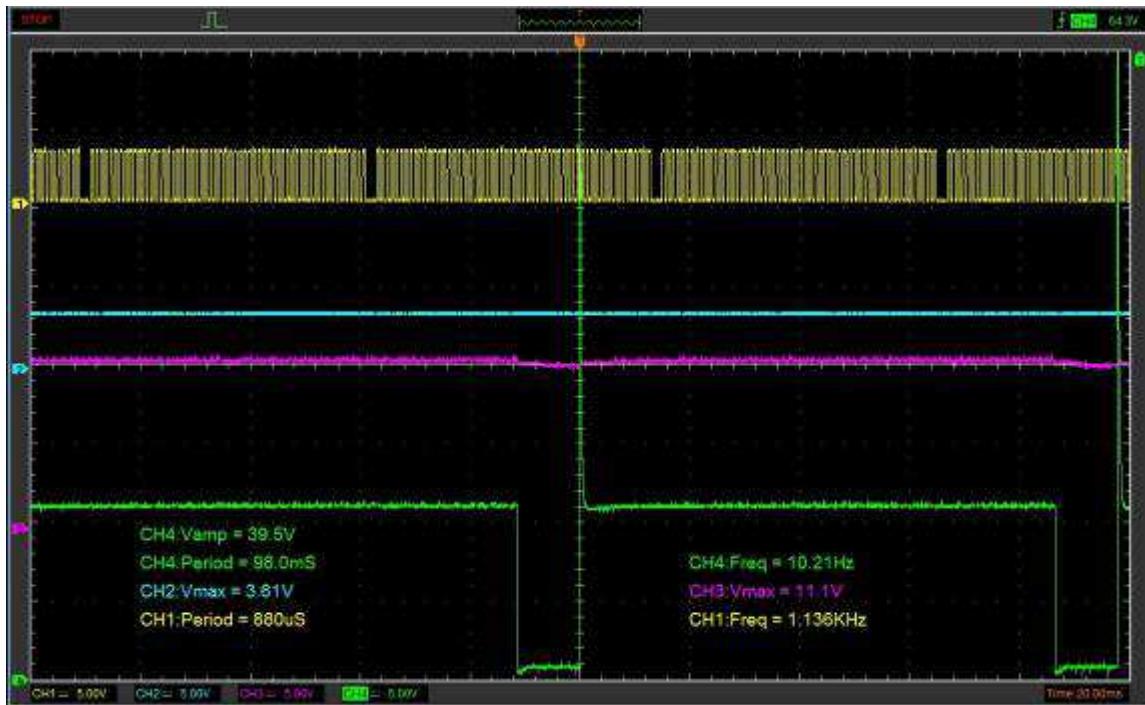
### 5.1.5 Simulação em bancada

Utilizando os kits citados acima simulamos o funcionamento do veículo com sinais de rotação, identificação da falha, injeção, ignição, MAP, temperatura do ar, como um último passo para a migração da bancada para o carro.



**Figura 57:** Simulação em bancada com todos os kits. (Os autores)

Realizamos esse teste variando de 1000 a 3000 rotações.



**Figura 58: Rotação (em amarelo), injetor (em verde), MAP (em azul) e linha 15 (em roxo) em bancada a 1000 rpm. (Os autores)**

## 5.2 Etapas de teste no veículo

Os testes foram realizados no veículo Volkswagen GOL 1.6L que possuímos na Faculdade. A metodologia adotada foi a mesma dos projetos anteriores (MOSCARDINI & MATA, 2014; PEREIRA C. F., 2013) pois apresentaram resultados eficazes.

- **Verificação do cálculo de rotação e sinal do identifica falha:** A primeira etapa consiste em verificar se o sinal de rotação está sendo recebido, condicionado e o cálculo da rotação efetuado. O sinal de identifica falha é fundamental para o correto sincronismo do motor. Utilizamos a ECU original comparando o sinal de rotação e, por meio de um osciloscópio, verificamos se sinal de identificação da falha está correto;
- **Atuação da ignição:** Utilizando a ECU original gerando o sinal de rotação, comparamos o comando de acionamento da bobina da ECU desenvolvida com a original, assim como o tempo de ignição e o dente em que o comando deverá ser

acionado. Esta etapa deve ser analisada cuidadosamente, pois uma falha de ignição em rotações elevadas pode danificar o motor;

- **Atuação da válvula borboleta:** Com os testes em bancada concluídos utilizamos a mesma calibração no veículo, inicialmente com o veículo desligado. Posteriormente calibraremos os ganhos, e acionamos o motor com o controle da válvula borboleta da ECU desenvolvida, verificando as variações da borboleta conforme a modulação do pedal;
- **Atuação da injeção:** Utilizando a ECU original verificamos o comando de acionamento da injeção, assim como o tempo de injeção e comparamos o tempo do comando com o tempo da injeção, além de verificar se o comando está sendo acionado nos dentes pré-determinados;
- **Leitura dos sensores:** Efetuamos a leitura dos sensores que serão utilizados neste projeto sendo eles rotação, fase, pedal 1, TPS 1, MAP, temperatura do ar e temperatura do motor. Nesta etapa verificamos também os condicionadores desses sensores;
- **Acionamento dos Relés:** Nesta etapa verificamos o acionamento do relé da bomba de combustível e da ventoinha do motor;
- **Atuação completa:** Após todas as etapas acima terem sido concluídas, acionamos simultaneamente todos os atuadores anteriores, logo, espera-se que o veículo seja controlado pela ECU IV, não dependendo da ECU original;
- **Inserção do cálculo da massa de combustível:** Nesta etapa utilizamos os valores oriundos do sensor MAP e temperatura do ar modificando o mapa de injeção de forma a aumentar ou diminuir o tempo de injeção, buscando melhorar o desempenho do motor;
- **Inserção do controle de rotação:** Esta etapa consiste em verificar o correto funcionamento do controle de rotação do motor sem carga. O motor deve responder até 6000 RPM, ainda sem aplicação de carga, com erros de regime de até 200 RPM;
- **Ajuste de tempo de injeção acelerações bruscas:** Nesta etapa são realizados testes de resposta do motor na situação de acelerações bruscas de forma que o motor responda de forma satisfatória. Verificamos também o funcionamento da estratégia “cutoff”, que corta a injeção quando a rotação está acima de 1500 RPM e o veículo está desacelerando. As figuras (59) e (60) demonstram esta estratégia. Quando o sinal

verde (TPS) cai, a estratégia “*dashpot*” é acionada e quando esse sinal é retomado, a de injeção (sinal em rosa) é retomada.



Figura 59: Sinal do TPS (em verde) e Injeção (em vermelho). (Os autores)

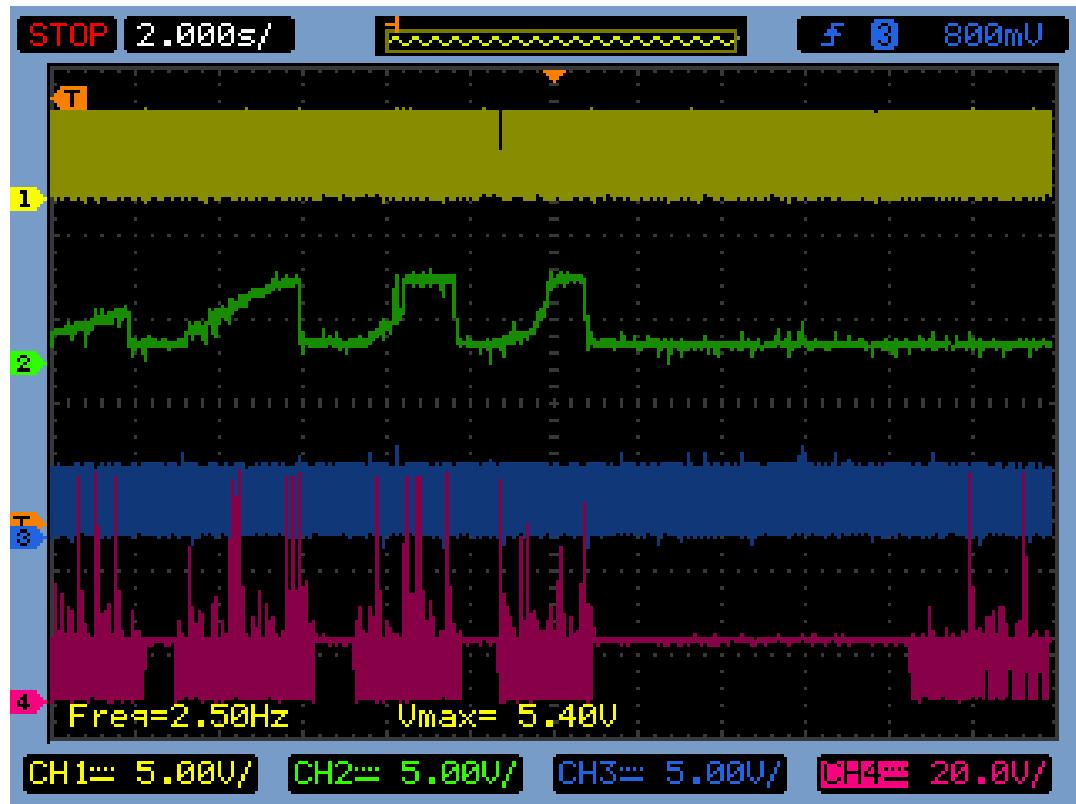


Figura 60: Sinal do TPS (em verde) e Injeção (em vermelho). (Os autores)

- **Aplicação de carga ao motor:** Nesta etapa verificamos o funcionamento do motor nos diversos regimes de carga do mesmo utilizando um dinamômetro inercial. Como resultado, espera-se que o motor consiga alcançar 6000 RPM em terceira marcha com a carga fixa fornecida pelo dinamômetro, desenvolvendo uma potência máxima de no mínimo 50% do valor nominal do original (104 cv), o que corresponde a 52 cv;
- **Comunicação com a rede CAN:** Nesta etapa foi implementada a rede CAN presente no veículo, enviando rotação e temperatura do motor.

Para realizarmos os testes com a ECU original do veículo utilizamos uma interface “Bob” que conecta a ECU com o veículo, onde é possível acessar os sinais e utilizá-los na ECU desenvolvida neste projeto.

### 5.3 Teste e Curvas de Potência

Realizamos o levantamento de torque e potência do motor, utilizando um dinamômetro inercial que possuímos em nossa faculdade. Realizamos dois testes sendo o primeiro com a ECU original do Volkswagen GOL e o segundo com a ECU desenvolvida no presente projeto. O teste com a ECU original apresentou os seguintes valores na figura (61).

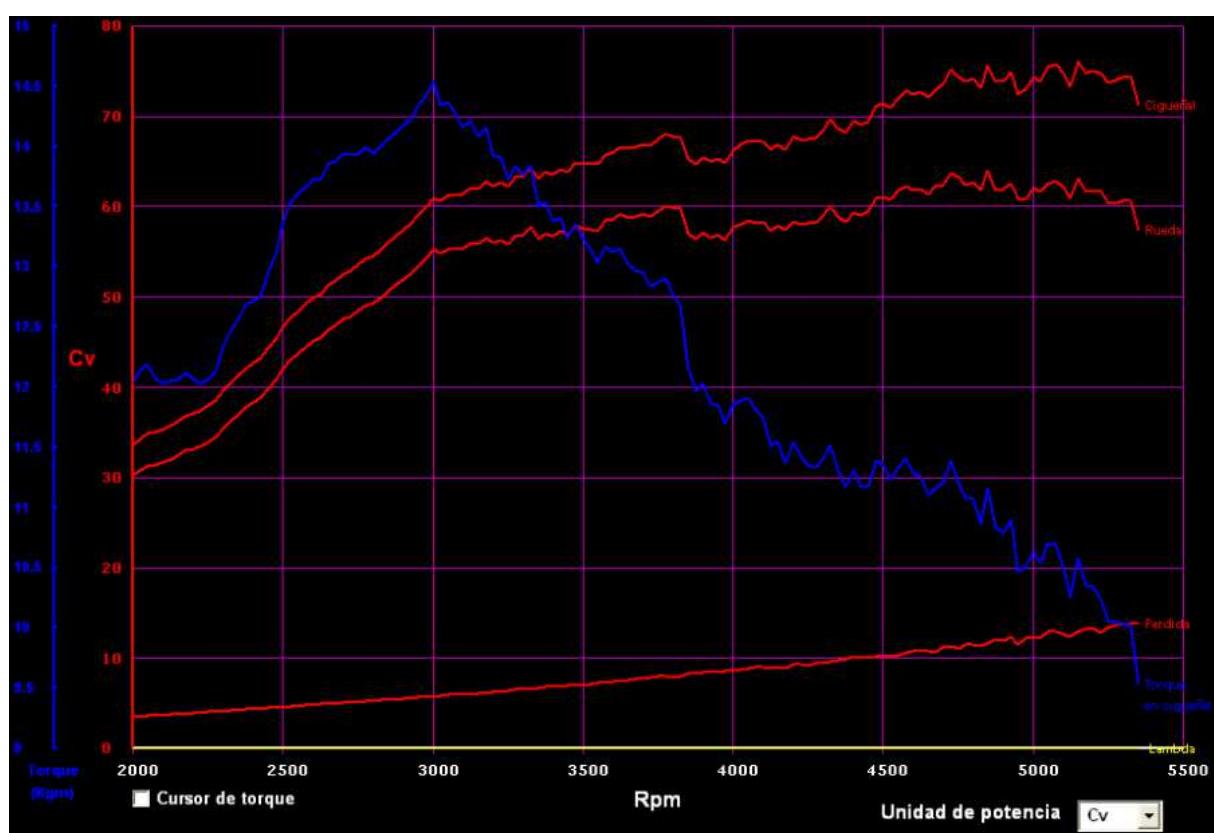
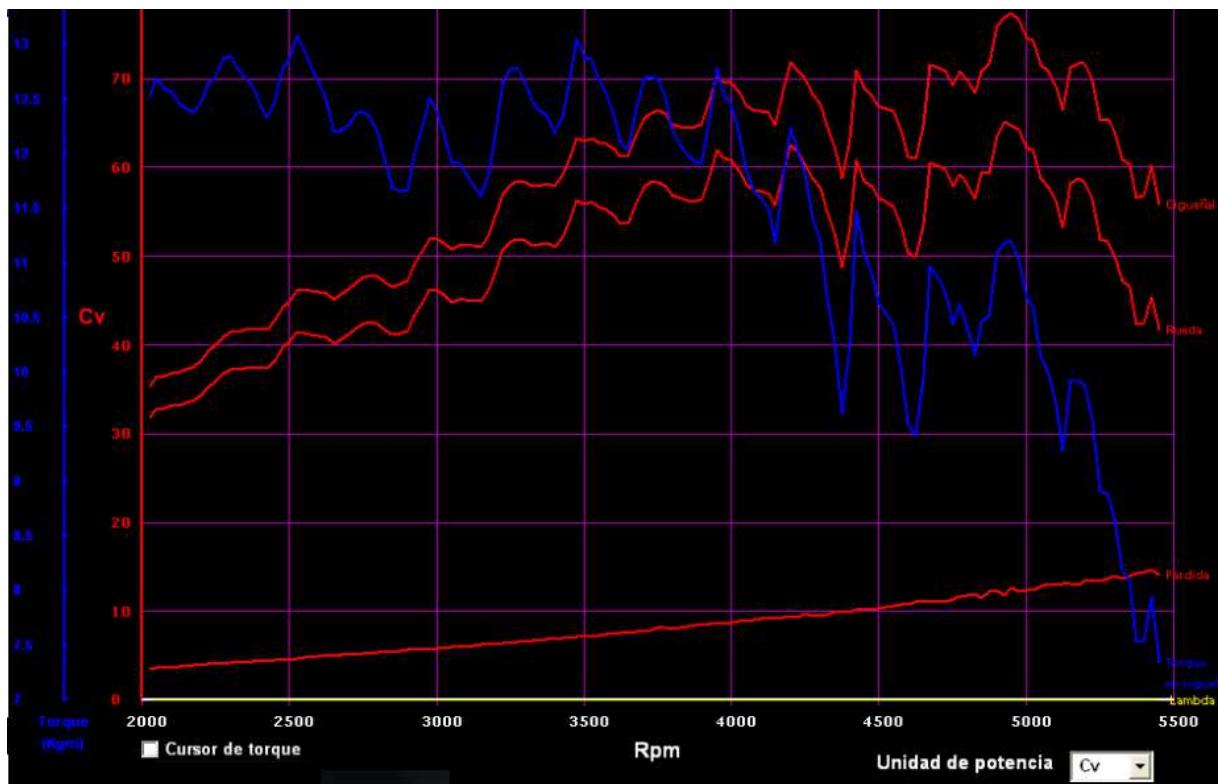


