

**CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ**

Tecnologia em Eletrônica Automotiva

**Demerson Moscardini
Valter Manuel Jardim da Mata**

Santo André
2014

**CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ**

Tecnologia em Eletrônica Automotiva

Demerson Moscardini

Valter Manuel Jardim da Mata

Unidade de Gerenciamento Eletrônico de motor ciclo Otto

Microchip PIC

Volkswagen 2.0L: Plataforma de desenvolvimento III

Trabalho de Conclusão de Curso entregue à Fatec Santo André como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica Automotiva.

Orientador: Prof. Dr.
Antônio Armando Maria Laganá

Santo André
2014

LISTA DE PRESENÇA

SANTO ANDRÉ, 18 DE JUNHO DE 2014.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA
“UNIDADE DE GERENCIAMENTO DE MOTOR CICLO OTTO –
MICROCHIP PIC – VOLKSWAGEM 2.01 – PLATAFORMA DE
DESENVOLVIMENTO III” DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE
DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. DR. ARMANDO ANTONIO MARIA LAGANÁ 

MEMBROS:

PROF. LEOPOLDO RIDEKI YOSHIIDA 

PROF. ORLANDO DE SALVO JR. 

PROF. ANTONIO RENATO G. CRESPO 

ALUNO:

DEMERSON MOSCARDINI 

VALTER MANUEL JARDIM DA MATA 

FICHA CATALOGRÁFICA

Mata, Valter
Moscardini, Demerson
Unidade de gerenciamento do motor ciclo Otto – Microchip PIC –
Volkswagen 2.0L: Plataforma de desenvolvimento III / Demerson,
Valter Manuel. - Santo André, 2014. – f: 140.

Trabalho de conclusão de curso – FATEC - Santo André Curso de
Eletrônica Automotiva, 2014.
Prof. Dr. Antônio Armando Maria Laganá

1. Sistema eletrônico automotivo. 2. *ECU*. 3. Freescale. 4. PIC.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a nossas famílias pelo apoio nessa jornada que nós passamos com muita dificuldade, com um tempo curto e ajudando da melhor forma possível.

Ao nosso amigo e Prof. Armando Antônio Maria Laganá, orientador deste trabalho que vem desenvolvendo essa ideia deste projeto e nos incentivou dia a dia para a execução do mesmo. Além das sábias palavras me ditas quando mais precisei.

Ao Prof. Edson Caoru Kitani que agradeço pelas aulas ministradas durante o curso que proporcionou um grande crescimento profissional e acadêmico.

Aos nossos amigos Bruno Silva Pereira e Bruno César Fernandes Pereira da Poli-USP que constantemente ajudou no desenvolvimento do projeto, com ideias, incentivo e explicações.

Gostaria de agradecer a todos aqueles que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho. Agradeço aos professores, colaboradores e funcionários da Fatec Santo André que sempre estiveram prontos a nos ajudar.

RESUMO

Atualmente motores a combustão interna são amplamente utilizados em carros de passeio, motocicletas, veículos de transporte e motores estacionários. Esses motores necessitam de uma unidade eletrônica de controle para que efetue o controle da mistura ar/combustível, e também como outros parâmetros que são configurados eletronicamente. Esse trabalho constitui no desenvolvimento do gerenciamento eletrônico de motores ciclo Otto a partir de uma conversão de uma ECU (Electronic Control Unit) em programação dos micros controladores Freescale para Microchip PIC ambos em base da linguagem C e Assembly. Nesse conjunto possui circuitos eletrônicos com as funções de condicionar sinais de entrada de sensores que possui no motor. Com esses parâmetros de entrada é processado pelo gerenciamento eletrônico assim calculando a massa de combustível e avanço de ignição em todos os regimes do motor.

Esta unidade de gerenciamento eletrônico tem como base de projetos anteriores da FATEC, sendo a sua versão 1.2, assim ampliando possibilidades para novos desenvolvimentos e inovações nesta área automotiva.

Palavras chaves: Unidade de gerenciamento eletrônico automotivo, injeção eletrônica, Microchip PIC, *Freescale*.

ABSTRACT

Currently internal combustion engines are widely used in automobiles, motorcycles, transportation vehicles and stationary engines. These engines require an electronic control unit to make control of the air / fuel mixture, as well as other parameters that are configured electronically. This work is in the development of electronic management Otto cycle engines from the conversion of an ECU (Electronic Control Unit) programming of micro controllers for Freescale Microchip PIC based in both C and assembly language. In conjunction with electronics has the function of conditional input signals from engine sensors having circuits. With these input parameters is processed by the electronic management thus calculating the mass of fuel and spark timing at all engine speeds.

This electronic management unit builds on previous projects FATEC, in your version 1.2, expanding possibilities for new developments and innovations in the automotive field.

Keywords: Unit automotive electronic management, electronic fuel injection, Microchip PIC, Freescale.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE TABELAS	17
LISTA DE TERMOS, ABREVIATURAS E SIGLAS	18
1 INTRODUÇÃO	22
1.1. MOTIVAÇÃO.....	23
1.2. OBJETIVOS.....	24
1.3. CONTRIBUIÇÕES ESPERADAS.....	24
1.4. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	25
2 REFERENCIAL TEÓRICO	26
2.1 OBJETIVOS DO CAPÍTULO.....	26
2.2 A ORIGEM DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA CICLO OTTO..	26
2.3 FUNDAMENTOS DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA CICLO OTTO	27
2.4 PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA	29
2.5 FORMAÇÃO DA MISTURA CARBURANTE E OS GASES PRESENTES NA EXAUSTÃO	31
2.6 CONTROLE ELETRÔNICO EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA CICLO OTTO	35
2.7 SISTEMAS DE INJEÇÃO ELETRÔNICA.....	36
2.8 ARQUITETURA DAS UNIDADES DE CONTROLE ELETRÔNICO	39
2.8.1 SENSORES.....	41

2.8.2	ATUADORES.....	42
2.9	TIPOS DE ARQUITETURA.....	43
2.10	PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO.....	44
2.10.1	PROTOCOLO SPI.....	45
2.10.2	PROTOCOLO UART.....	47
2.10.3	PROTOCOLO CAN.....	48
2.10.4	CONTROLADORES DO TIPO PROPORCIONAL-MAIS-INTEGRAL (PI)	49
2.11	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
3	METODOLOGIA DA CONFECÇÃO DO HARDWARE.....	51
3.1	DESCRIÇÃO GERAL.....	51
3.2	VEÍCULO UTILIZADO.....	52
3.3	HARDWARE.....	53
3.4	DESCRIÇÃO DOS BLOCOS DE MICROCONTROLADORES.....	56
3.4.1	BLOCO DE GERENCIAMENTO.....	58
3.4.2	BLOCO DE SINCRONISMO.....	59
3.4.3	BLOCO DE ADMISSÃO.....	60
3.4.4	BLOCO DE COMUNICAÇÃO.....	61
3.4.5	REGULADOR DE TENSÃO.....	62
3.4.6	CIRCUITO CONDICIONADORES.....	62
3.4.7	CIRCUITOS ANALÓGICOS.....	63
3.4.8	SENSORES DIGITAIS.....	66
3.4.9	SENSOR DE RELUTÂNCIA VARIÁVEL.....	67

3.4.10	CIRCUITO DA INTERFACE DOS ATUADORES	68
3.4.11	CIRCUITO DE INTERFACE DAS VÁLVULAS INJETORAS E BOBINAS DE IGNIÇÃO	69
3.4.12	CIRCUITO DE INTERFACE DE RELÉS.....	71
3.4.13	INTERFACE DA VÁLVULA BORBOLETA	72
3.4.14	INTERFACE DOS DIODOS EMISSORES DE LUZ (LED)	74
3.4.15	DISPLAY DE CRISTAL LÍQUIDO	75
3.4.16	INTERFACE DE REDE DE COMUNICAÇÃO AUTOMOTIVA CAN.....	76
3.4.17	CONVERSOR UART-USB	77
3.4.18	PINAGEM DA PLACA	78
3.5	FERRAMENTAS UTILIZADAS PARA CONFECÇÃO DO HARDWARE .	80
4	SOFTWARE DA APLICAÇÃO (FIRMWARE)	81
4.1	GERENCIAMENTO.....	82
4.2	SINCRONISMO.....	86
4.3	ADMISSÃO	90
4.4	COMUNICAÇÃO.....	91
4.5	SOFTWARE DE DIAGNOSE	94
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	95
5.1	ETAPAS INDIVIDUAIS EM BANCADA	96
5.1.1	OBTENÇÃO DO SINAL DE ROTAÇÃO	96
5.1.2	SIMULAÇÃO DOS PULSOS DE IGNIÇÃO.....	100
5.1.3	PULSOS DE INJEÇÃO.....	100
5.1.4	VÁLVULA BORBOLETA.....	102