Figura 61: Curva de potência utilizando ECU original, em vermelho mostra o RPM por potência e em azul RPM por torque. (Os autores)

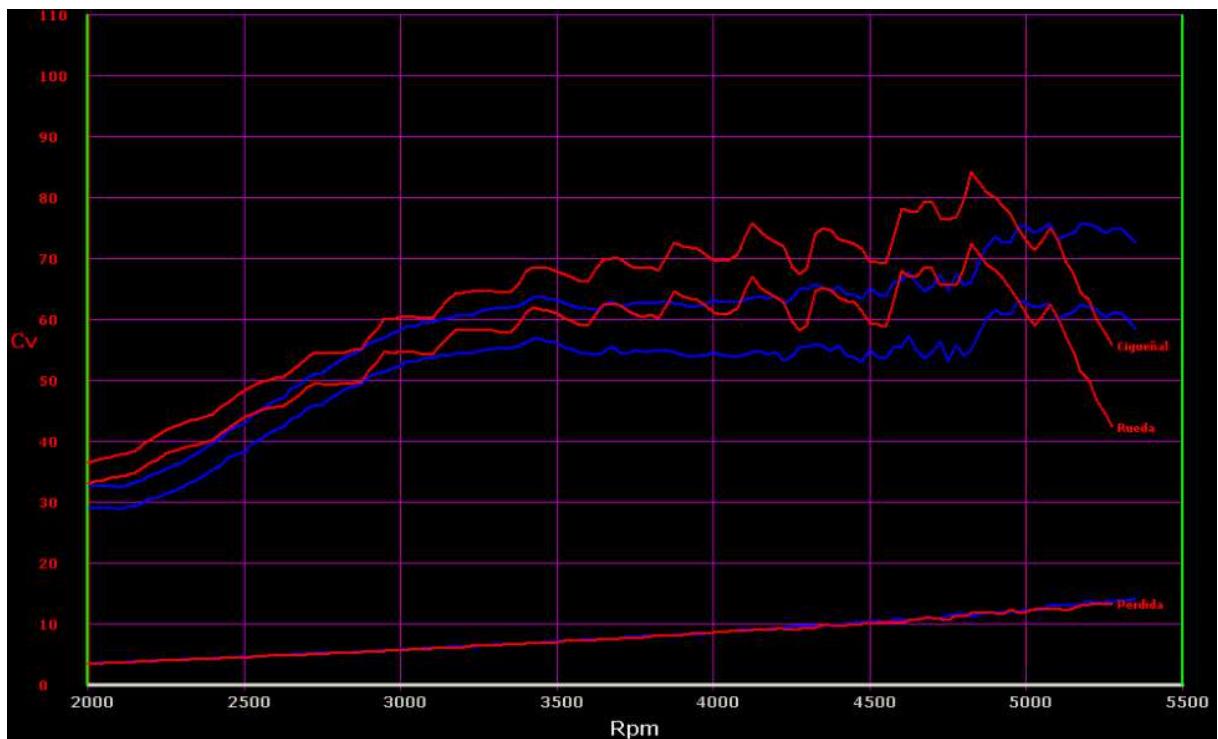
O gráfico apresenta três informações sendo no eixo “x” a rotação e no eixo “y” o torque (em azul) e a potência (em vermelho). A figura (62) apresenta os valores obtidos com a ECU desenvolvida neste projeto.



**Figura 62:** Curva de potência utilizando ECU IV, em vermelho mostra o RPM por potência e em azul RPM por torque. (Os autores).

É possível observar que existe uma oscilação nos sinais de torque e potência da ECU IV. Acreditamos que este “ruído” é, provavelmente, oriundo da falta da afinação na calibração do pedal, velas de ignição e bicos injetores desgastados e falta de manutenção no dinamômetro.

O gráfico da figura (63) mostra a relação da ECU original com a ECU desenvolvida neste projeto.



**Figura 63:** Comparação dos dois testes. ECU original (em azul) e ECU IV em vermelho. (Os autores).

Como visto acima a curva de potência da ECU IV apresenta uma instabilidade causada pela oscilação da válvula borboleta, sendo necessário, calibrar a mesma para obter uma maior afinação. Os pontos máximos de potência e torque foram apresentados na tabela (6).

Unidade de Gerenciamento eletrônico	Potência Máxima	Torque Máximo
ECU Original Volkswagen GOL 1.6L	76cv @ 5200 rpm	14,4 (kgfm) @ 3000 rpm
ECU IV (Microchip PIC)	78cv @ 4800 rpm	13,05 (kgfm) @ 2550 rpm

**Tabela 6:** Tabela de Potencia máxima e torque máximo. (Os autores)

## 5.4 Emissões

Efetuamos um teste de emissões no veículo Volkswagen GOL 1.6L utilizando a ECU desenvolvida e o equipamento AVL DiCOM disponibilizado pela faculdade. Obtivemos como resultado a tabela (7).

				Legislação Inspeção
		ECU Original	ECU IV	(CONAMA 418, 2009)
Marcha Lenta	CO (%)	0,03	6,00	0,3
	CO2 (%)	14,8	14,8	Medido apenas para correção
	HCcorrigido (ppm)	30,8	450	100
Marcha Lenta Acelerada	CO (%)	0,00	5,70	0,3
	CO2 (%)	14,7	11,1	Medido apenas para correção
	HCcorrigido (ppm)	8,08	280	100

Tabela 7: Levantamento de emissões do Gol. (Os autores)

O cálculo da correção é feito através da seguinte formula utilizada pelo CONAMA para a correção do HC medido:

$$\text{Fator de Correção} = \frac{15}{CO + CO_2}$$

Caso o fator de correção seja maior que um, é adotado o valor resultante multiplicado pelo HC, se for menor que um o valor considerado é um multiplicado pelo HC. Sabemos que as emissões estão acima dos valores exigidos na legislação, logo, projetos futuros deverão utilizar o sensor lambda, afinar a válvula borboleta e ajustar o mapa de injeção.

## **6 CONCLUSÃO**

As montadoras mantém o desenvolvimento do hardware e do software da ECU em segredo, pois, é investido grande quantidade de recursos. Desta maneira o aprendizado se torna limitado em alguns conhecimentos obtidos ao longo do tempo. Este projeto auxilia o meio acadêmico exibindo as etapas de desenvolvimento e apresentando uma unidade flexível capaz de ser utilizadas em outros motores com limitações, assim como, é possível desenvolver melhorias nas funcionalidades das ECUs desenvolvidas pelos fabricantes, que são padronizadas e não permitem customização. O desenvolvimento com o PIC proporcionou um maior conhecimento e utilização deste microcontrolador, apesar deste não ser o mais atual, ainda assim é aplicado amplamente em vários setores da automação industrial.

Concluímos que o hardware funcionou de forma satisfatória, apesar de alguns erros no layout da placa. Os testes em bancada foram essenciais para que garantíssemos o funcionamento básico de forma segura, evitando problemas nos testes no veículo. O software foi otimizado, reduzindo o tempo de processamento de 12,50ms para 5,40ms, mantendo-se a mesma estratégia do projeto anterior (MOSCARDINI & MATA, 2014), apresentando um resultado satisfatório. O levantamento de torque e potência mostrou que a ECU desenvolvida neste projeto alcançou o mesmo desempenho da original, porém, o sinal da ECU IV apresentou um “ruído”. Acreditamos que esse ruído é causado pela calibração da borboleta ou manutenção de velas de ignição e bicos injetores, sendo necessário futuros testes para identificar o problema.

Com a conclusão deste projeto, é possível a utilização do mesmo para ensinamentos sobre o gerenciamento do motor e modificar parâmetros visualizando a mudança no veículo, tornando o aprendizado com uma estrutura muito mais didática e organizada, ideal para desenvolvimentos futuros.

### ***6.1 Propostas Futuras***

- Desenvolver a estratégia Flex utilizando o sinal do sensor knock em malha fechada, o que envolve a estratégia para adiantar a ignição em caso de detonação.

- Melhoria no controle da válvula borboleta, desenvolvendo um melhor amortecimento da mesma.
- Desenvolvimento da estratégia de utilização dos sensores lambda pré e pos catalisador, diminuindo o nível de emissões.
- Utilização do sinal de embreagem para uma melhor modulação de dirigibilidade.
- Calibração do motor via interface gráfica.
- Controle da velocidade do eletroventilador via sinal PWM.
- Testes de curvas de torque e potência.

## 7 Bibliografia

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] J. C. C. CÂMARA, “Monitormento eletrônico da mistura ar/combustível em motores de combustão interna ciclo Otto,” *Dissertação - Universidade Federal da Bahia de Salvador.*, 2006.
- [5] J. FLINK, The Automobile Age, Massachusetts: Halliday Lithograph, 1990.
- [6] MORAN & SHAPIRO, Fundamentos de Termodinâmica Técnica. 2, 2004
- [7] B. S. PEREIRA, “Controle da Mistura Ar/Combustível em um motor a Combustão Interna: Sistema em malha fechada.,” *Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo*, 2015.
- [8] C. F. PEREIRA, “Unidade de Gerenciamento Eletrônico de um Motor Volkswagen 2.0L: Projeto Otto II.,” *Monografia - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.*, 2013.
- [9] F. J. P. PUJATTI, “Desenvolvimento de um sistema de gerenciamento eletrônico para motores de ignição por centelha.,” *Tese - Universidade Federal de Minas Gerais.*, 2007.
- [10] R. STONE, Introduction to Internal Combustion Engines, Pasadena: SAE International, 1999.
- [11] Freescale, *MC33810*, 2008.
- [12] Freescale, *MC33186*, 2011.
- [13] Texas Instruments, *LM1815*, 2013.

# APÊNDICES

## APÊNDICE A - *Hardware*

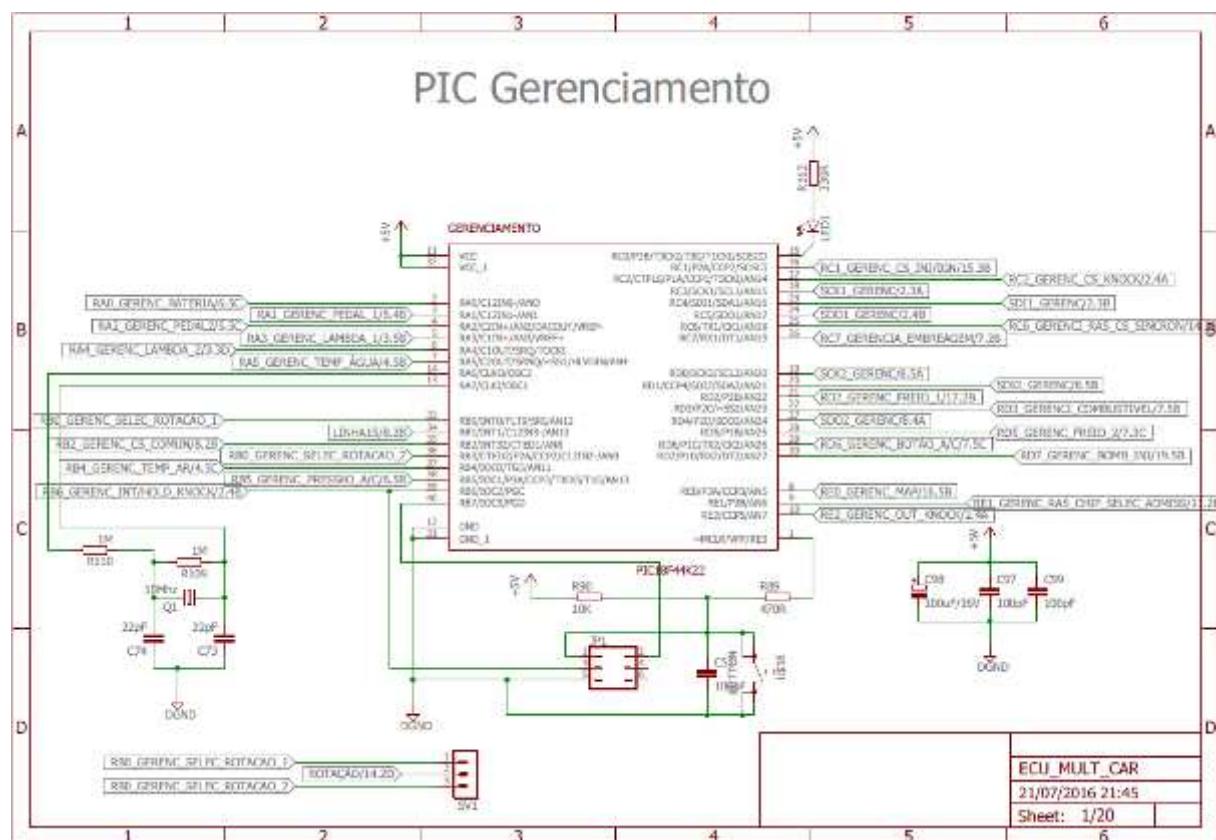


Figura 64: Microcontrolador de Gerenciamento. (Os autores)