5.2	TESTES NO VEÍCULO	104
5.3	CURVAS DE POTÊNCIA.....	107
6	DISCUSSÕES FINAIS E CONCLUSÃO	109
6.1	ÁREAS DE APLICAÇÃO DAS CONTRIBUIÇÕES DESTA TESE	110
6.2	PROPOSTAS FUTURAS DE PESQUISA.....	110
7	REFERENCIAS	111
	<i>APÊNDICE A - HARDWARE</i>	114
	<i>APÊNDICE B - FIRMWARE</i>	129

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Diagrama P-V do ciclo Otto. [EXTRAÍDO DE MORAN & SHAPIRO, 2002]	27
Figura 2 - Ciclo Otto. [EXTRAÍDO ADAPTADO DE YANSWERZ BLOGSPOT, 2009]	28
Figura 3 - Disposição das principais peças mecânicas de um MCI. [EXTRAÍDO DE OLIVEIRA, 2009].....	29
Figura 4 - Potência, consumo específico e emissões em função de λ [EXTRAÍDO DE SILVA, 2006]......	33
Figura 5 - Sistema de injeção indireta monoponto [ADAPTADO DE PUJATTI, 2007].	37
Figura 6 - Sistema de injeção indireta multiponto [ADAPTADO DE PUJATTI, 2007].	38
Figura 7 - Sistema de injeção direta multiponto [ADAPTADO DE BOSCH, 2005]. ...	39
Figura 8 - Três estágios para os controladores de uma ECU [EXTRAÍDO DE BRAGA, 2007].	39
Figura 9 - Diagrama básico de controle de uma ECU [ADAPTADO DE BRAGA, 2007].	41
Figura 10 - Esquema de ligações de uma rede de comunicação SPI [MICROSHIP, 2012]	45
Figura 11 - Carta de tempos da comunicação SPI no S12X [FREESCALE, 2012]...46	
Figura 12 - Formato do protocolo de comunicação UART [FREESCALE, 2012]	47
Figura 13 - Exemplo de CAN BUS [CANBUSKIT, 2014].....	48
Figura 14 - Controle de malha fechada [Silva Bazanella, 2000].....	49
Figura 15 - ECU com microcontroladores Freescale [O AUTOR]	52
Figura 16 - ECU com microcontroladores PIC - Diagrama ECU Didática Fatec V 1.2 [O AUTOR].....	52
Figura 17 - Cofre do motor do Volkswagen Polo 2.0L[EXTRAÍDO, PEREIRA 2013]	53

Figura 18 - Diagrama ECU Didatica Fatec V 1.2 [O AUTOR].....	54
Figura 19 - Diagrama ECU Didatica Fatec V 1.2 modificada [O AUTOR]	56
Figura 20 - PIC18F44K22[EXTRAÍDO DE MICROCHIP].....	57
Figura 21 - PIC18F452 [EXTRAÍDO DE MICROCHIP]	57
Figura 22 - PIC18F4680 [EXTRAÍDO DE MICROCHIP]	58
Figura 23 - Bloco de gerenciamento [ADAPTADO, DIAS 2011].....	59
Figura 24 - Bloco de sincronismo [ADAPTADO DIAS, 2011]	60
Figura 25 - Bloco de admissão [O AUTOR].....	60
Figura 26 - Bloco de comunicação [ADAPTADO DIAS, 2011]	61
Figura 27 - Esquema elétrico regulador de tensão [O AUTOR]	62
Figura 28 - Sensores analógicos [EXTRAÍDO DE DIAS, 2011]	63
Figura 29 - Sensores analógicos linha 30 (12 Volts da bateria) [EXTRAÍDO DE DIAS, 2011]	64
Figura 30 - Esquema elétrico do filtro analógico de segunda ordem [EXTRAÍDO DE PEREIRA, 2013].....	65
Figura 31 - Sensores digitais linha 30 [EXTRAÍDO DE DIAS, 2011]	66
Figura 32 - Sensor de relutância variável [EXTRAÍDO DE PUJATTI, 2007].	67
Figura 33 - Circuito condicionador do sensor de relutância variável (RPM rotação) [EXTRAÍDO DE DIAS, 2011].....	68
Figura 34 - Exemplo de aplicação do MC33810[EXTRAÍDO FRESCALLE, 2008]....	69
Figura 35 - Diagrama driver MC33810 para acionar injetores e ignição [EXTRAÍDO DE DIAS, 2011].	70
Figura 36 - Saída de acionamento do driver de potência [EXTRAÍDO, DIAS 2011].	71
Figura 37 - Esquema elétrico de acionamento do relé [EXTRAÍDO DE DIAS, 2011].	72
Figura 38 - Exemplo de aplicação CI 33186 [EXTRAÍDO DE FREESCALE, 2011].	73
Figura 39. - Tabela da verdade do CI 33186 [EXTRAÍDO DE FREESCALE, 2011].	74
Figura 40 - Interface dos diodos emissores de luz [EXTRAÍDO DE DIAS, 2011]	75

Figura 41 - Interface do display de cristal líquido [EXTRAÍDO DE DIAS, 2011].....	76
Figura 42 - Interface de comunicação CAN [EXTRAÍDO DE DIAS, 2011].	77
Figura 43 - Interface USB e UART [EXTRAÍDO DE DIAS, 2011].....	78
Figura 44 - Placa desenvolvida no Software Proteus.....	81
Figura 45 - Diagrama do controle de rotação [EXTRAÍDO DE PEREIRA, 2013].	82
Figura 46 - Gráfico 3D do mapa de ignição final [EXTRAÍDO PEREIRA, 2013].	85
Figura 47 - Sinal de rotação e sinal de detecção da falha da roda fônica [EXTRAÍDO PEREIRA, 2013].....	87
Figura 48 - Relação da roda fônica com o sinal de rotação [ADAPTADO ALDALADEJO, 2013].	88
Figura 49 - Sinal de ignição com ilustração dos parâmetros de acionamento [EXTRAÍDO PEREIRA, 2013].	89
Figura 50 - Diagrama de controle da válvula borboleta [Adaptado de Pereira, 2013].	90
Figura 51 - Aplicação de Monitoramento desenvolvida no Visual C# [EXTRAÍDO PEREIRA, 2013].....	94
Figura 52 - Kit sensor relutância da Fatec Santo André [O AUTOR].....	97
Figura 53 - Sinal original do sensor (amarelo) e sinal da saída do CI LM1815 (verde) [O AUTOR].....	97
Figura 54 - Diagrama do circuito roda fônica [EXTRAÍDO DE DIAS, 2011].....	98
Figura 55 - Aplicação utilizada para a geração do sinal de rotação [EXTRAÍDO PEREIRA, 2013].....	99
Figura 56 - Sinal original do VW Polo (em amarelo) e sinal gerado pela ECU Fatec (em azul). [O AUTOR]	100
Figura 57 - Kit injeção Fatec Santo André [O AUTOR]	101
Figura 58 - Característica do sinal dos 4 injetores [O AUTOR].	101
Figura 59 - Kit válvula borboleta Fatec Santo André [O AUTOR].....	102
Figura 60 - Curva de resposta pedal (em amarelo) – TPS da válvula borboleta (em verde) [O AUTOR].....	103

Figura 61 - Curva de resposta pedal (em amarelo) – TPS da válvula borboleta (em verde) e tempo de resposta [O AUTOR]	103
Figura 63 - Intersecção dos sinais do Motor Volkswagen 2.0L [EXTRAÍDA PEREIRA, 2013].	107
Figura 62 - ECU 1.2V conectada à intersecção [O AUTOR].	107
Figura 64 - Curva de potência utilizando ECU original, em vermelho mostra o RPM por potência e em azul RPM por torque [O AUTOR].....	108
Figura 65 - Figura 58 - Curva de potência utilizando ECU 1.2V, em vermelho mostra o RPM por potência e em azul RPM por torque [O AUTOR].....	108
Figura 66 - Regulador de tensão [DIAS, 2013].....	115
Figura 67 - Microcontrolador de gerenciamento [DIAS, 2013].....	116
Figura 68 - Microcontrolador de Sincronismo [DIAS, 2013].	117
Figura 69 - Microcontrolador de Admissão [DIAS, 2013].	118
Figura 70 - Microcontrolador de Comunicação [DIAS, 2013].	119
Figura 71 - Entrada dos sensores de gerenciamento (não utilizado) [DIAS, 2013].	120
Figura 72 - Entrada sensores analógicos [DIAS, 2013].....	121
Figura 73 - Entrada sensores digitais [DIAS, 2013].....	122
Figura 74 - Sensor de rotação [DIAS, 2013].....	123
Figura 75 - Interface injetores e bobinas [DIAS, 2013].....	124
Figura 76 - Interface válvula borboleta [DIAS, 2013].....	125
Figura 77 - Interface USB [DIAS, 2013].	126
Figura 78 - Interface rede CAN [DIAS, 2013].	127
Figura 79 - Interface relés [DIAS, 2013].	128
Figura 80 - Circuitos condicionadores sonda lambda e sensor de detonação [DIAS, 2013].	129
Figura 81 - Display LCD [DIAS, 2013].....	130
Figura 82 - Botões e LED's [DIAS, 2013].	131
Figura 83 - Gravação In-circuit MCUs [DIAS, 2013].....	132

Figura 84 - Fluxograma do firmware implementado no uC de Gerenciamento [PEREIRA, 2013].....	134
Figura 85 - Fluxograma do firmware implementado no uC de Gerenciamento [PEREIRA, 2013].....	135
Figura 86 - Fluxograma do firmware implementado no uC de Gerenciamento [PEREIRA, 2013].....	136
Figura 87 - Fluxograma do firmware implementado no uC de Gerenciamento [PEREIRA, 2013].....	137
Figura 88 - Fluxograma do firmware implementado no uC de Gerenciamento [PEREIRA, 2013].....	138
Figura 89 - Fluxograma do firmware implementado no uC de Admissão [PEREIRA, 2013].	139
Figura 90 - Fluxograma do firmware implementado no uC de Sincronismo [PEREIRA, 2013].	140
Figura 91 - Fluxograma do firmware implementado no uC de Sincronismo [PEREIRA, 2013].	141
Figura 92 - Fluxograma do firmware implementado no uC de Sincronismo [PEREIRA, 2013].	142
Figura 93 - Fluxograma do firmware implementado no uC de Sincronismo [PEREIRA, 2013].	143
Figura 94 - Fluxograma do firmware implementado no uC de Sincronismo [PEREIRA, 2013].	144
Figura 95 - Fluxograma do firmware implementado no uC de Sincronismo [PEREIRA, 2013].	145
Figura 96 - Fluxograma do firmware implementado no uC de Comunicação [PEREIRA, 2013].....	146
Figura 97 - Fluxograma do firmware implementado no uC de Comunicação [PEREIRA, 2013].....	147

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Gases presentes no ar atmosférico [ADAPTADO DE MARTINS, 2005].	32
Tabela 2 - Tecnologias aplicadas aos motores no Brasil [EXTRAÍDO DE CALVITI, 2008].	36
Tabela 3 - Principais sensores automotivos [ADAPTADO DE PUJATTI, 2007].	42
Tabela 4 - Principais atuadores automotivos [ADAPTADO DE PUJATTI, 2007].	42
Tabela 5 - Efeitos ao se alterar as constantes do PI [ADAPTADO ANG, CHONG E LI (2005)].	50
Tabela 6 - Sensores analógicos linha 30 [EXTRAÍDO DE DIAS, 2011].	64
Tabela 7 - Sensores analógicos ECU [ADAPTADO DE DIAS, 2011].	65
Tabela 8 - Sensores digitais [ADAPTADO DE DIAS, 2011].	67
Tabela 9 - Pinagem ECU FATEC V 1.2 [O AUTOR].	78
Tabela 10 - Protocolo entre o uC Comunicação e os demais uCs (usa SPI1) [Extraído de Pereira, 2013].	92
Tabela 11 - Protocolo entre o uC Comunicação e a aplicação no PC [ADAPTADO PEREIRA, 2013].	93

LISTA DE TERMOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	<i>2 Dimensões ou Bi-dimensional;</i>
3D	<i>3 Dimensões ou Tri-dimensional;</i>
A/C	<i>Ar/Combustível;</i>
CAD	<i>Computer-Aided Design - Desenho assistido por computador;</i>
CAN	<i>Controller Area Network – Tipo de protocolo de comunicação serial;</i>
CI	<i>Circuito Integrado;</i>
cm	<i>Centímetro(s);</i>
cm ³	<i>Centímetro(s) cúbico(s);</i>
CO	<i>Monóxido de carbono;</i>
cv	<i>Cavalo(s), referente à unidade de potência;</i>
E/S	<i>Entrada/Saída, referente à direção da pinagem do hardware;</i>
CO ₂	<i>Dióxido de Carbono;</i>
ECU	<i>Electronic Control Unit – Unidade eletrônica de controle. Dispositivo eletrônico que efetua a leitura de entradas e o acionamento de saídas;</i>
EFI	<i>Electronic Fuel Injection – Injeção eletrônica de combustível;</i>
FLEX	<i>Flexível, referente ao sistema bicomcombustível presente nos automóveis;</i>
g	<i>Gramas(s);</i>

GND	<i>Ground – Terra. Potencial de zero Volts em circuitos elétricos e eletrônicos;</i>
HC	<i>Hidrocarboneto(s);</i>
Hz	<i>Hertz;</i>
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit – Tipo de protocolo de comunicação serial;</i>
kB	<i>Quilobytes;</i>
kb/s	<i>Quilobits por Segundo;</i>
kHz	<i>Quilohertz;</i>
kPa	<i>Quilopascal(is);</i>
L	<i>Litro(s);</i>
I/O	<i>In/Out –Entrada ou Saída de um módulo eletrônico;</i>
LCD	<i>Liquid crystal display –Display de cristal líquido;</i>
LED	<i>Light Emitting Diode;</i>
LSI	<i>Laboratório de Sistemas Integráveis;</i>
MAP	<i>Manifold Absolute Pressure;</i>
Mb/s	<i>Megabits por Segundo;</i>
MHz	<i>Megahertz;</i>
MISO	<i>Master Input Slave Output;</i>
mkgf	<i>Metro x quilograma-força, referente à unidade de torque;</i>
MOSI	<i>Master Output Slave Input;</i>

MPU	<i>Memory Protection Unit;</i>
ms	<i>Milisegundo(s);</i>
NOx	<i>Óxido(s) Nitroso(s);</i>
MCI	<i>Motor de Combustão Interna;</i>
N2	<i>Nitrogênio;</i>
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient – Coeficiente Negativo de Temperatura;</i>
OBD	<i>On Board Diagnostics;</i>
PC	<i>Personal Computer;</i>
PI	<i>Proporcional Integral;</i>
PLL	<i>Phase-Locked Loop;</i>
O2	<i>Oxigênio;</i>
PMI	<i>Ponto Morto Inferior;</i>
PMS	<i>Ponto Morto Superior;</i>
PTC	<i>Positive Temperature Coefficient;</i>
PWM	<i>Pulse With Modulation – Modulação por largura de pulso;</i>
SAE	<i>Society Automotive Engineers –Sociedade de Engenheiros Automotivos. É uma organização responsável pelos estudos em engenharia automobilística, e indústrias montadoras de automóveis;</i>
RPM	<i>Rotações Por Minuto;</i>

SCK	<i>Serial Clock;</i>
SMD	<i>Surface Mount Device;</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface Bus– Tipo de protocolo de comunicação serial;</i>
SS	<i>Slave Select;</i>
TCS	<i>Traction Control System;</i>
TPS	<i>Throttle Position Sensor;</i>
PROCONVE	<i>Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos. Regulamentação governamental que rege as emissões de gases permitidas para automóveis em comercialização no Brasil;</i>
uC	<i>Microcontrolador;</i>
USART	<i>Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter – Tipo de protocolo de comunicação serial;</i>
USB	<i>Universal Serial Bus;</i>
USP	<i>Universidade de São Paulo;</i>
V	<i>Volts;</i>
8v	<i>8 válvulas, referente ao número de válvulas presente no motor;</i>
VB	<i>Válvula Borboleta;</i>

1 INTRODUÇÃO

Em décadas passadas, o controle do motor ciclo Otto era realizado por um dispositivo mecânico chamando carburador. Ele por sua vez realizava o controle da mistura ar/combustível deficientemente, assim gerando maior índice de consumo de combustível e sem controlar nível de emissões. Com isso, esse equipamento foi substituído por controles eletrônicos infinitamente mais precisos. Neste cenário, o acesso a informação é praticamente irrestrito pela internet. O desenvolvimento de chips cada vez menores, mais complexos e mais baratos vem impulsionando investimentos em novas tecnologias na eletrônica embarcada dos motores. Produtos dotados de certa inteligência são os mais vendidos, a demanda por segurança, conforto e confiabilidade de todo produto industrializado cresce e cientistas e ambientalistas discutem o aquecimento global e sua ligação com os poluentes emitidos pelos veículos automotores (ANDREOLI, 2009).