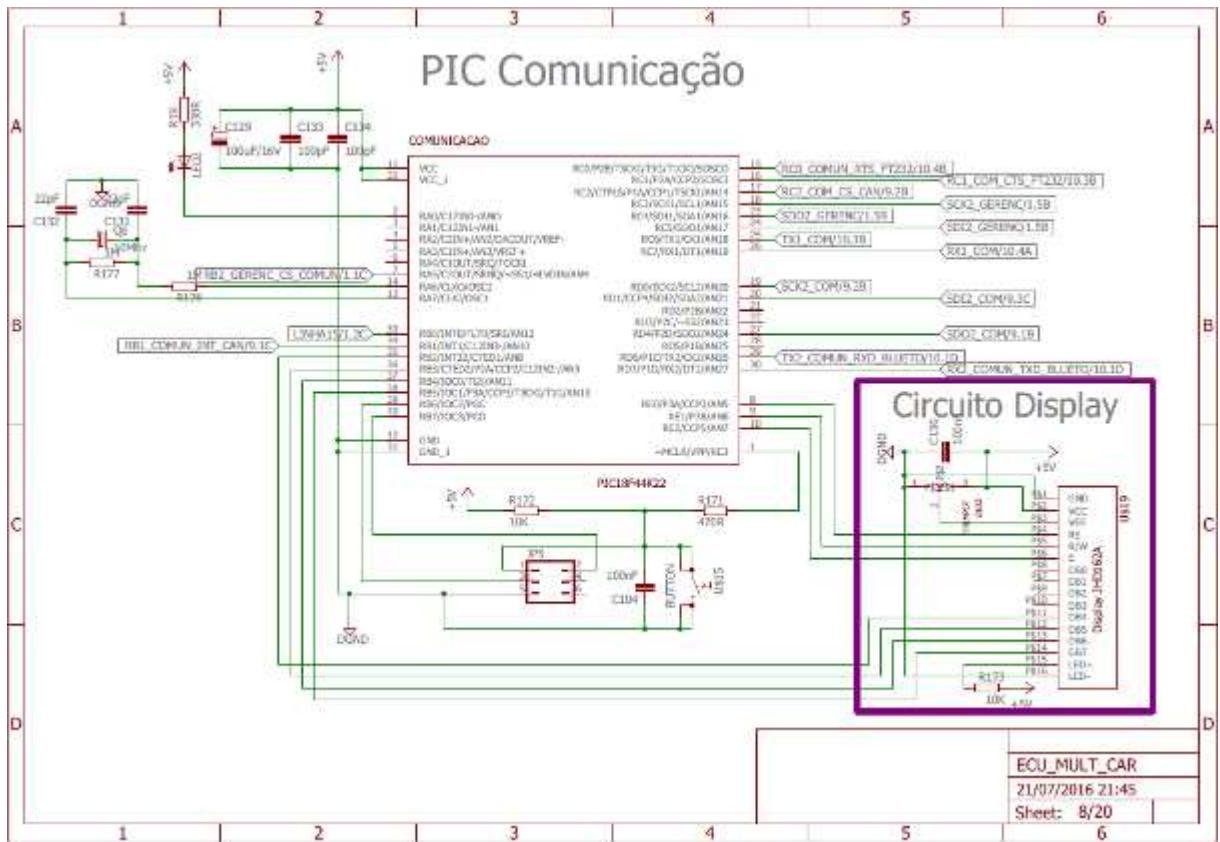
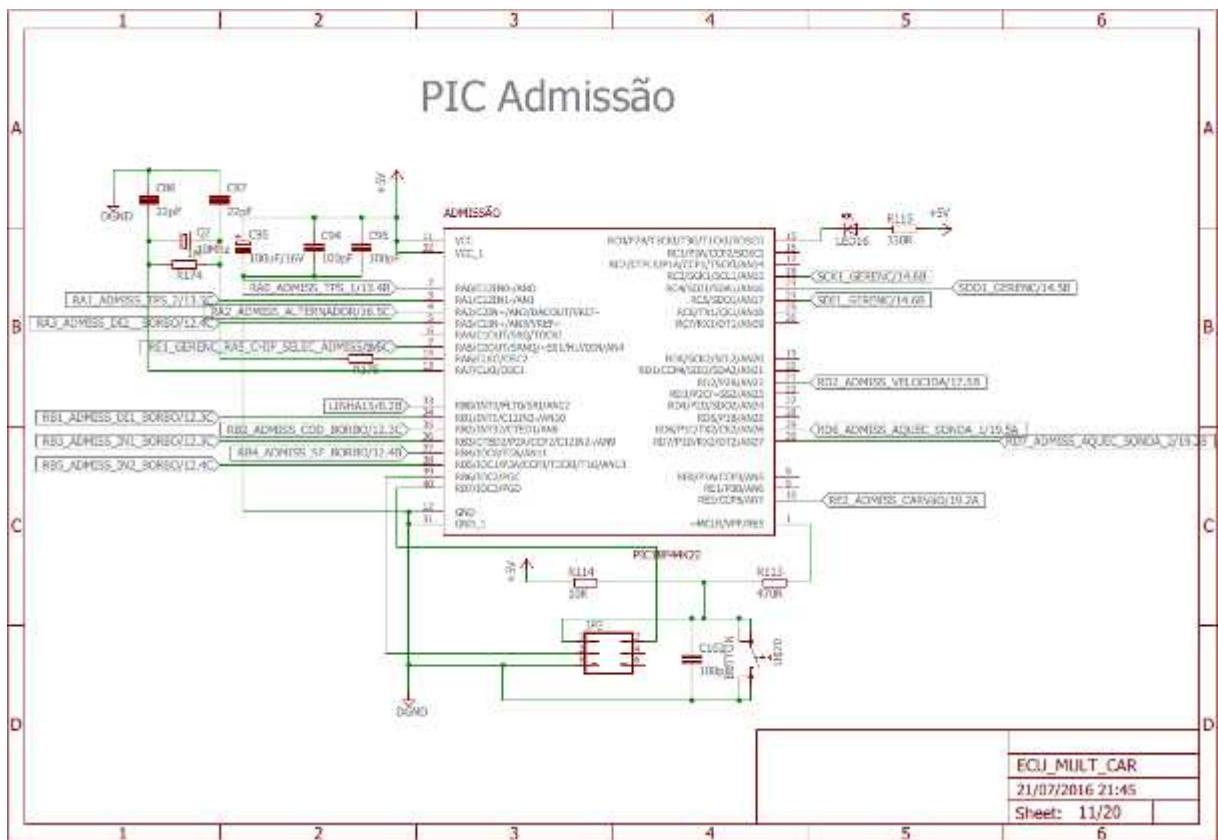
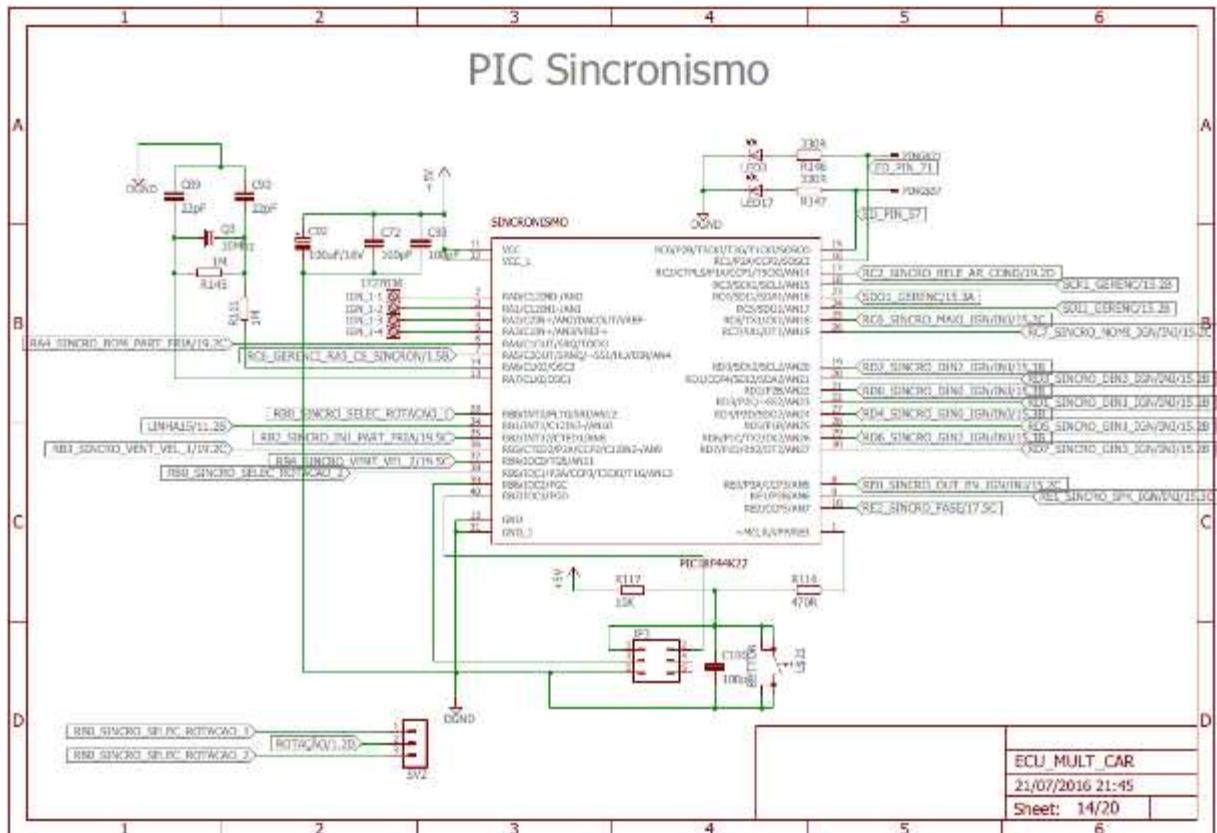


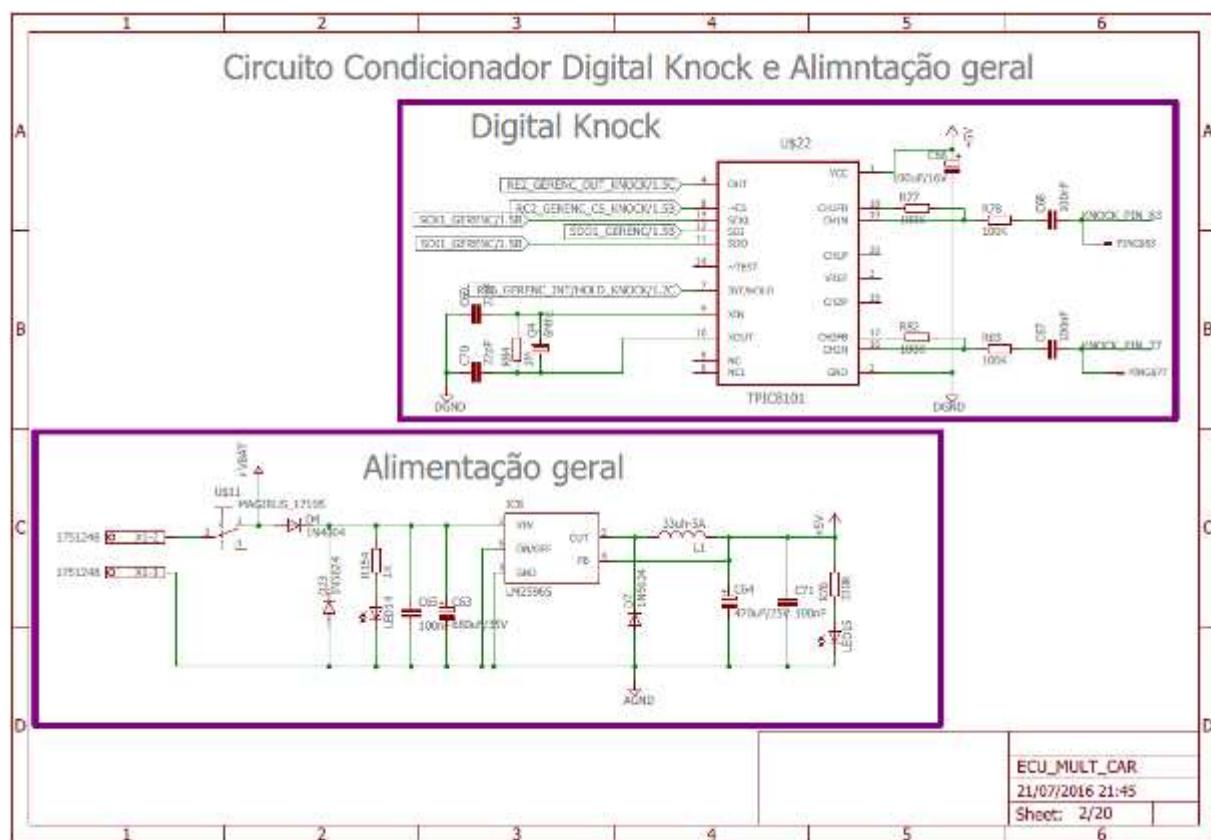
Figura 65: Microcontrolador de Comunicação. (Os autores)