A indústria automobilística é extremamente competitiva, motivada pelo crescente mercado consumidor, que por sua vez, é motivado pelas inúmeras facilidades de crédito e financiamento existentes na economia atual. Estas facilidades refletem em recordes de vendas, porém, nas grandes cidades, isto também acaba refletindo inevitavelmente em recordes de congestionamentos e de emissões de resíduos tóxicos proveniente da queima do combustível.

Segundo Hrovat e Jing Sun (HROVAT, D. & JING SUN, 1997), no futuro é esperado um aumento significativo na quantidade de veículos existentes nas grandes cidades e isto agravará ainda mais este problema. Quando o número de veículos era relativamente pequeno, não havia preocupação com a emissão dos resíduos tóxicos provenientes da combustão dos motores ciclo Otto. Os efeitos do aumento da frota mundial impulsionaram a indústria automobilística em duas direções: busca por combustíveis alternativos e melhorias no gerenciamento do motor.

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, desen-

volvendo, 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).

O Brasil lançou oficialmente em 2003 a tecnologia bi-combustível ou “flex” para veículos com motores de combustão interna ciclo Otto. Essa tecnologia permite que os veículos operem com gasolina, etanol hidratado ou a mistura entre ambos sem qualquer proporção. Essa tecnologia teve grande impacto no mercado, representando em 2006 aproximadamente 75% das vendas de veículos novos no país (MELO, 2007). Em 2013 a porção já está acima de 90% dos veículos vendidos. Os motores que operam com a tecnologia “flex” necessitam obrigatoriamente de uma unidade eletrônica de controle que efetue o gerenciamento de diversos parâmetros, definindo a massa de combustível e o avanço de ignição adequado para que o motor opere com bom desempenho, reduzindo o consumo de combustível e as emissões de poluentes.

Os módulos eletrônicos são utilizados desde os veículos mais simples aos mais complexos e caros. Este controle eletrônico, além dos automóveis, está presente: em motos, tratores, aviões e até mesmo em navios (GUIMARÃES, 2007).

Desta maneira, a demanda por conhecimentos nesta área se faz muito necessária atualmente no Brasil. Nosso corpo de engenharia tem aumentado, mas não de forma proporcional a demanda exigida. Esta limitação ocorre, entre outros motivos, pela falta de recursos humanos especializados no país. Esta situação torna se mais adversa se focarmos a análise na área de eletrônica embarcada e automotiva.

1.1. Motivação

Uma das motivações deste trabalho está baseada em uma rotina de programação para controle de um motor a combustão ciclo Otto, atualmente em linguagem C de microcontrolador Freescale, sendo convertido para o código semelhante à programação em PIC, sendo a principal diferença: as rotinas das funções de cada microcontrolador.

Pelas aulas ministradas pelo nosso orientador (professor Dr. Antonio Armando Maria Laganá) nos ensinou as principais funções do microcontrolador PIC (Microchip), sempre voltado para aplicações automotivas. A partir do módulo de controle eletrônico de motor criado em plataforma Freescale entre a Fatec Santo André e a Escola Politécnica da USP - POLIUSP

(aplicado a um Volkswagen Polo 2.0 de comodato entre a montadora e a Fatec Santo André) nos foi sugerido à criação deste controle eletrônico do motor a partir do estudado em aula.

A Fatec Santo André em conjunto com a POLI-USP desenvolveu anteriormente, um gerenciamento de motor para o motor estacionário pertencente à Fatec Santo André, porém sem aplicação de carga (uso real). O projeto realizado em Freescale foi o primeiro a operar em um veículo real, por isso estamos aplicando este projeto também no mesmo veículo (Volkswagen Polo).

1.2. Objetivos

Baseado nas motivações discutidas na seção 1.1, entende-se como objetivo principal deste estudo, o desenvolvimento de uma ECU em Microchip PIC de baixo custo com características similares a ECU desenvolvida pela POLI-USP/FATEC Santo André com microcontrolador Freescale que possui características de hardware com desempenho superior devido a sua tecnologia mais recente.

Nesta ECU é substituída integralmente a original do veículo, constituído de um *hardware, firmware e software*. O sistema eletrônico deverá ser capaz de efetuar a correta leitura dos sensores presentes no motor e calcular todos os parâmetros de atuação, como tempos de abertura dos bicos injetores, adiantamentos dos sinais enviados a vela de ignição, acionamento de relés e posição da válvula borboleta, de modo a garantir um controle estável da rotação do motor na faixa de 800 RPM (marcha lenta) até 6000 RPM, e como também o motor deverá corresponder quando for submetido à carga, ou seja, em condições de normais de utilização. Por fim todos esses parâmetros serão informados pela uma interface ligada a um computador.

Temos o intuito de deixar o Volkswagen Polo 2.0L à gasolina com duas ECUs programáveis em tecnologias distintas, resultando no exemplo para todos que várias tecnologias de microprocessadores (Microchip PIC e Freescale) podem ser utilizadas para controle de motor ou outros equipamentos do veículo.

1.3. Contribuições Esperadas

As contribuições estão relacionadas com os objetivos descritos na subseção 1.2 e são elas:

- a) As ECUs em produção não permitem alterações de software, por isso foram desenvolvidas estas placas. Deste modo, podemos programar e estudar o desempenho do motor de vários fabricantes, assim como futuramente desenvolver melhorias de funcionamento e durabilidade de componentes, assuntos muito desenvolvidos pelos fabricantes.
- b) Este projeto traz melhorias ao meio acadêmico, pois aplica o que estudamos sobre linguagem C e gerenciamento de motores durante o curso, e se transforma em exemplo a ser seguido por outros alunos, mostrando que o que aprendem aqui é realmente essencial.
- c) Atualmente a tecnologia PIC não possui a mais tecnológica mais atual em microprocessadores, porém ainda é muito utilizada em vários setores de automação, controle e automotivo, devido a ser, em comparação com tecnologias mais atuais, de simples utilização, programação e baixo preço.

1.4. Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado de modo que se possa entender o funcionamento da nossa ECU e comparar os dois desenvolvimentos de software e hardware, das duas plataformas de microcontroladores (Microchip PIC e Freescale), assim analisando, tomando conclusões da relação custo benefício.

Logo em sequência é relatado um referencial teórico onde foi estudado para desenvolver o projeto, são conceitos básicos para entendimento do projeto.

Após um entendimento básico de um sistema automotivo é mostrado como o *hardware* foi desenvolvido, explicando e mostrando através de figuras seu real propósito, assim como alterações das versões anteriores de onde foi tirado como referência o projeto.

Com o *hardware* difundido posteriormente explica-se o *software* que é adaptado do projeto em *Freescale* para a plataforma *Microchip PIC*, assim sendo difundidas as suas principais mudanças e como foi elaborado no projeto de referencia (neste caso somente *software*).

No final desta monografia possui um tópico discussões e conclusões que relata os resultados obtidos neste projeto.

Para maior entendimento possui apêndices que mostram os diagramas e fluxogramas do firmware.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A fundamentação teórica básica necessária para se compreender a função de um sistema de gerenciamento eletrônico de um motor a combustão interna ciclo Otto começa pelo histórico e em seguida o entendimento do funcionamento e por fim suas relações de controle do mesmo.

2.1 Objetivos do Capítulo

Este capítulo foi dividido em dez subsecções contendo as diversas informações para construção do conceito, de forma organizada, explicando desde o básico até os assuntos específicos deste projeto.

2.2 A origem dos motores de combustão interna ciclo Otto

A ideia de converter energia térmica em trabalho surgiu com a invenção da arma de fogo, que segundo Martins (MARTINS, 2005), deu início ao motor de combustão interna. As primeiras tentativas de se movimentar um pistão dentro de um cilindro utilizavam a pólvora como fonte de energia e ocorreram na segunda metade do século XVII.

Christian Huygens foi quem idealizou o motor à pólvora. Seguindo o mesmo princípio de funcionamento, seu assistente Denis Papin propôs o funcionamento da máquina a vapor que posteriormente foi aperfeiçoada por James Watt, ocasionando a revolução industrial da segunda metade do século XVIII (CÂMARA, 2006).

Em 1759, Henry Hood propôs a utilização de ar quente ao invés de vapor. Estes motores apresentavam um melhor rendimento por operarem com pressão superior aos motores a vapor. Porém, segundo Stone (STONE, 1999), o que impulsionou o desenvolvimento dos motores de combustão interna foi o início da exploração do petróleo por Drake em 1859, desenvolvendo os combustíveis líquidos.