**Figura 66: Microcontrolador de Admissão. (Os autores)**



**Figura 67: Microcontrolador de Sincronismo. (Os autores)**



**Figura 68: Entrada do Sensor knock e Alimentação Geral. (Os autores)**

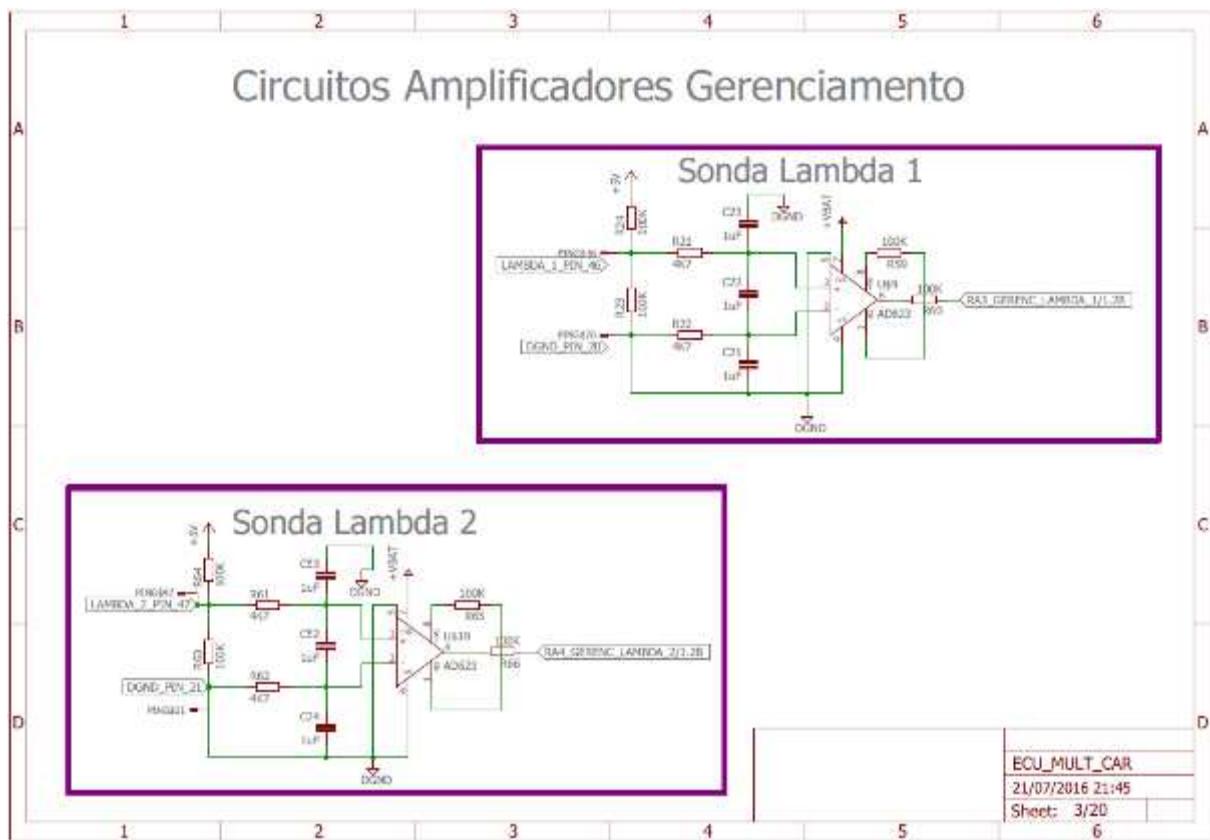
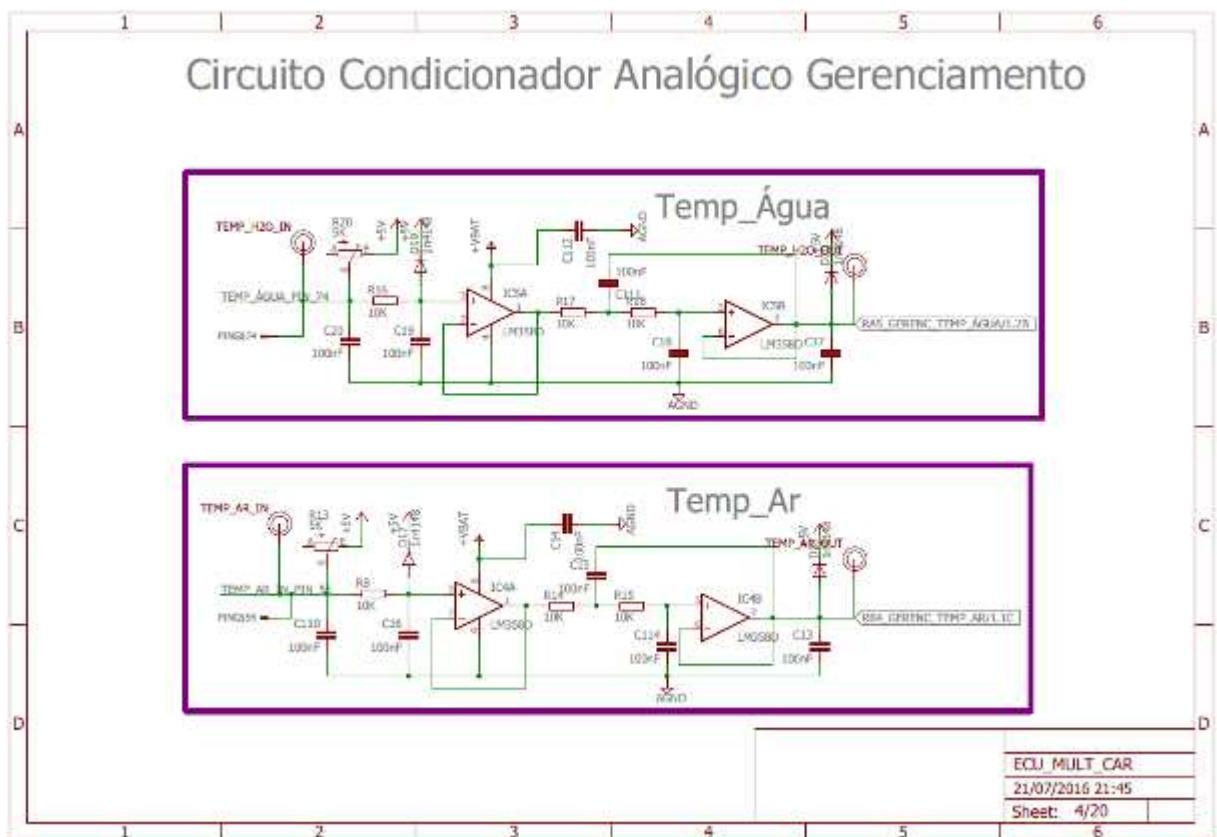
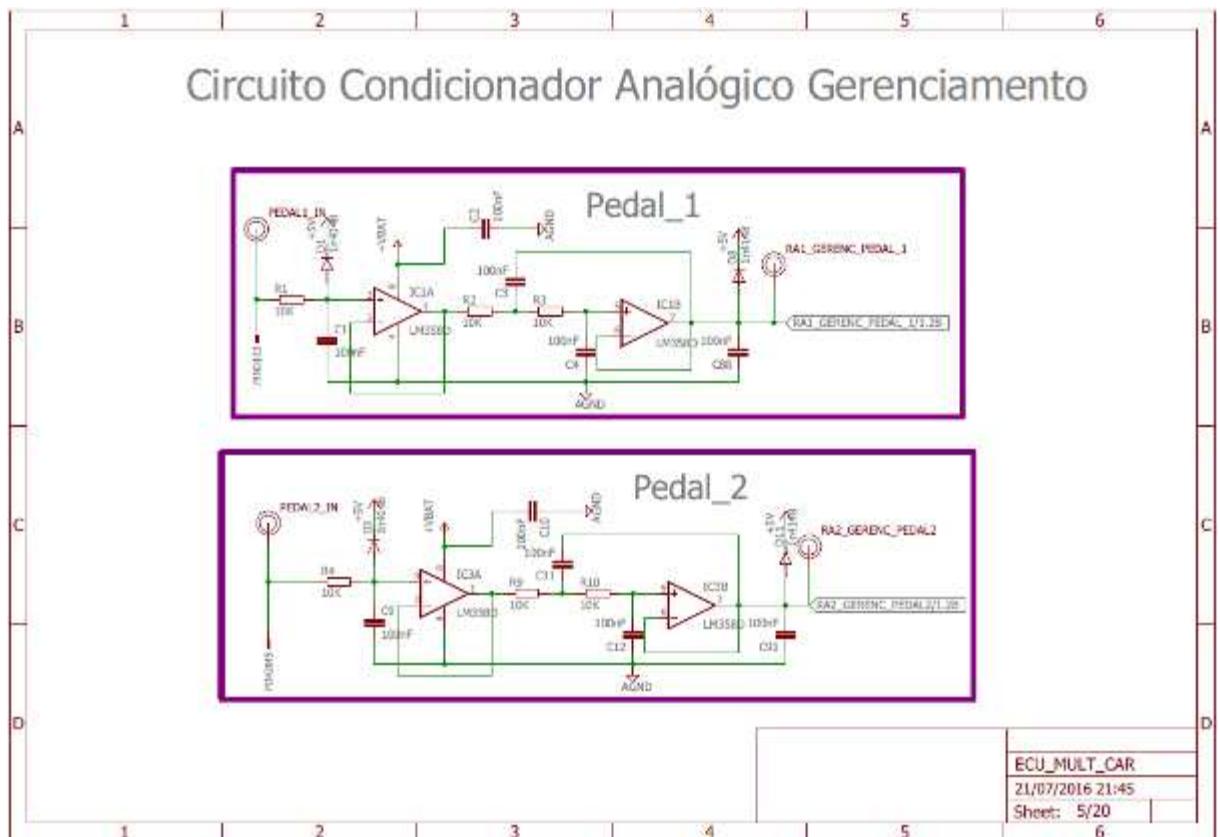


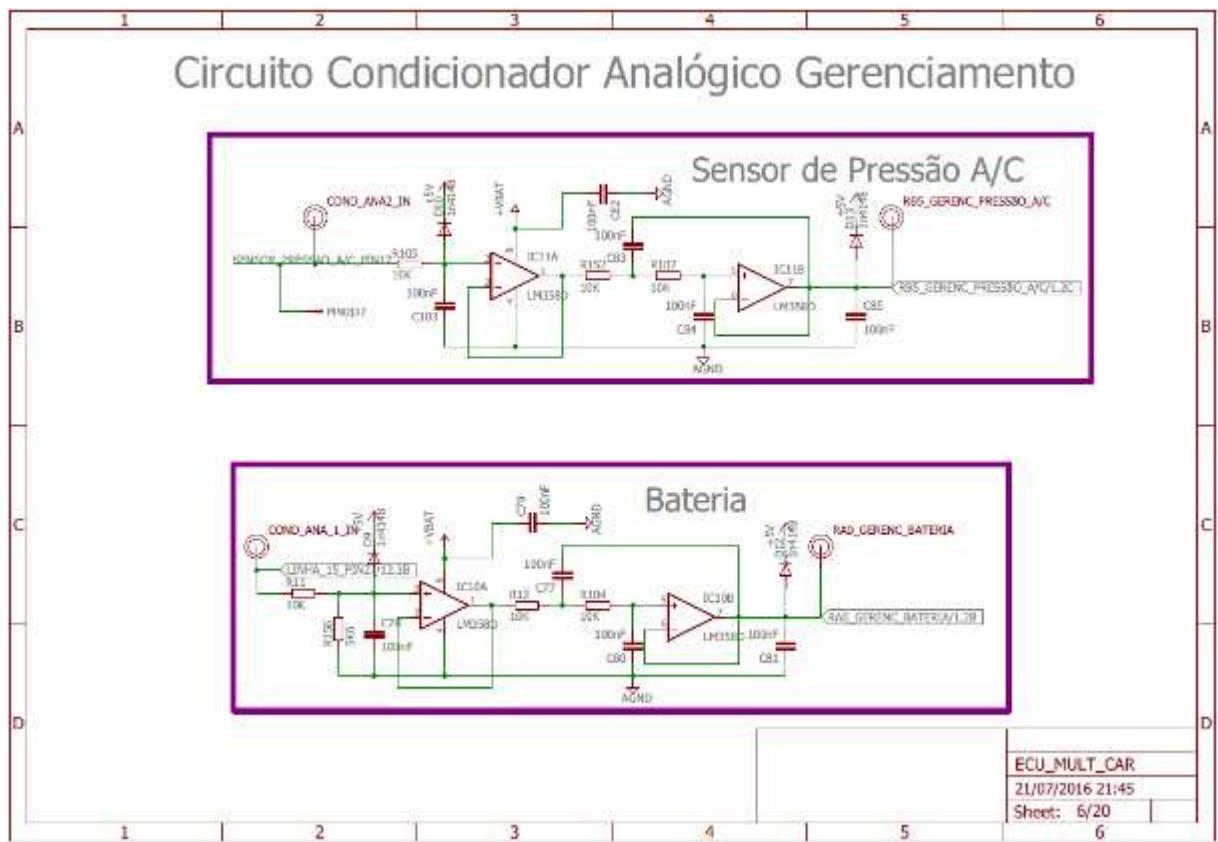
Figura 69: Entrada do sensor da Sonda lambda (pré e pôs catalisador). (Os autores)



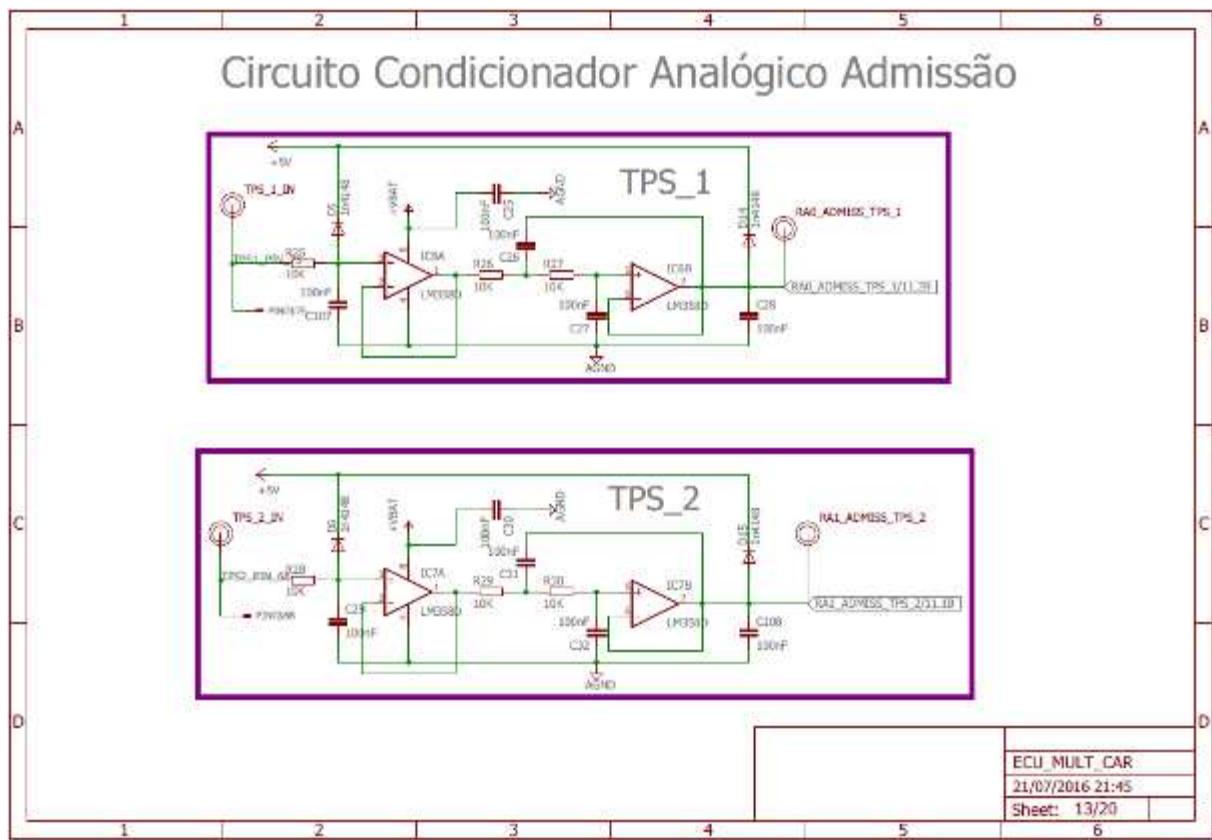
**Figura 70:** Condicionadores dos sensores de temperatura da agua e ar. (Os autores)



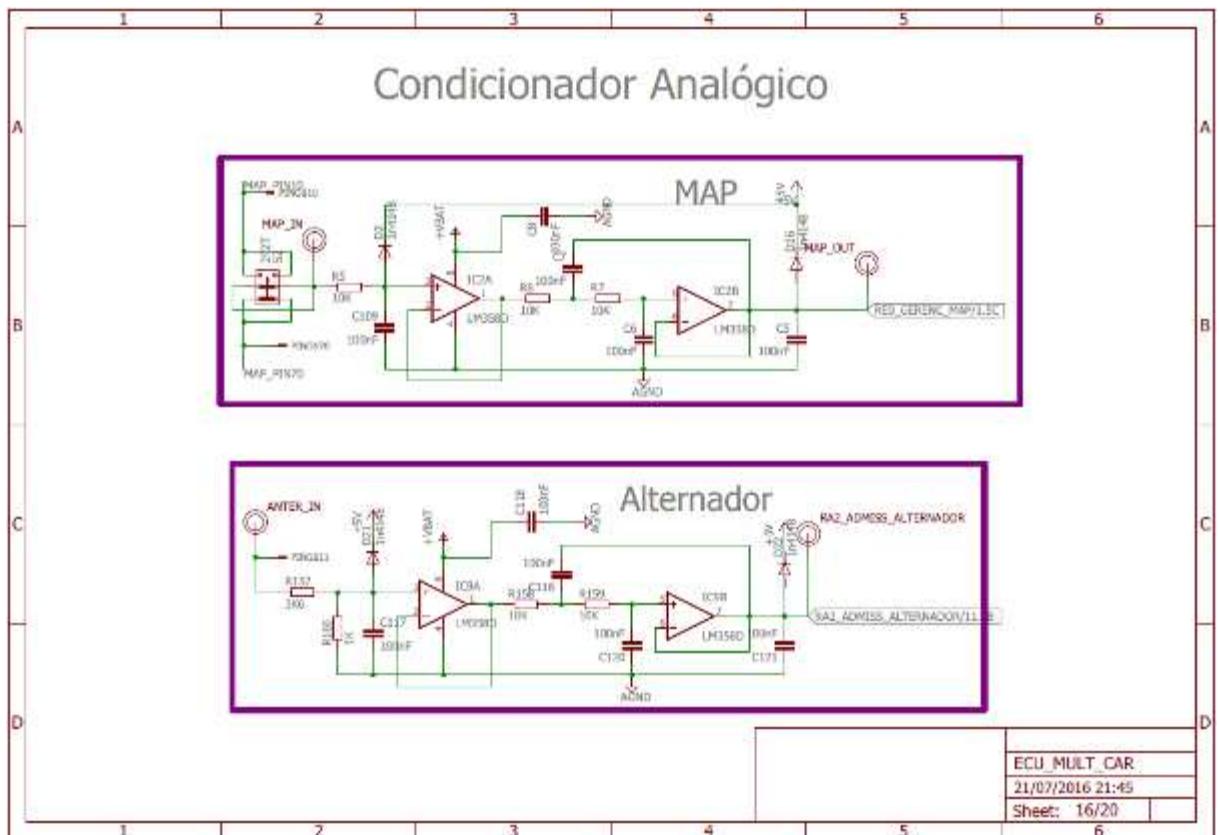
**Figura 71: Condicionadores dos sensores de pedal 1 e 2. (Os autores)**



**Figura 72: Condicionadores dos sensores de Pressão do ar condicionado e bateria. (Os autores)**



**Figura 73: Condicionadores dos sensores TPS (1 e 2). (Os autores)**



**Figura 74: Condicionadores dos sensores MAP e Alternador. (Os autores)**

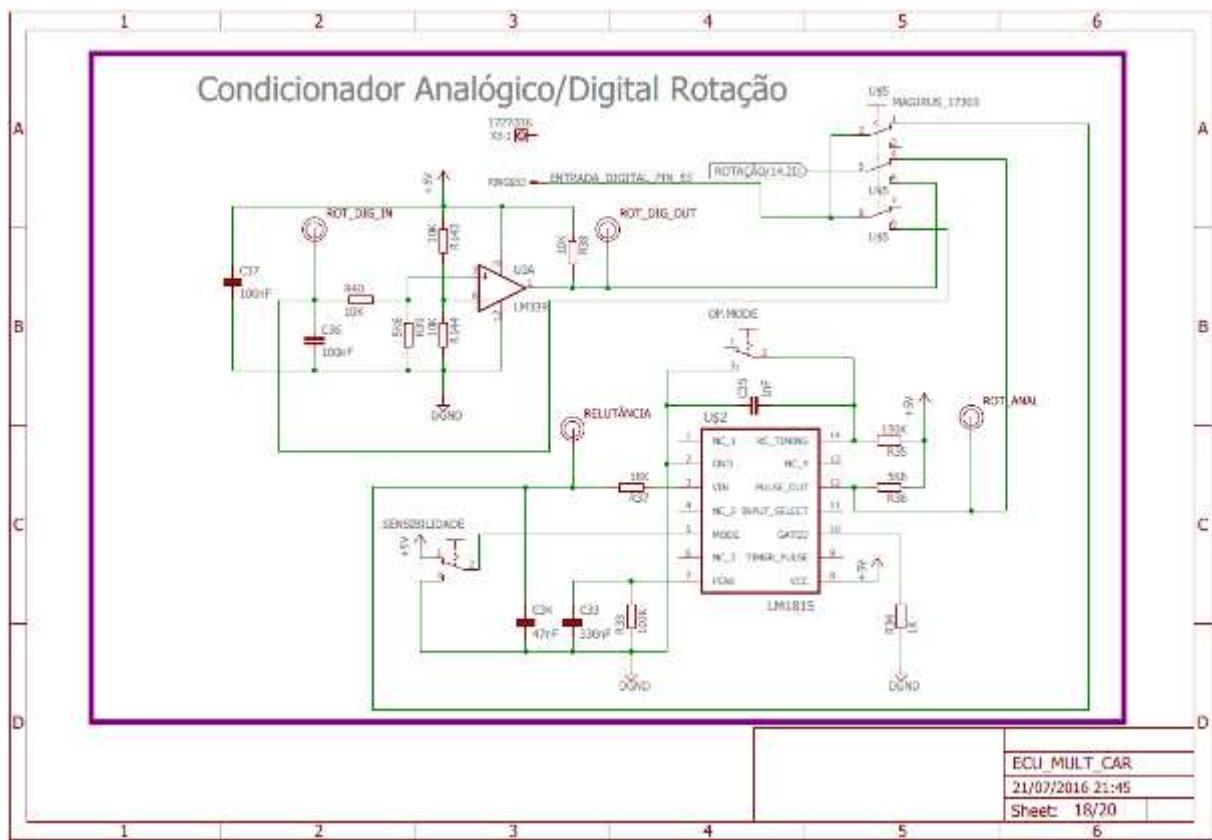
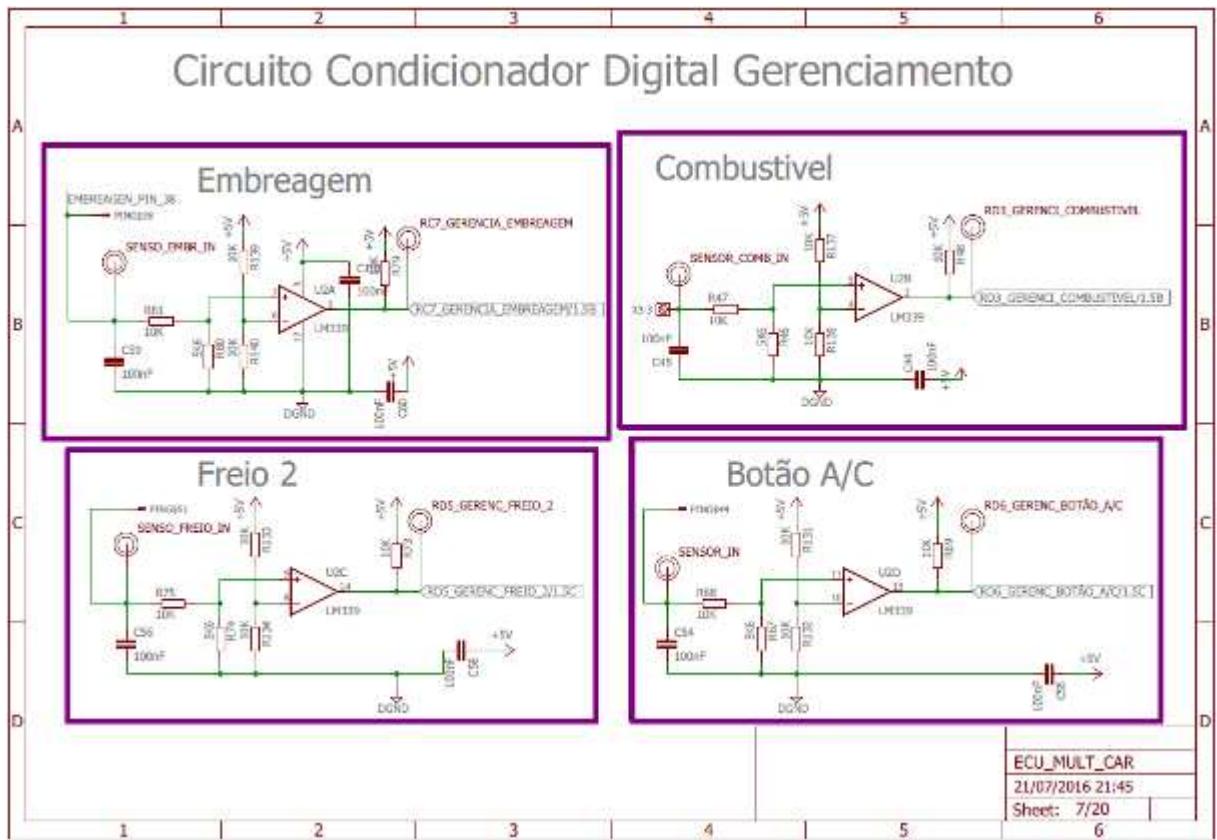
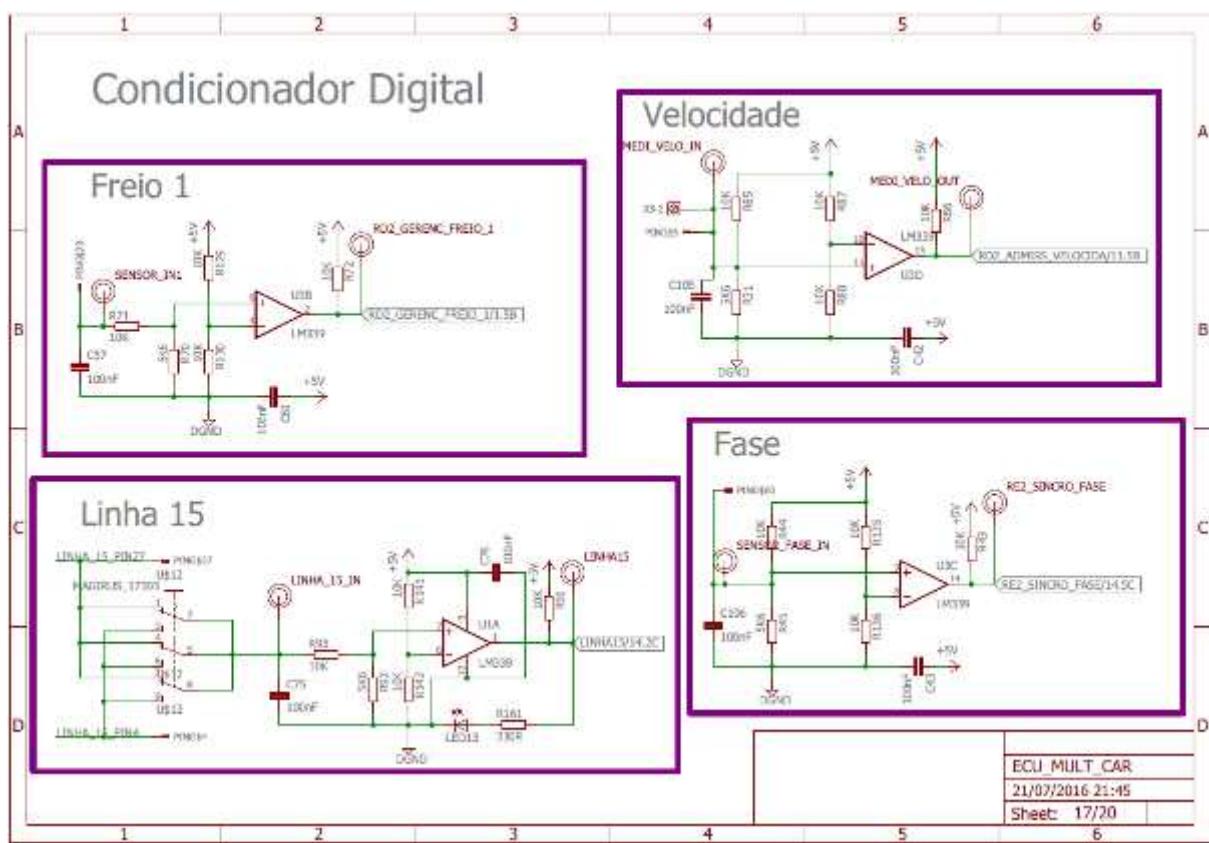


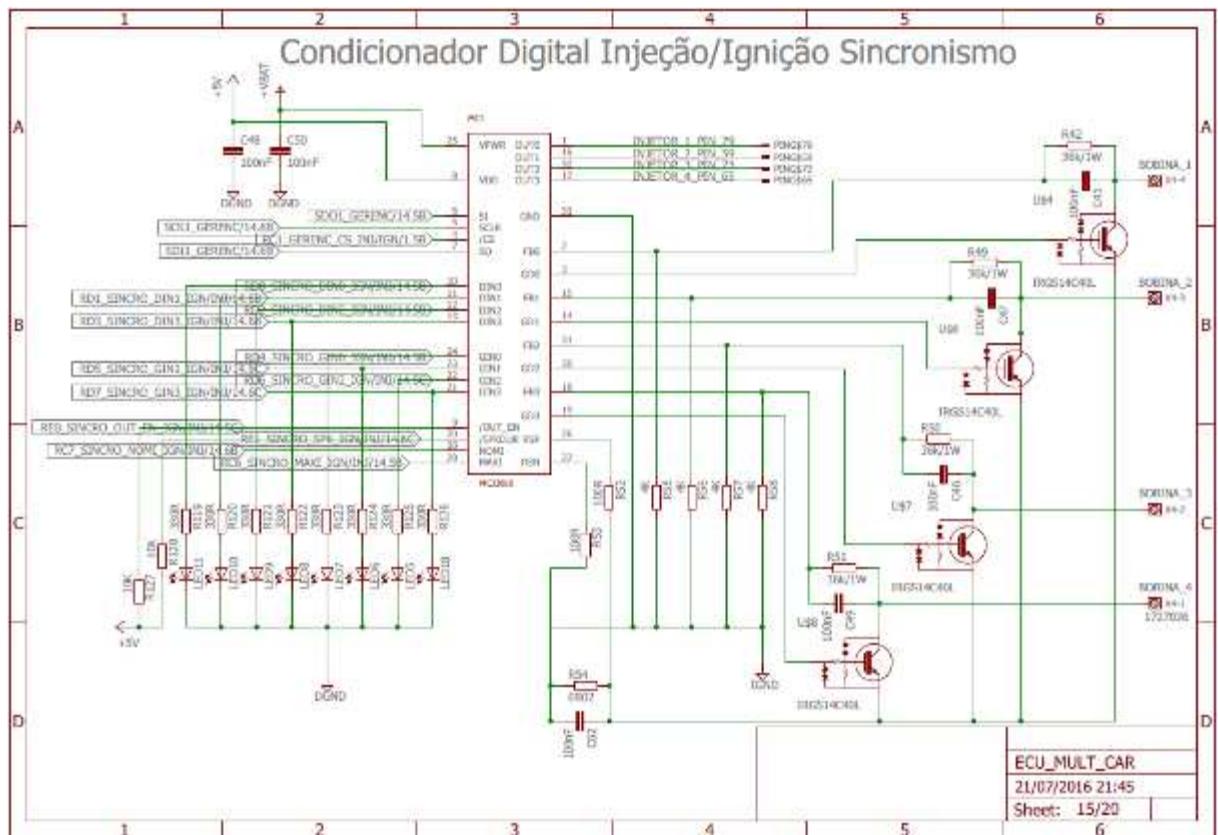
Figura 75: Condicionador do sensor de rotação. (Os autores)