As condições necessárias para que um motor de combustão interna funcionasse com o máximo de eficiência e economia foi proposta pelo físico francês Alphonse Beau de Rochas em 1862. Rochas propôs uma sequência de eventos que promovia uma compressão prévia que aumentava significativamente a economia, a eficiência e o rendimento em rela-

ção aos motores existentes no mesmo período. Esta sequência, que totaliza quatro tempos, é em síntese, o que ocorre nos motores de combustão interna atuais. Porém Rochas apenas formulou as condições de funcionamento, não tendo construído nenhum exemplar. A construção experimental deste motor foi realizada por Nikolaus Otto em 1872. Nikolaus Otto passou a fabricar estes motores de quatro tempos com êmbolos móveis ligados a uma árvore de manivelas, o mesmo passou a ser chamado popularmente de motor ciclo Otto (PASSARINI, 1993).

2.3 Fundamentos de um motor de combustão interna ciclo Otto

Os motores de combustão interna ciclo Otto são baseados em ciclos termodinâmicos como ilustra o diagrama Pressão – Volume da figura (1):

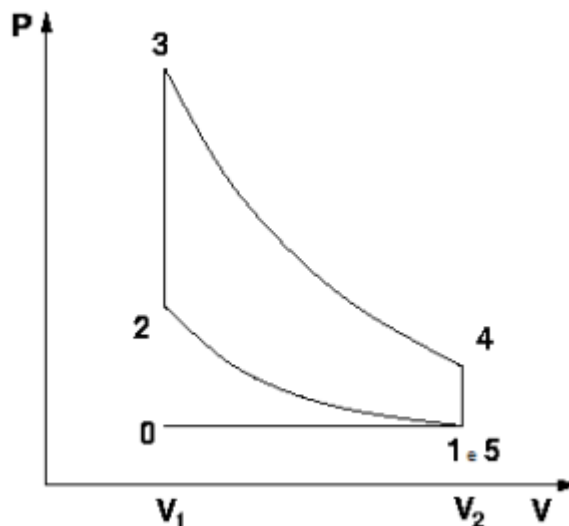


Figura 1- Diagrama P-V do ciclo Otto. [EXTRAÍDO DE MORAN & SHAPIRO, 2002]

Na figura (1) observa-se no processo (0-1) uma admissão isobárica. No processo (1-2) há uma compressão adiabática conforme o êmbolo se move do ponto morto inferior para o ponto morto superior. No processo (2-3) há uma combustão isocórica onde há uma transferência de calor a volume constante para o ar a partir de uma fonte externa enquanto o êmbolo está no ponto morto superior. Este processo tem a intenção de representar a ignição da mistura ar combustível e a queima rápida que se segue. No processo (3-4) há uma expansão adiabática. E finalmente, no processo (4-5) há uma exaustão isobárica onde o curso é completado a volume constante no qual o calor é rejeitado do ar conforme o êmbolo está no ponto morto inferior (MORAN & SHAPIRO, 2002).

A implementação de uma máquina térmica baseada no ciclo Otto normalmente se dá na forma de motores alternativos, ou seja, motores em que as diferentes etapas do ciclo ocorrem pelo deslocamento repetitivo do êmbolo ao longo de cilindros. Tais máquinas são ainda classificadas como motores de quatro tempos, sendo que os quatro tempos se referem aos quatro deslocamentos do êmbolo que realizam as diferentes etapas do ciclo: admissão, compressão, combustão e exaustão como ilustra a figura (2) a seguir.

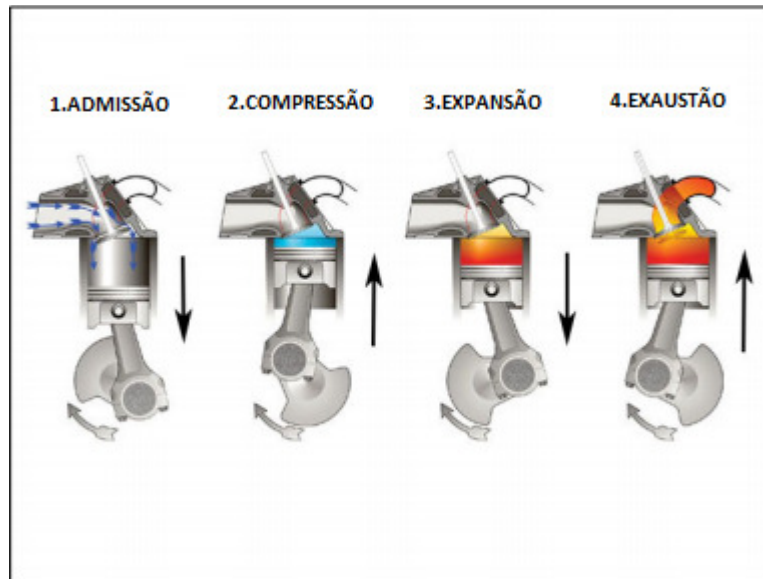


Figura 2 - Ciclo Otto. [EXTRAÍDO ADAPTADO DE YANSWERZ BLOGSPOT, 2009]

De forma resumida, focando-se no comportamento observado na figura (2), para um único cilindro do sistema, as etapas do funcionamento de um motor de ciclo Otto podem ser descritas como segue:

1. Admissão da mistura ar/combustível, através do deslocamento do êmbolo desde o Ponto Morto Superior (PMS) até o Ponto Morto Inferior (PMI) do cilindro, realizado com a válvula de admissão aberta;
2. Compressão da mistura, através do deslocamento do êmbolo desde o PMI até o PMS com ambas as válvulas, de admissão e exaustão, fechadas;
3. Produção de uma centelha de modo a iniciar a combustão da mistura, na qual decorre um aumento na pressão interna do cilindro e que por sua vez impulsiona o êmbolo desde o PMS até o PMI;
4. Exaustão dos gases resultantes da combustão através do deslocamento do êmbolo do PMI até o PMS com a válvula de exaustão aberta.

2.4 Principais componentes de um motor de combustão interna

Em um motor de combustão interna ciclo Otto os principais componentes mecânicos são o êmbolo, a biela, a árvore de manivelas, o bloco do motor, o cárter, a árvore do comando de válvulas e as válvulas, como ilustra a figura (3) a seguir.

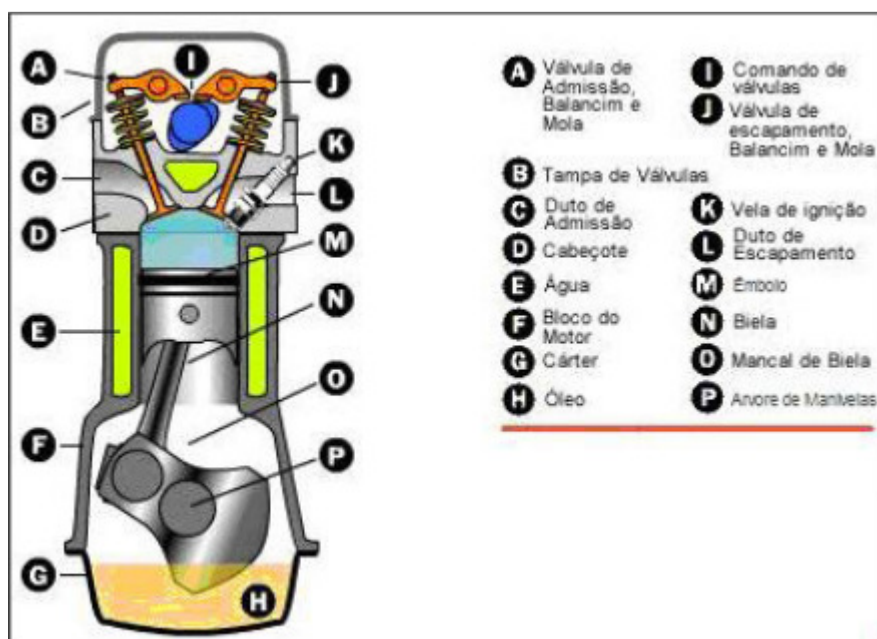


Figura 3 - Disposição das principais peças mecânicas de um MCI. [EXTRAÍDO DE OLIVEIRA, 2009]

2.4.1 Êmbolo

Segundo Heywood (HEYWOOD, 1988), os êmbolos(M), popularmente conhecidos como pistões, são feitos de ferro fundido. Geralmente possuem um formato semelhante a um copo cilíndrico. É ligado à biela(N) por meio de um pino, também de metal, e se apoia no cilindro por meio de anéis embutidos em fendas ao longo da circunferência do pistão(M).

Os pistões (M) de veículos automotores devem segundo Bosch (BOSCH, 2005), transmitir a força gerada pela combustão às bielas(N), absorver calor para posteriormente transmitir ao sistema de arrefecimento do motor e, juntamente com os anéis, isolar a câmara de combustão da árvore de manivelas.

2.4.2 Biela

A biela (N) é o elemento de junção e conexão entre o pistão (M) e a árvore de manivelas (P), sofrendo esforços de compressão, tração e de flexão. Em uma das extremidades está alojado o pino do pistão (M) e, na outra, rolamentos ou mancais (O) da árvore de manivelas. Seu

comprimento é determinado pela geometria do pistão (M) e o raio do contrapeso (BOSCH, 2005).