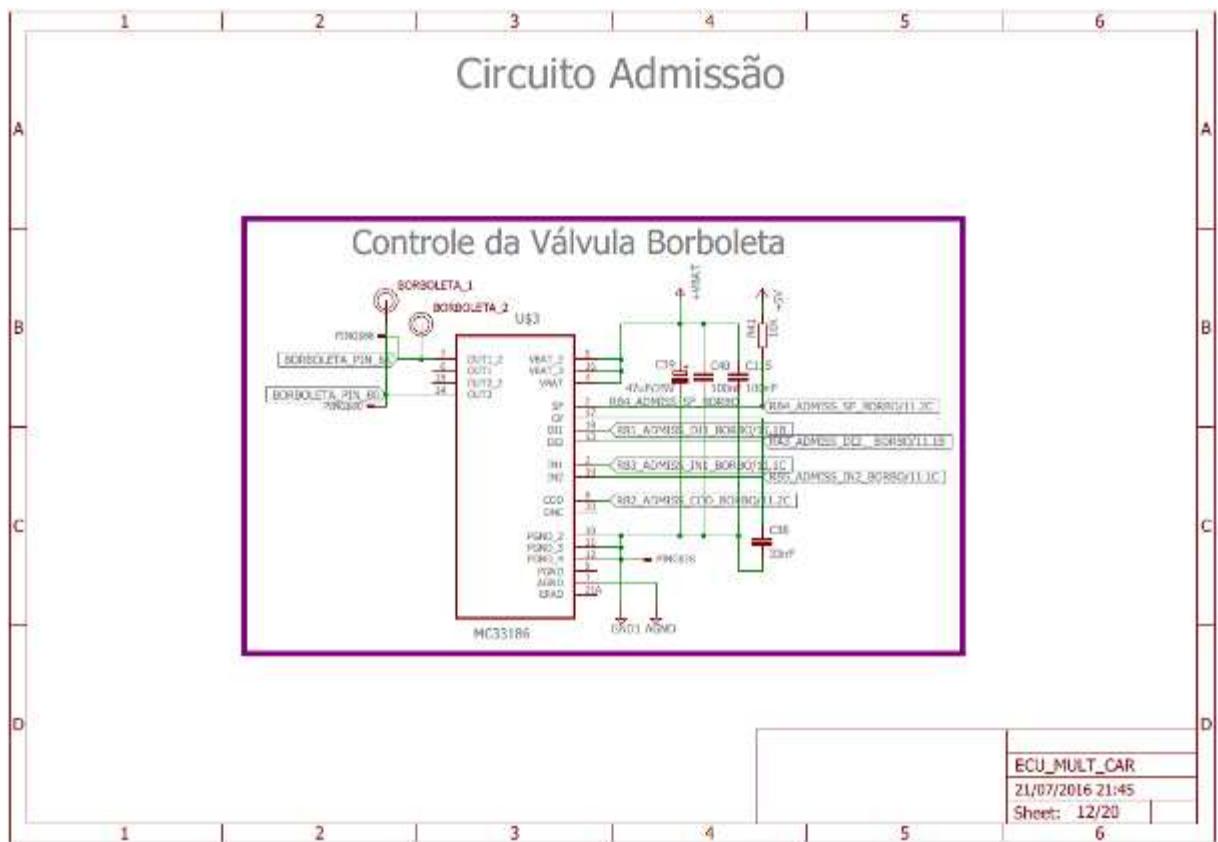
**Figura 76: Condicionadores dos sensores digitais de embreagem, combustível, freio 2 e botão do ar condicionado. (Os autores)**



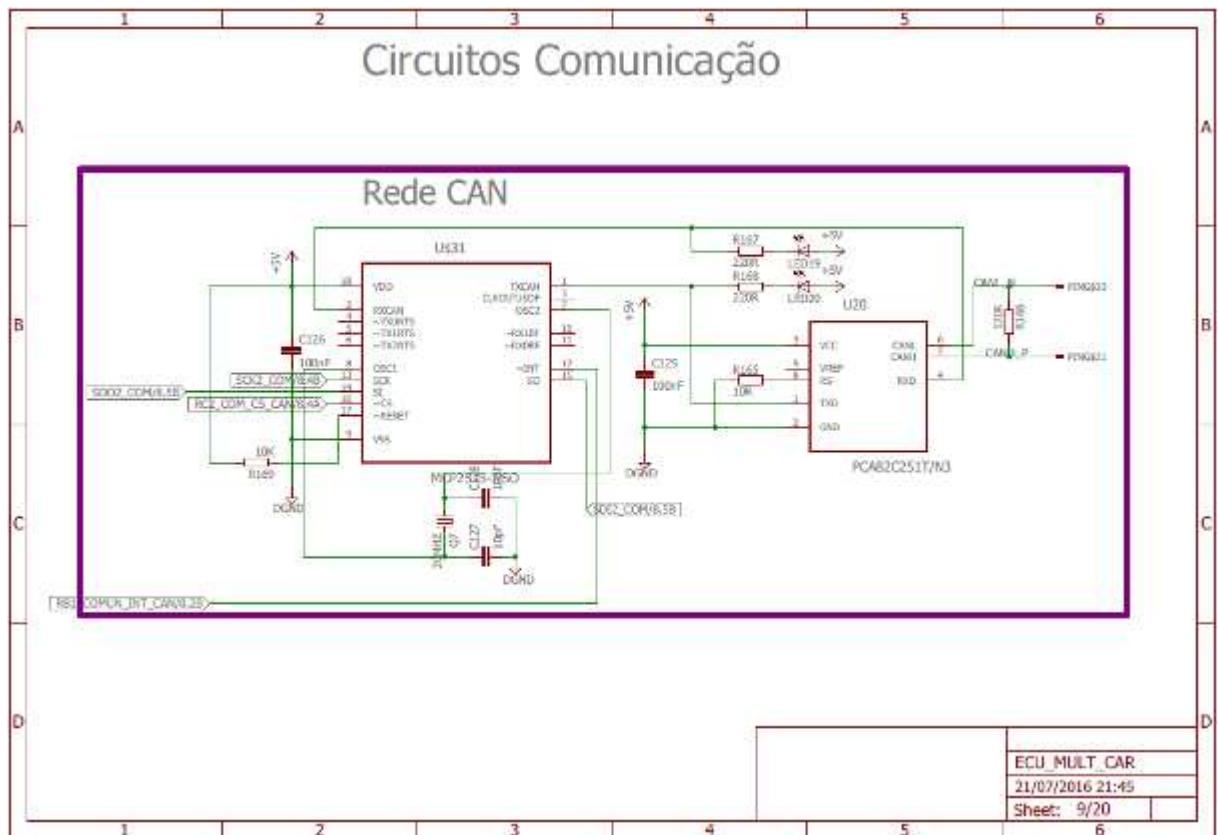
**Figura 77: Condicionadores dos sensores digitais de freio 1, velocidade, linha 15 e fase. (Os autores)**



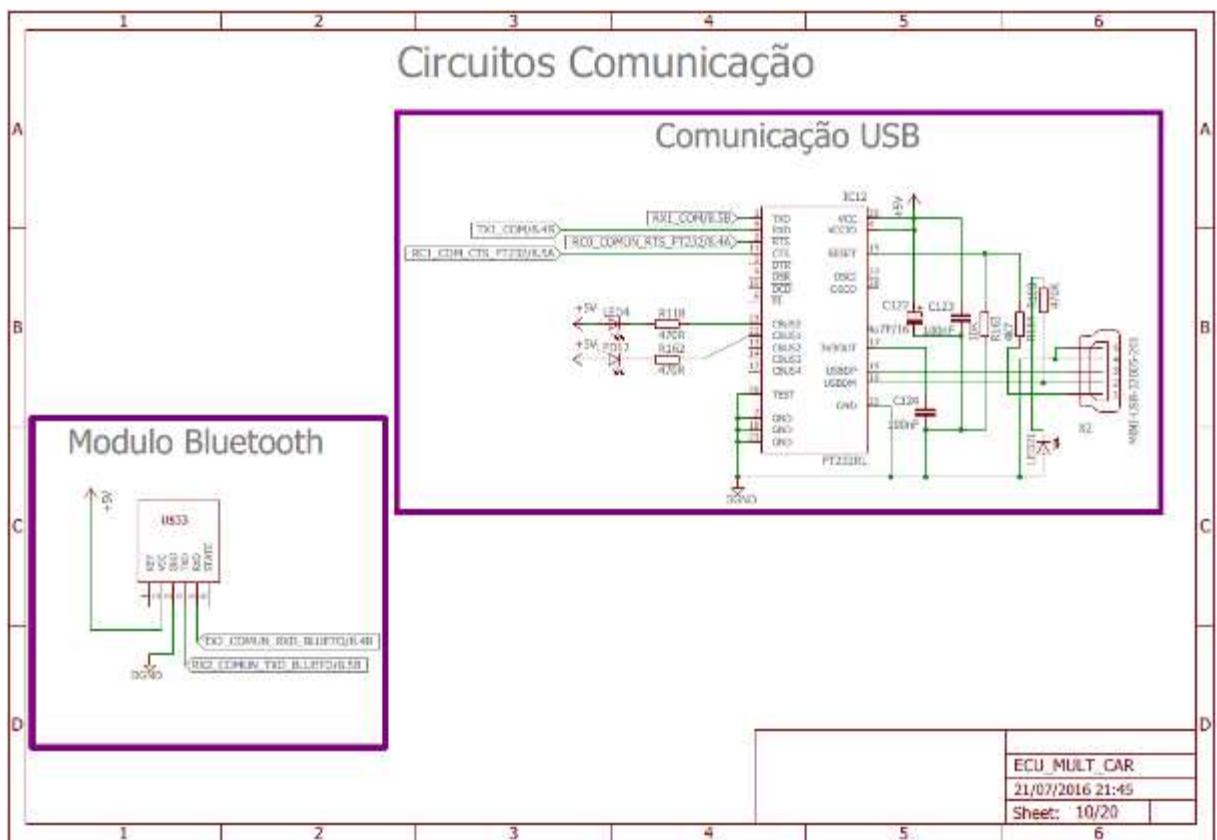
**Figura 78: Interface de ignição e injeção. (Os autores)**



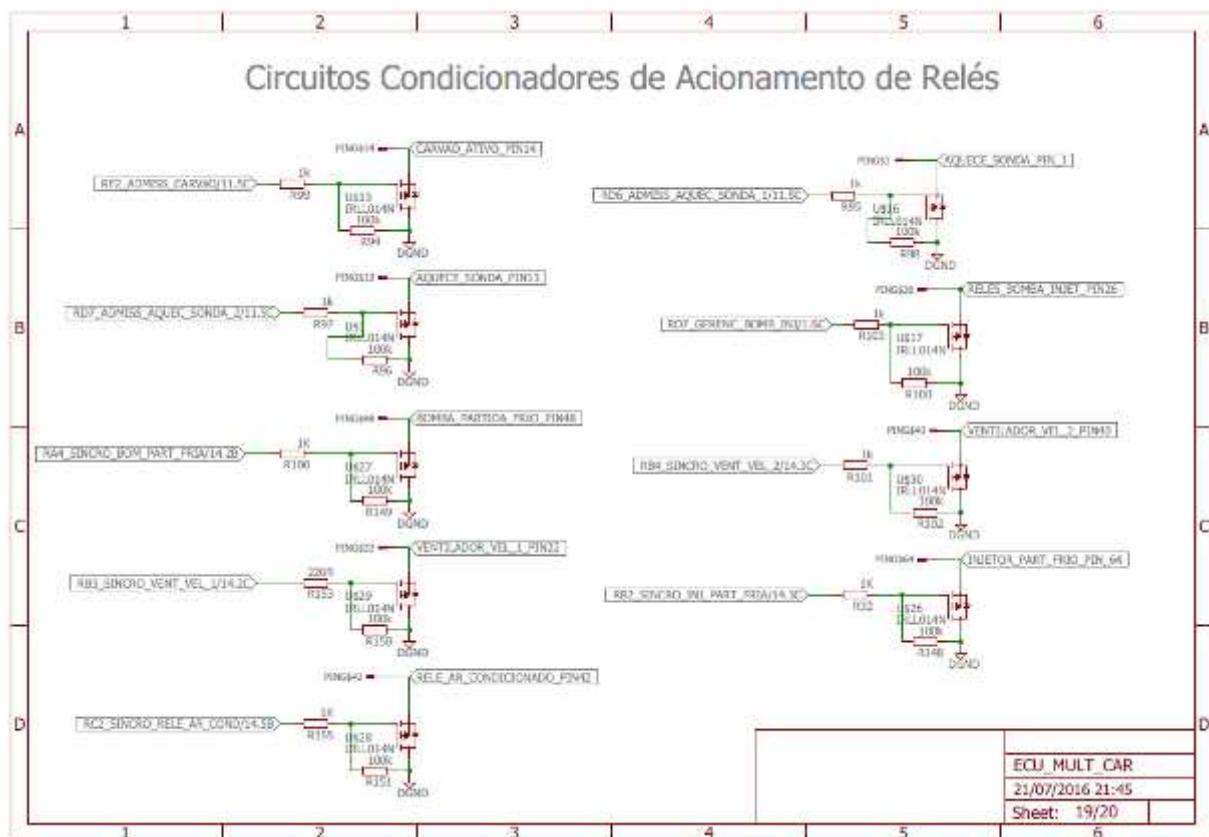
**Figura 79: Interface da válvula borboleta. (Os autores)**