2.4.3 Árvore de manivelas

A árvore de manivelas (P), popularmente conhecida como virabrequim, faz a transferência da potência gerada na combustão, cujo movimento do pistão é linear, para qualquer peça que esteja conectada nela, como por exemplo, uma árvore de transmissão (câmbio). A árvore de manivelas (P) converte o movimento linear do pistão em um movimento angular.

Portanto a árvore de manivela (P) deve ser resistente a vibrações, impactos e flexões de diversas ordens de grandeza.

Segundo Bosch (BOSCH, 2005), a árvore de manivelas (P) deve desempenhar a função de converter o movimento alternado dos pistões, transmitido pelas bielas(N), em movimento rotativo e disponibilizar o torque efetivo em sua extremidade.

2.4.4 Bloco do motor e cárter

O bloco do motor (F) é um bloco de metal usinado no qual são montadas as demais peças do motor como, por exemplo, o cárter (G) que é um recipiente que fecha e lacra a parte inferior do motor, sendo utilizado para escoamento do óleo de lubrificação e também como reservatório.

Segundo Bosch (BOSCH, 2005), o bloco do motor (F) suporta efeito de transferência de força entre o cabeçote do cilindro (D) e o conjunto da árvore de manivelas(P), apoiando os mancais (O) de suporte do conjunto da árvore de manivelas (P) e incorporando as paredes dos cilindros. O bloco também é a superfície de montagem e suporte para a maior parte das unidades auxiliares do motor sendo, em conjunto com a unidade da árvore de manivelas, a configuração padrão para as aplicações automotivas.

2.4.5 Comando de válvulas

O comando de válvulas (I) é um dispositivo cuja função é possibilitar a abertura e o fechamento das válvulas (A) o mais rápido e uniformemente possível. A força de fechamento para as válvulas é aplicada pelas molas das válvulas (A), que também são responsáveis pela manutenção dos contatos entre o ressalto do came e a válvula.

O fenômeno de combustão é baseado na quantidade de mistura carburante que entra no motor através da válvula de admissão e na quantidade de gases de exaustão que saem do motor através da válvula de exaustão, ambas controladas pelo comando de válvulas (I), ou seja, o sin-

cronismo de todas as etapas do processo se dá pela sincronia de eventos determinada pelo comando de válvulas (I). O comando de válvulas (I) é uma importante parte do motor de combustão interna ciclo Otto e, segundo Bosch (BOSCH, 2005), uma das peças mecânicas que exige maior estudo para que se possa obter um comportamento dinâmico do motor eficiente.

O eixo do comando de válvulas pode-se localizar tanto no cabeçote do motor como no bloco do motor, tendo a mesma função, não importando a sua localização no motor.

2.4.6 Válvulas

As válvulas (A) são hastes de metal em forma similar a um cálice, sendo que uma das extremidades possui um formato de circunferência e está voltada à câmara de combustão e a outra extremidade tem forma afinada e está voltada para o comando de válvulas (I). Sua função é vedar a passagem da mistura carburante (ar/combustível), mantendo dentro do cilindro do motor e permitir à saída dos gases de exaustão logo após a combustão do sistema. Estas válvulas são denominadas válvulas de admissão e válvulas de exaustão, respectivamente (BOSCH, 2005).

2.5 Formação da mistura carburante e os gases presentes na exaustão

Os motores utilizados no setor automobilístico são denominados motores térmicos, pois transformam a energia calorífica dos combustíveis em energia mecânica, que aparece como trabalho do eixo da árvore de manivelas. Para ocorrer esta transformação calorífica, o combustível deve entrar em combustão. No caso específico dos motores utilizados no setor automobilístico, esta combustão ocorre internamente, ou seja, no interior da câmara de combustão, através dos quatro ciclos de trabalho previamente descritos neste trabalho.

A combustão é um processo de oxidação, neste processo uma grande quantidade de energia é liberada em forma de calor. Para ocorrer à combustão é necessário que o combustível, um composto de carbono e hidrogênio, se agrupe com moléculas de oxigênio presentes no ar de nossa atmosfera. Esta combinação é denominada mistura carburante e deve ocorrer de forma homogeneia, para facilitar o encontro entre as moléculas de oxigênio e as moléculas do hidrocarboneto. Em uma oxidação completa, o hidrogênio (H) combina-se com o oxigênio (O₂) para produzir água (H₂O) e o carbono (C) combina-se com o oxigênio restante para formar dióxido de carbono (CO₂) (ANDREOLI, 2009).

Além da mistura carburante, para ocorrer à combustão é necessário que haja ignição, que em motores ciclo Otto se dá através de uma centelha gerada pela vela de ignição, (em motores ciclo Diesel se dá por compressão com combustão espontânea).

A mistura carburante admitida pelo motor não é constante, podendo variar tanto na quantidade de ar como na quantidade de combustível presente na mistura. A massa de combustível varia em função do sistema de controle adotado no veículo e também varia de um veículo para o outro. A quantidade de ar atmosférico admitido pelo motor contém, além do oxigênio, outros elementos que influenciam na mistura carburante admitidas pelo mesmo. A seguir, na tabela (1), são indicados os principais gases presentes no ar atmosférico:

Tabela 1 - Gases presentes no ar atmosférico [ADAPTADO DE MARTINS, 2005].

Gás	% (Volume)	Massa Molar	% (molar)
O ₂	20,95	31,998	20,95
N ₂	78,09	28,012	79,05
Argônio	0,93	38,948	-
CO ₂	0,03	40,009	-
Ar	100	28,962	-

Devido à presença destes outros elementos no ar atmosférico, principalmente do nitrogênio, a reação química da gasolina na combustão, que é atualmente o combustível mais utilizado em motores ciclo Otto, fica de certa forma mais complexado que pode aparentar.

Segundo Ribbens (RIBBENS, 2003), uma ótima mistura carburante consiste naquela em que se consegue o torque desejado, mantendo sobre controle as emissões de gases poluentes, qualquer que seja o regime de funcionamento do motor.

Quando a mistura carburante admitida resulta em uma combustão perfeita, ou seja, todo o hidrogênio e carbono presentes no combustível são convertidos em dióxido de carbono e água, esta mistura passa a ser denominada uma mistura estequiométrica. “Na química é dita estequiométrica uma equação cujos elementos que reagem entre si estão em quantidades estritamente necessárias para produzir uma determinada quantidade de um produto da reação sem que haja sobras de reagentes” (ANDREOLI, 2009, p.39).

Segundo Milhor (MILHOR, 2002), a mistura estequiométrica é de 14,9:1, para gasolina pura, de 13,8:1, para a gasolina E25 (gasolina com 25% de etanol anidro, que é um álcool sem água) e de 9,1:1, para o álcool hidratado. Câmara (CÂMARA, 2006) complementa di-

zendo que em situações onde a mistura for pobre em combustível, ocorrerá excesso de ar, ao passo que em misturas ricas caracteriza-se a deficiência de ar.

A relação entre a mistura carburante empregada e mistura carburante estequiométrica é definida pelo coeficiente de ar lambda (λ) (MILHOR, 2002), conforme demonstrado na equação (1) a seguir.

$$\lambda = \frac{\text{Mistura Carburante Empregada}}{\text{Mistura Carburante Estequiométrica}}$$

Assim, quando o coeficiente lambda (λ) for menor que 1,0 a mistura carburante está rica ou com deficiência de ar, quando o coeficiente lambda (λ) for igual a 1,0 dizemos que a mistura carburante está estequiométrica, quando o coeficiente lambda (λ) for maior que 1,0 a mistura carburante está pobre ou com excesso de ar.

A potência do motor, o consumo específico de combustível e as emissões de poluentes têm uma relação direta com o coeficiente lambda (λ), como ilustra a figura (4) a seguir.