**Figura 80: Interface da rede CAN. (Os autores)**



**Figura 81: Interface de USB. (Os autores)**



**Figura 82: Interface dos reles. (Os autores)**

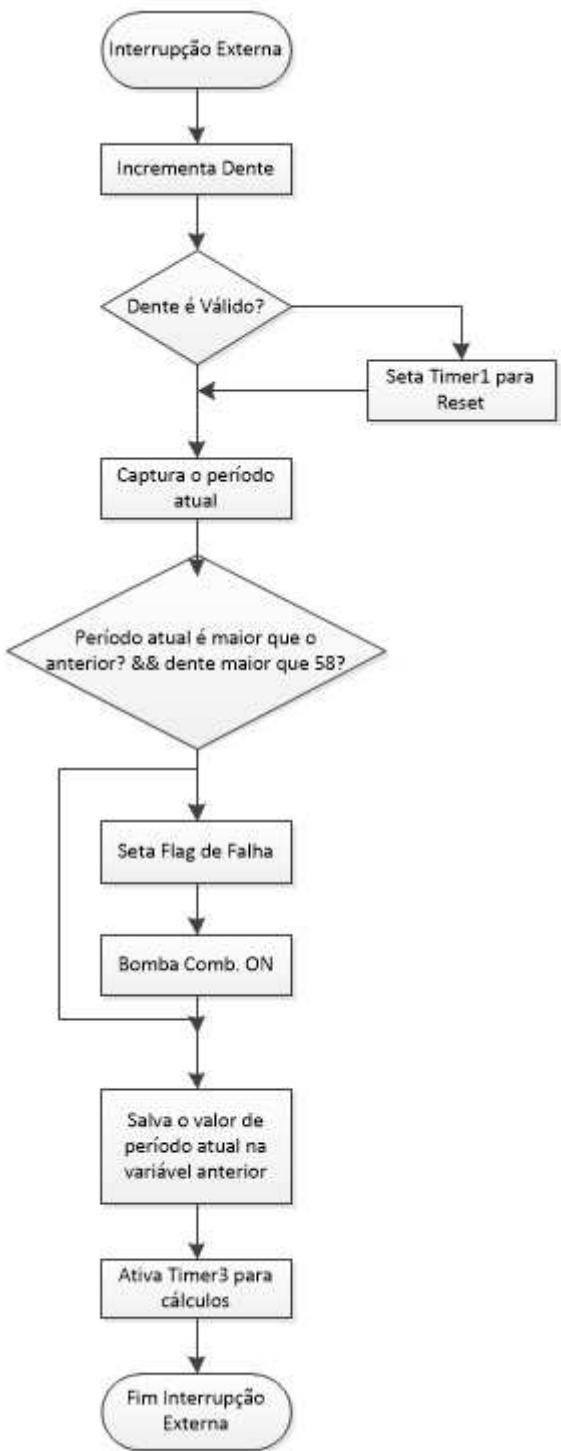
Informações						
A	B	C	D	E	F	G
 Alimentação 12 Volts Bateria do Veículo	 Alimentação 5 Volts retificada					
 Referência Negativa Analógica						
 Referência Negativa Ignição	 Referência Negativa Digital					
 Pinos que não foram usados						
				ECU MULT CAR 21/07/2016 21:45 Sheet: 20/20		

Figura 83: Informações. (Os autores)

## APÊNDICE B - *Firmware*



Figura 84: Fluxograma do PIC de Gerenciamento (1). (Os autores)



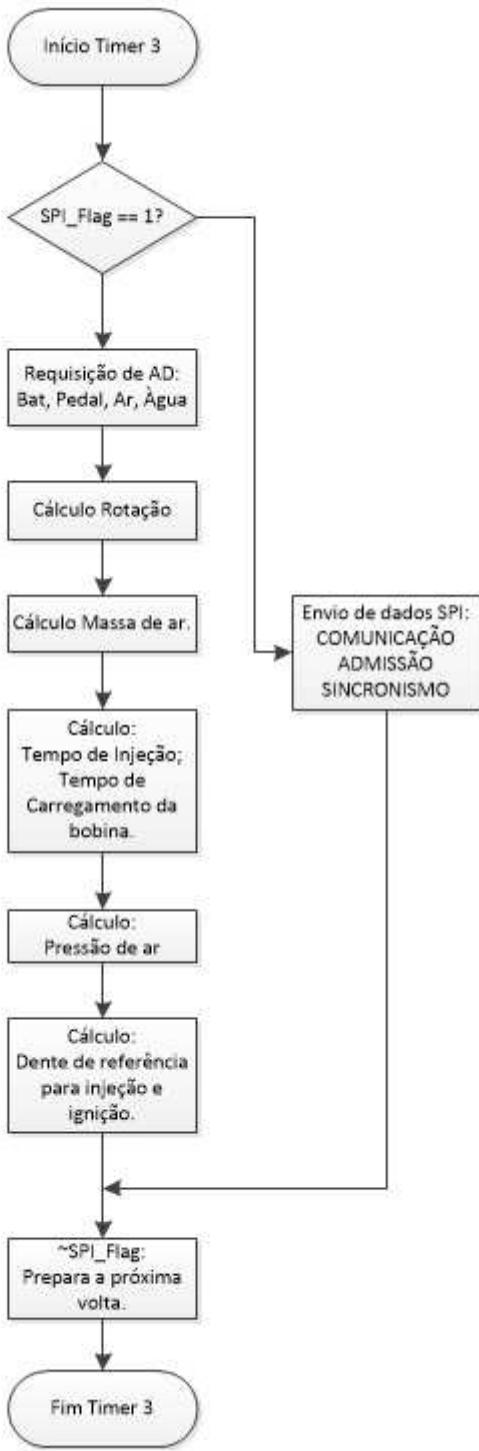
**Figura 85: Fluxograma do PIC de Gerenciamento (2). (Os autores)**



**Figura 86:** Fluxograma do PIC de Gerenciamento (3). (Os autores)



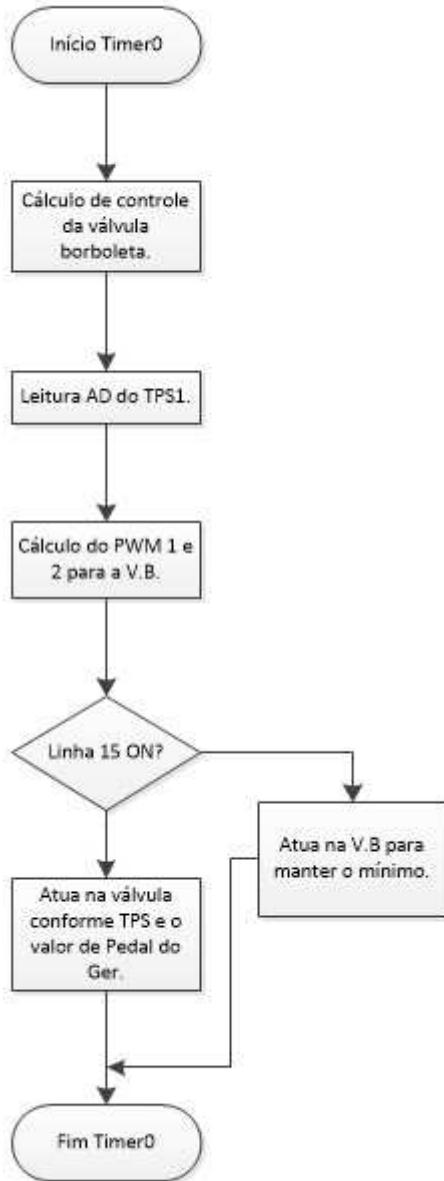
**Figura 87: Fluxograma do PIC de Gerenciamento (4). (Os autores)**



**Figura 88: Fluxograma do PIC de Gerenciamento (5). (Os autores)**



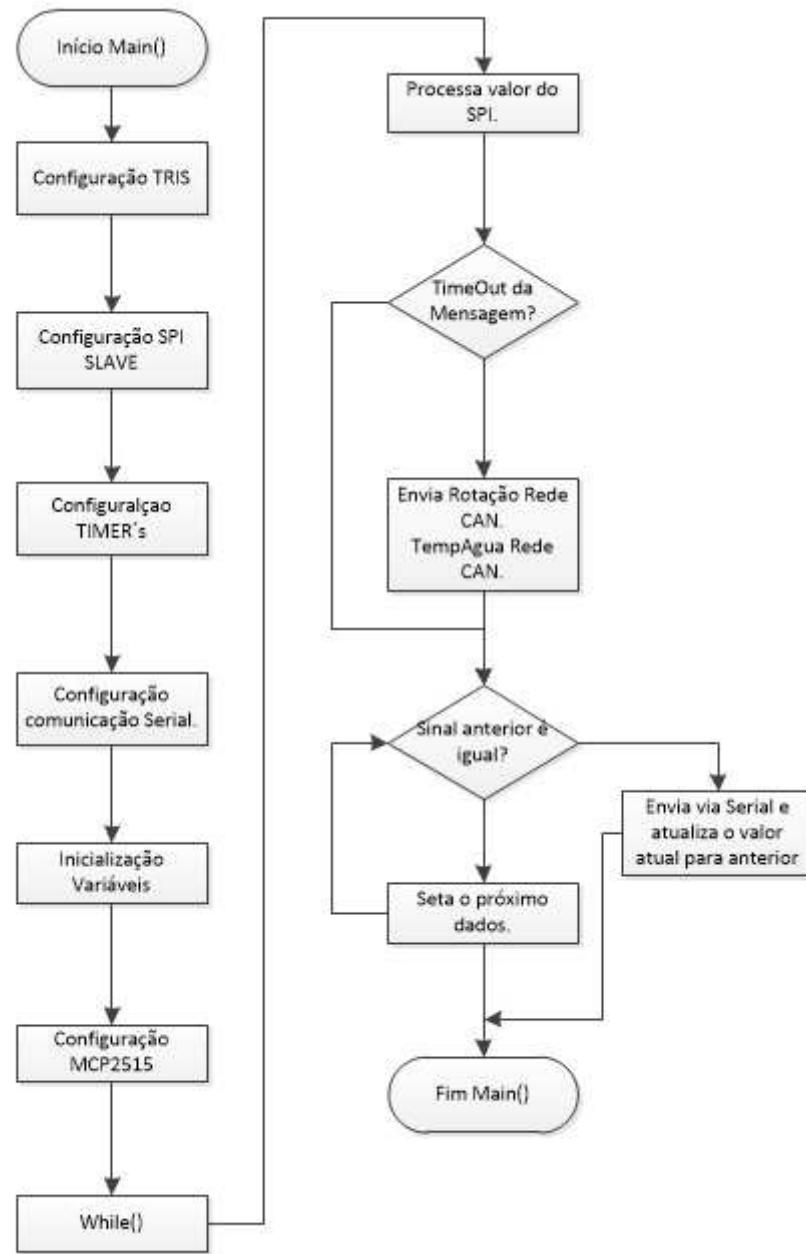
Figura 89: Fluxograma do PIC de Admissão (1). (Os autores)



**Figura 90: Fluxograma do PIC de Admissão (2). (Os autores)**



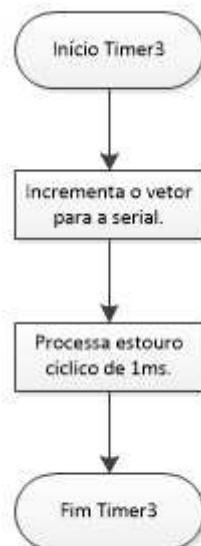
**Figura 91: Fluxograma do PIC de Admissão (3). (Os autores)**



**Figura 92: Fluxograma do PIC de Comunicação (1). (Os autores)**



**Figura 93:** Fluxograma do PIC de Comunicação (2). (Os autores)



**Figura 94:** Fluxograma do PIC de Comunicação (3). (Os autores)

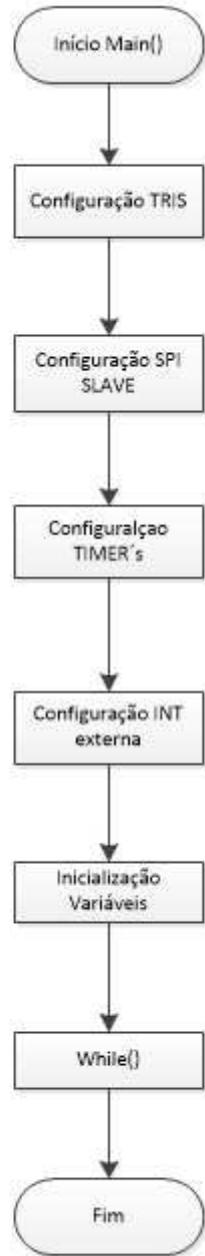


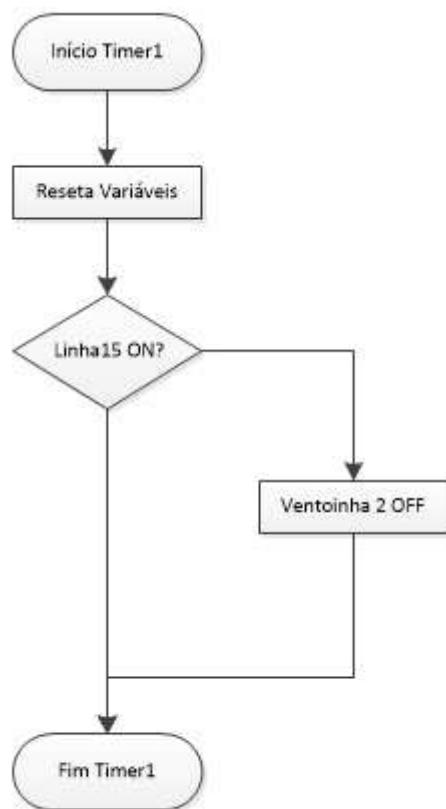
Figura 95: Fluxograma do PIC de Sincronismo (1). (Os autores)



**Figura 96:** Fluxograma do PIC de Sincronismo (2). (Os autores)



**Figura 97: Fluxograma do PIC de Sincronismo (3). (Os autores)**



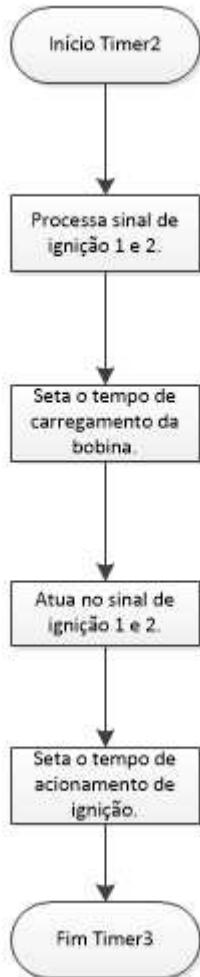
**Figura 98: Fluxograma do PIC de Sincronismo (4). (Os autores)**