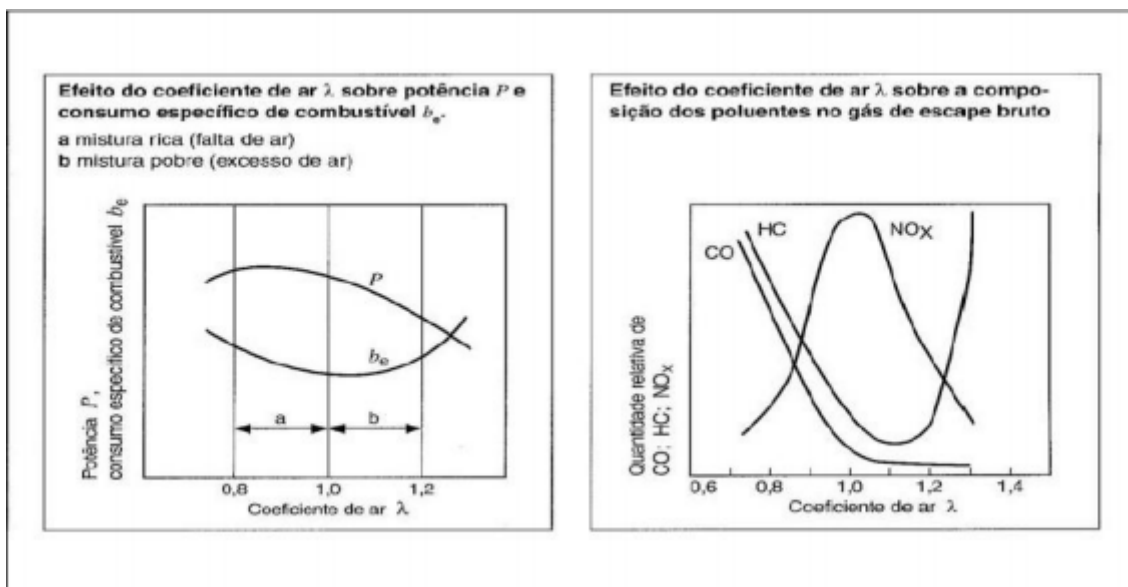


Figura 4 - Potência, consumo específico e emissões em função de λ [EXTRAÍDO DE SILVA, 2006].

Na figura (4), observa-se que a potência máxima do motor é alcançada com um coeficiente lambda (λ) aproximadamente igual a 0,85 e que o consumo específico de combustível, assim como as emissões de poluentes, possui um melhor rendimento com coeficiente lambda (λ) aproximadamente igual a 1,1.

Uma mistura carburante estequiométrica, segundo Martins (MARTINS, 2005), só ocorreria em uma situação hipotética, ou seja, em um motor “ideal”. Em um motor real, diversos fatores

ocasionam uma queima incompleta, como à impureza do combustível, a presença de outros elementos além do oxigênio, o tempo reduzido para a reação entre o combustível e o oxigênio do ar, a mistura heterogênea que se forma dentro da câmara de combustão, a geometria da câmara de combustão que não permite que todo seu volume seja alcançado pela chama da ignição, o contato da chama com superfícies resfriadas no interior dos cilindros, variações de carga, de rotação, e temperatura do ar, entre outros. (CÂMARA, 2006).

A mistura carburante real produz outros subprodutos além do dióxido de carbono e da água, alguns destes são tóxicos e com emissões restritas pelo PRONCOVE (Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores).

Porém, segundo Bosch (BOSCH, 2005), a maioria dos gases presentes na exaustão não é poluente e em sua maioria não trazem problemas à saúde. São eles: Nitrogênio, que não participa como fonte de energia e está presente em cerca de 70% dos gases de exaustão (além de fazer parte integrante do ar que respiramos); vapor d'água que compõe cerca de 9% dos gases de exaustão; Dióxido de Carbono (CO₂) (que apesar de não ser considerado poluente, é um dos responsáveis pelo Efeito Estufa) que compõe cerca de 18% dos gases de exaustão;

Oxigênio que corresponde ao oxigênio que não reagiu com o combustível durante a queima e compõe cerca de 1% dos gases de exaustão, além de outros gases como Hélio, Argônio etc.

Os gases considerados poluentes são extremamente danosos à saúde e ao meio ambiente, sendo indesejados e restritos por legislações ambientais em todo o mundo. São eles: Monóxido de Carbono que é inodoro e incolor e é extremamente tóxico, matando em minutos dependendo da concentração inalada; Óxidos de Nitrogênio que são formados pela oxidação do Nitrogênio atmosférico em temperaturas próximas a da combustão e são representados por NO_x; Hidrocarbonetos que correspondem ao combustível não oxidado durante a combustão;

Compostos de Enxofre que não são totalmente eliminados na produção da gasolina e em contato com o vapor d'água formam ácidos, sendo nocivos à saúde e ao catalisador do veículo, que possui metais nobres susceptíveis a estes ácidos; Aldeídos (CHO), um poluente tipicamente brasileiro, que é formado na combustão do álcool hidratado (etanol) ou da gasolina E25 (o Aldeído é um gás cancerígeno e provoca irritações nas vias respiratórias (CÂMARA, 2006)).

Com a legislação ambiental cada vez mais rígida e o crescente desejo do cliente em obter economia de combustível, um controle mais preciso da formação da mistura carburante se fez necessário, porque as tecnologias utilizadas já não atendiam mais todas estas exigências.

A seguir será detalhado todo o processo de evolução do controle eletrônico dos motores de combustão interna (MCI), descrevendo como que a unidade eletrônica de controle (ECU) controla as principais grandezas de um MCI e quais estratégias são utilizadas.

2.6 Controle eletrônico em motores de combustão interna ciclo Otto

Historicamente, dois tipos de sistemas de dosagem de combustível foram empregados com sucesso em motores de ciclo Otto: os carburadores, baseados na sucção de combustível, e os sistemas de injeção eletrônica, baseados na injeção de combustível.

Os carburadores são sistemas puramente mecânicos, cujos elementos principais são: uma cuba, na qual o combustível é armazenado; um Venturi, que consiste de um estreitamento na tubulação de admissão de ar; e um furo calibrado, denominado giclê, que conecta a cuba ao Venturi. De forma simplificada, o Venturi produz uma depressão na tubulação do coletor de ar, criando um diferencial de pressão entre a tubulação e a cuba que está à pressão atmosférica. Em decorrência desse diferencial de pressão, o combustível contido na cuba é aspirado, através do giclê, para o interior do coletor de admissão. (BEPPU, 2009). O funcionamento de um carburador é extremamente sofisticado, e seu detalhamento foge ao escopo deste trabalho.

Uma das principais limitações do carburador se deve ao fato de que a dosagem de combustível é determinada basicamente pela abertura do giclê e após ser calibrado não se consegue realizar ajustes em tempo real. Por este motivo, e considerando os diferentes regimes de operação do motor, o carburador não oferece a flexibilidade necessária para atender a rígida legislação ambiental.

A tabela (2) mostra as tecnologias aplicadas aos motores ciclo Otto e ciclo Diesel, mostrando as evoluções tecnológicas ocorridas nos veículos em função das legislações ambientais.

Tabela 2 - Tecnologias aplicadas aos motores no Brasil [EXTRAÍDO DE CALVITI, 2008].

Veículos de Passageiros à Gasolina		Veículos de Carga Pesados à Diesel	
Fases I (1988 a 91)	<ul style="list-style-type: none"> - Reciclagem dos gases de escape para controle das emissões de NOx - Injeção secundária do ar no coletor de exaustão para o controle de CO e HC - Amortecedor da borboleta do carburador para controle do HC - Otimização do avanço da ignição 	Out/1987 Modificações introduzidas antes da Resolução 08/1993	Já havia limitações para a emissão de fumaça preta: <ul style="list-style-type: none"> - Recalibração dos sistemas de injeção de combustível - Turbo alimentação
Fase II (jan/92 a dez/96)	<ul style="list-style-type: none"> - Injeção eletrônica, ou - Carburadores assistidos eletronicamente - Conversores catalíticos 	1994 Fase III (EURO I) para ônibus urbanos e Fase II demais	<ul style="list-style-type: none"> - Novas câmaras de combustão - Otimização dos sistemas de injeção de combustível - Utilização de sistemas de resfriamento do ar de admissão (<i>aftercooler</i>)
Fase III (jan/97 a jan/05)	<ul style="list-style-type: none"> - Conversores catalíticos de 3 vias - Sist. Eletr. de injeção e ignição - Sonda de oxigênio no coletor de gás de escape para retroalimentação do controle da mistura ar / combustível 	1998 Fase IV (EURO II)	<ul style="list-style-type: none"> - Melhorias nos projetos dos motores e sistemas de injeção de combustível (ex.: sistemas de injeção eletrônica) - Uso de sistemas multi-válvulas

Analisando a Tabela 2 se observa que no Brasil a mudança efetiva dos sistemas carburados para os injetados se deu na década de 90 e segundo Ribbens (RIBBENS & MANSOUR, 1993), foi motivado por diminuir a emissão de gases poluentes na exaustão.

Segundo Silva (SILVA, 2006), a principal função do gerenciamento eletrônico do motor é ajustar o torque em função da necessidade do condutor, com economia de combustível e baixa emissão de poluentes. A seguir, na seção 2.7, será descrito em detalhes todas as funções e os componentes de um sistema de injeção eletrônica.