**Figura 99:** Fluxograma do PIC de Sincronismo (5). (Os autores)



**Figura 100: Fluxograma do PIC de Sincronismo (6). (Os autores)**



**Figura 101: Fluxograma do PIC de Sincronismo (7). (Os autores)**

## APÊNDICE C – Curvas dos Sensores

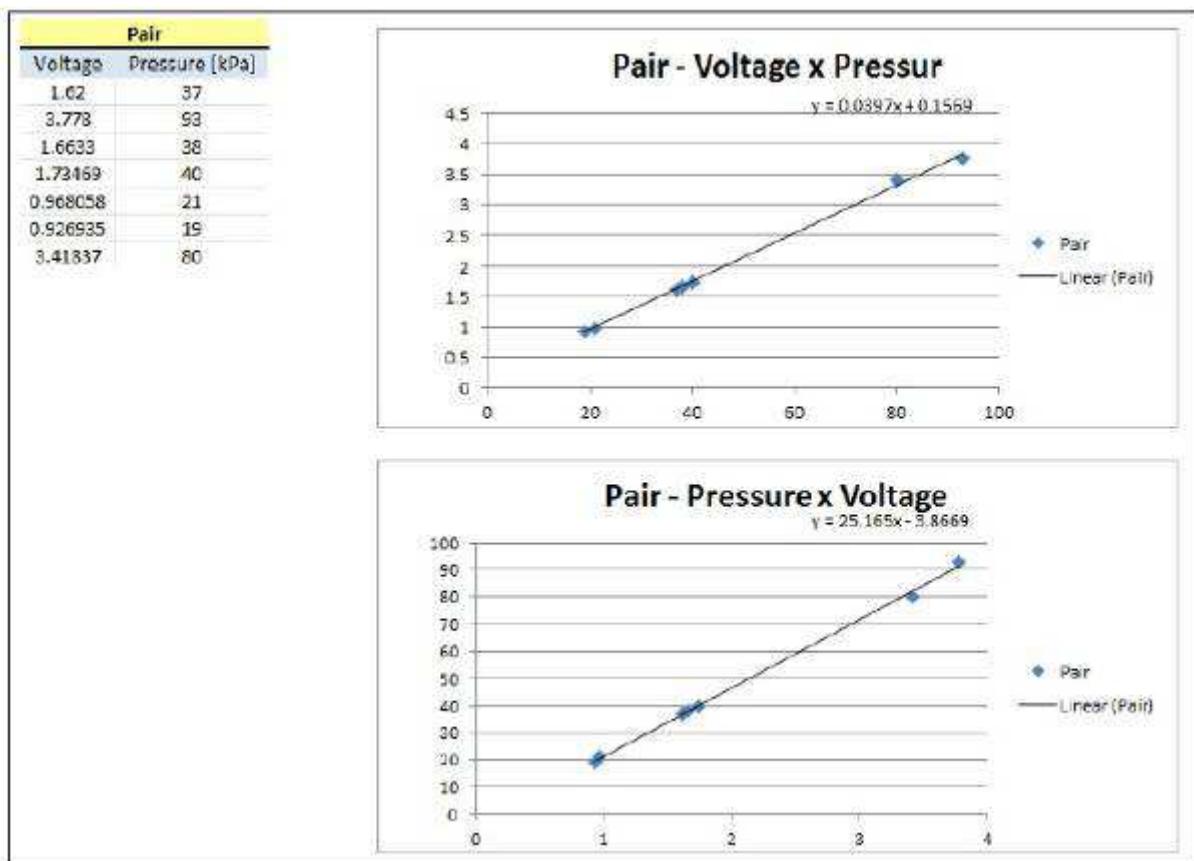


Figura 102: Curva do sensor do MAP. (Extraído de ROSSETTI, 2015)

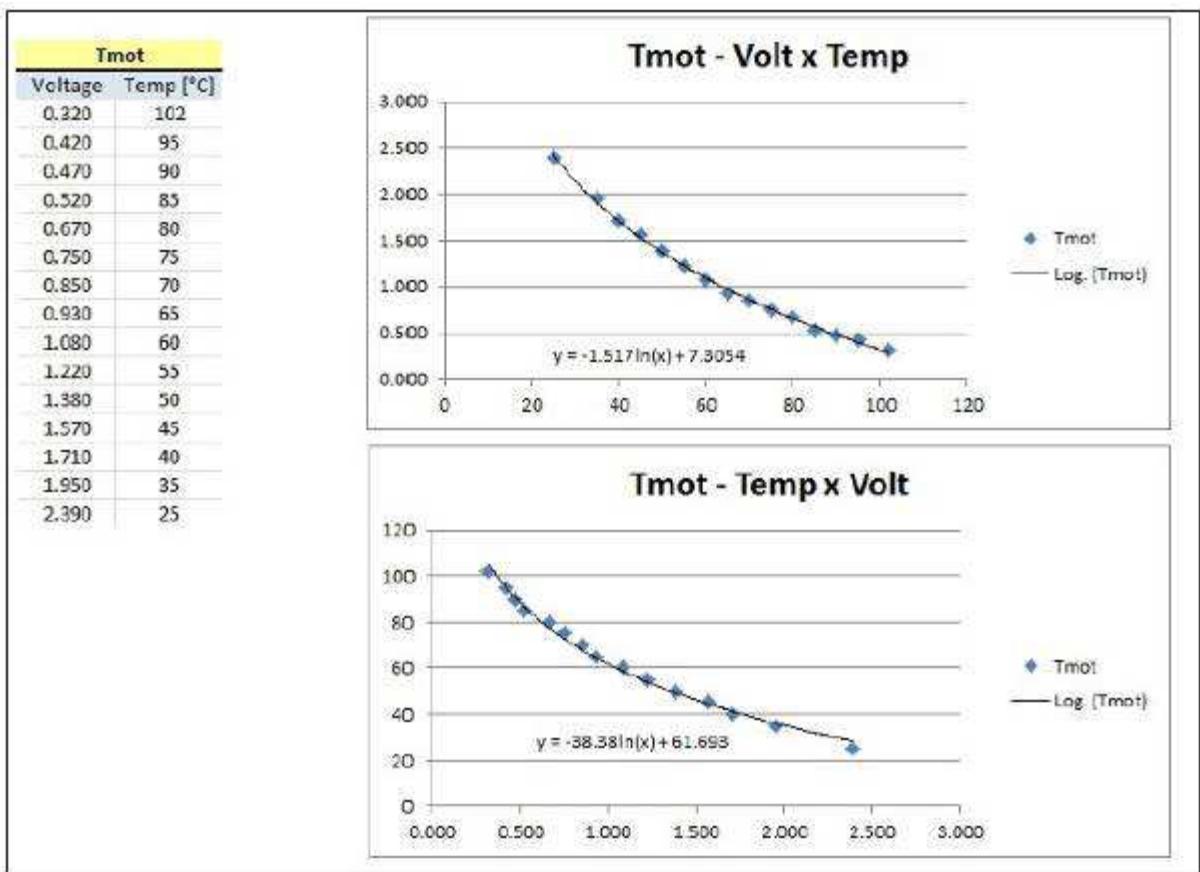


Figura 103: Curva do sensor NTC de temperatura do motor. (Extraído de ROSSETTI, 2015)

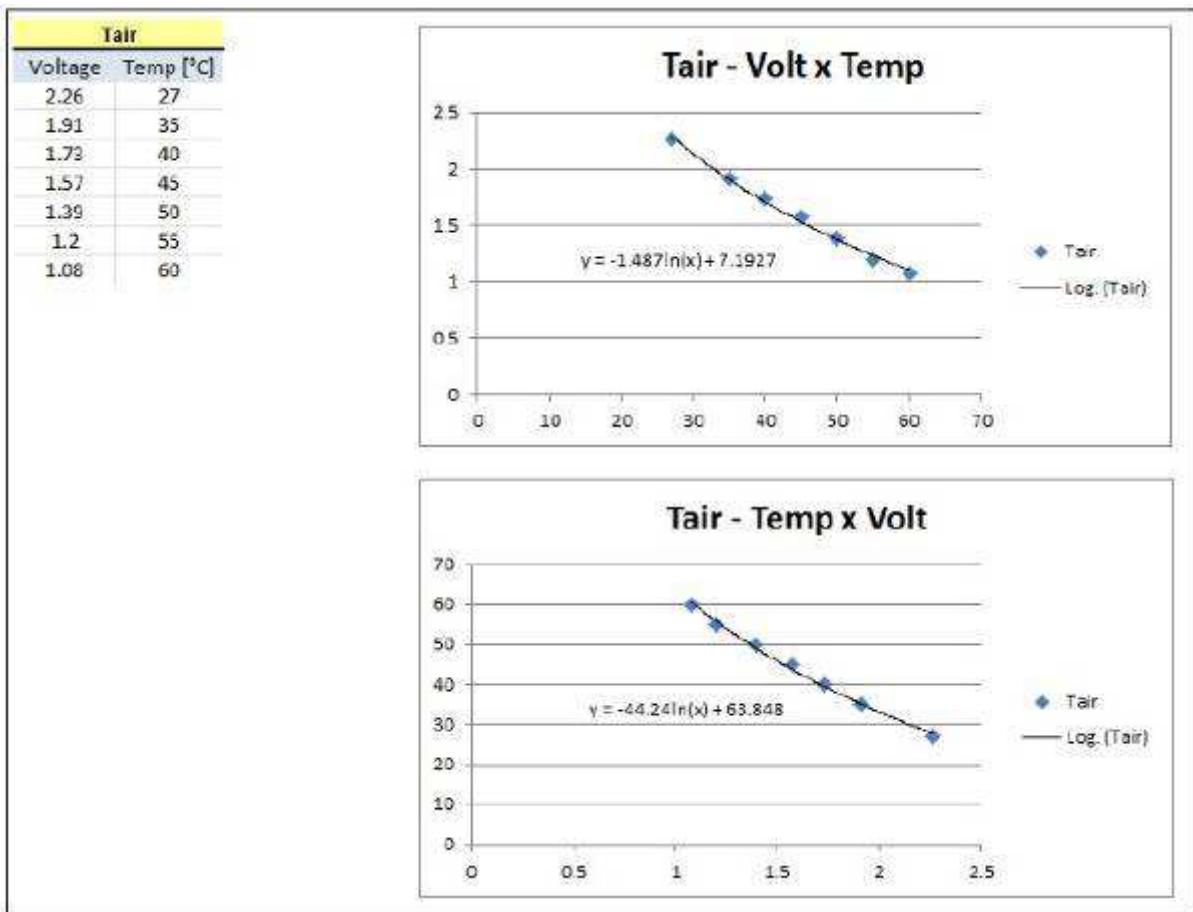
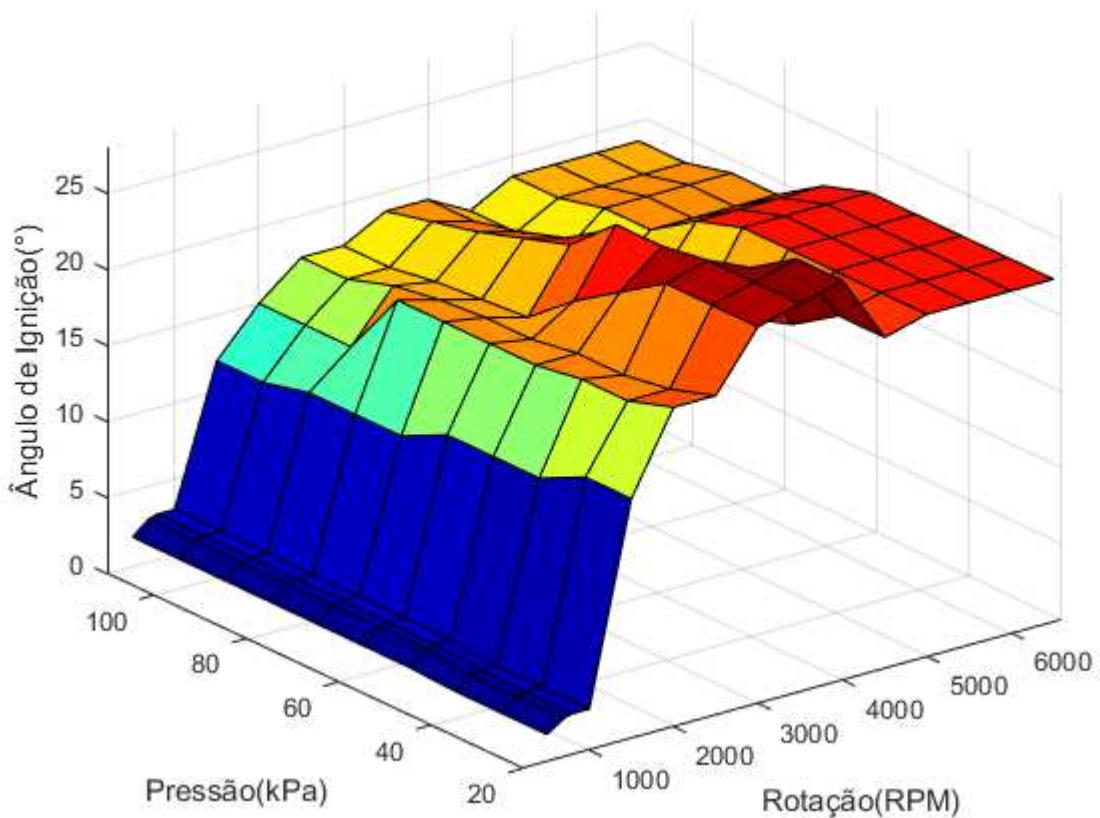
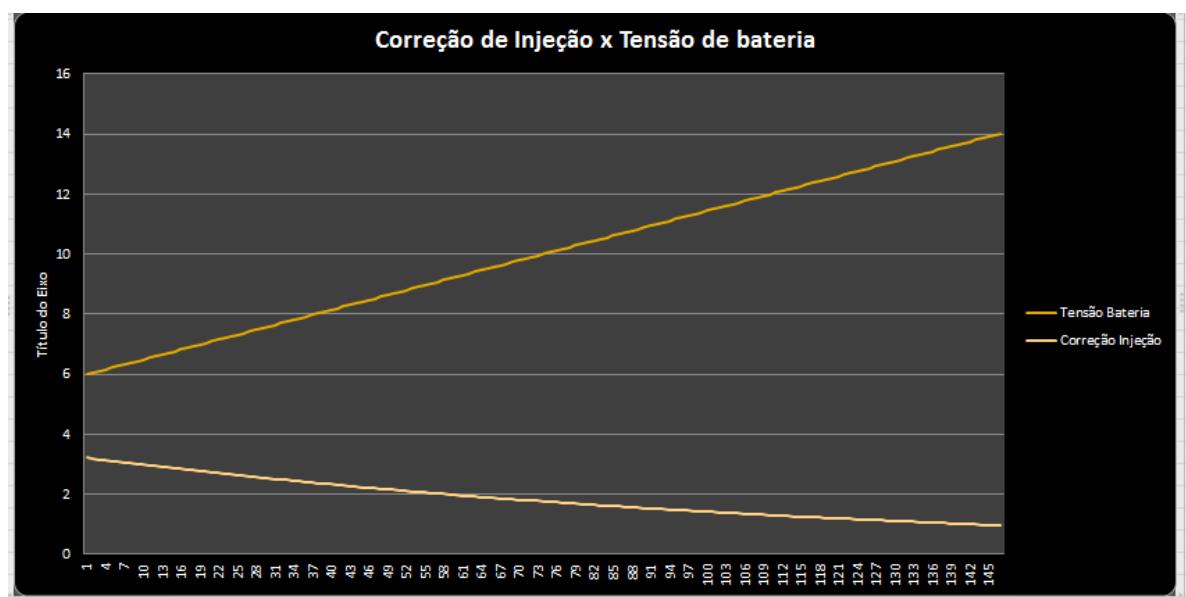


Figura 104: Curva do sensor NTC de temperatura do ar de admissão. (Extraído de ROSSETTI, 2015)



**Figura 105:** Mapa de ignição ECU IV. (Os autores)



**Figura 106:** Curva de correção de injeção pela tensão da bateria. (Os autores)