2.7 Sistemas de injeção eletrônica

Os sistemas de injeção eletrônica surgiram inicialmente como necessidade de emissão de poluentes que tem o propósito de controlar a injeção de combustível nos motores mais eficientemente (combustível e comburente). Entretanto, graças à facilidade de integração proporcionada pelos sistemas eletrônicos, acabou-se concentrando diversas funcionalidades de controle e monitoramento do motor, ampliando suas funções no automóvel. Hoje, os sistemas de injeção eletrônica podem ser considerados sistemas eletrônicos complexos, formados por múltiplos sensores e atuadores responsáveis pelo gerenciamento completo do motor.

Sistemas de injeção eletrônica de combustível têm a função de dosar corretamente a massa de combustível em função das condições de operação do motor e são classificados em função da estratégia de controle, do número de válvulas injetoras e da posição das válvulas injetoras no sistema de admissão do veículo, sendo dividido nos grupos apresentados a seguir.

2.7.1 Injeção indireta monoponto

Este sistema é composto por apenas uma válvula injetora posicionada anteriormente à válvula borboleta, independentemente do número de cilindros no motor. Esta única válvula é responsável por fornecer todo combustível consumido pelo motor. Considerando um motor ciclo Otto com quatro cilindros, o sistema monoponto realiza duas injeções de combustível por volta completa do eixo da árvore de manivelas. Por estar posicionada no coletor de admissão esta injeção de combustível é denominada indireta como ilustra a figura (5).

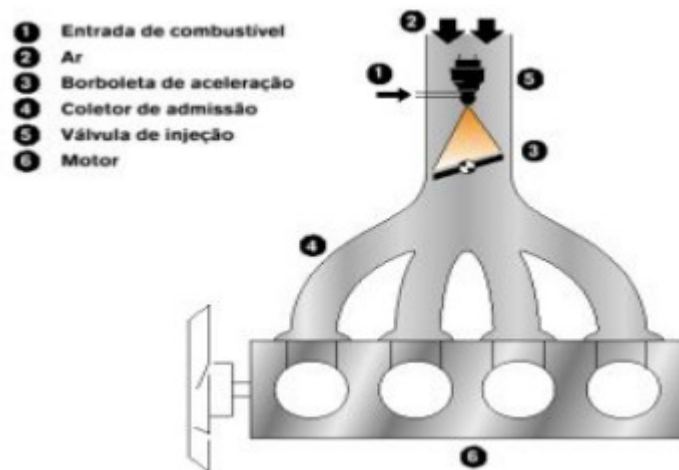


Figura 5 - Sistema de injeção indireta monoponto [ADAPTADO DE PUJATTI, 2007].

2.7.2 Injeção indireta multiponto

Este sistema apresenta uma válvula injetora para cada cilindro do motor, posicionada posteriormente à válvula borboleta e anteriormente às válvulas de admissão. O combustível é fornecido de forma individual para cada cilindro com o objetivo de deixar a mistura carburante mais homogênea e impedir a condensação de combustível nas paredes do coletor de admissão. A figura (6) ilustra a disposição das válvulas injetoras em um sistema de injeção indireta multiponto.

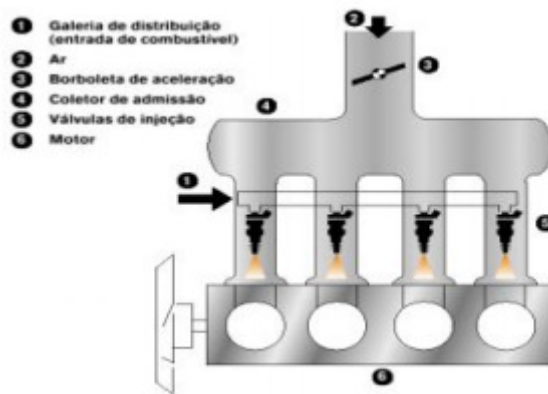


Figura 6 - Sistema de injeção indireta multiponto [ADAPTADO DE PUJATTI, 2007].

De acordo com a frequência de trabalho das válvulas injetoras em função da rotação do motor, o sistema multiponto ainda pode ser classificado como injeção simultânea (full group), onde todas as válvulas injetoras são acionadas ao mesmo tempo; injeção sequencial (banco a banco), onde duas válvulas injetoras são acionadas por operação e injeção sequencial, onde uma válvula injetora é acionada em sincronismo com a válvula de admissão.

2.7.3 Injeção direta multiponto

Este sistema apresenta uma válvula injetora para cada cilindro do motor, mas diferentemente da injeção indireta, a injeção ocorre diretamente dentro da câmara de combustão.

Devido às altas pressões dentro da câmara de combustão as válvulas injetoras precisam de alta pressão para que o combustível literalmente penetre na câmara de combustão. Este sistema ainda é pouco utilizado, por ser complexo e caro, mas segundo Bosch (BOSCH, 2005), é uma forte tendência na indústria automobilística. A figura (7) ilustra a disposição das válvulas injetoras de alta pressão em um sistema de injeção direta multiponto.

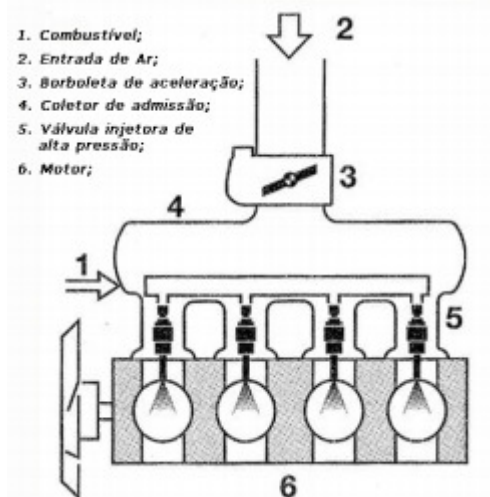


Figura 7 - Sistema de injeção direta multiponto [ADAPTADO DE BOSCH, 2005].

Em geral o método de acionamento sequencial é o mais adequado, pois ocorre injeção em um cilindro, reduzindo na economia de combustível.

No entanto, para motores que não possuem sensor de fase geralmente se adota a injeção *full-group* e banco a banco, principalmente durante a partida (ALBALADEJO, 2013). Neste projeto a injeção ocorre sempre de forma sequencial desde a partida, semelhante ao projeto Otto II (PEREIRA, 2013) que já possui o controle por sensor de fase na partida.

2.8 Arquitetura das unidades de controle eletrônico

Antes que a unidade eletrônica de controle (Electronic Control Unit–ECU) atue de forma precisa no motor, a ECU deve estimar com a maior de precisão possível o regime atual de operação do motor. Para isto a ECU recebe sinais de diversos sensores instalados no veículo e controla os parâmetros de funcionamento do motor, otimizando seu rendimento. A figura (8) ilustra os três estágios necessários para que uma unidade de controle eletrônico atue no motor.



Figura 8 - Três estágios para os controladores de uma ECU [EXTRAÍDO DE BRAGA, 2007].

Glielmo (GLIELMO et. al., 2000) propõe uma arquitetura de controle para uma ECU que consiste em três diferentes subsistemas: Sensores, que representa a interface entre o moto-

rista e a ECU; ECU, que calcula o torque desejado em função das informações recebidas dos sensores; atuadores que recebe os sinais de comandos da ECU e atua modificando o estado atual do motor, adequando-o ao desejo do motorista.

A ECU recebe informações dos diversos sensores espalhados pelo motor e calcula os comandos a serem enviados para os atuadores. Sua principal tarefa é fornecer o torque mandado pelo condutor, garantindo economia de combustível e reduzindo as emissões de poluentes. Por estes sistemas atualmente serem centralizados, concentrando diversas funcionalidades de controle e monitoramento do motor, pode-se atribuir as seguintes funções à ECU:

- Controle da injeção de combustível;
- Controle da ignição;
- Controle de marcha lenta;
- Controle da válvula borboleta eletrônica;
- Controle de tração;
- Controle da recirculação dos gases de exaustão.

Os controles básicos são controle da injeção de combustível garante a quantidade ideal de combustível para manter o motor em funcionamento em todos os pontos de operação. Já o controle da ignição garante a ocorrência de uma centelha no momento adequado para garantir energia suficiente para iniciar a combustão. Por fim, o controle de marcha lenta mantém o motor em regime de funcionamento quando o veículo se encontra com a válvula borboleta fechada. São estes os três controles considerados básicos ou essenciais para que o motor funcione corretamente. Os outros controles são utilizados para aumentar o desempenho, melhorar a dirigibilidade, reduzir o consumo de combustível e reduzir as emissões de poluentes, não sendo considerados básicos ou essenciais, mas amplamente utilizados em sistemas comerciais e de competições automobilísticas (BRAGA, 2007).

Na figura (9) a seguir é ilustrado um diagrama básico de controle de uma unidade de controle eletrônico de um motor de combustão interna.

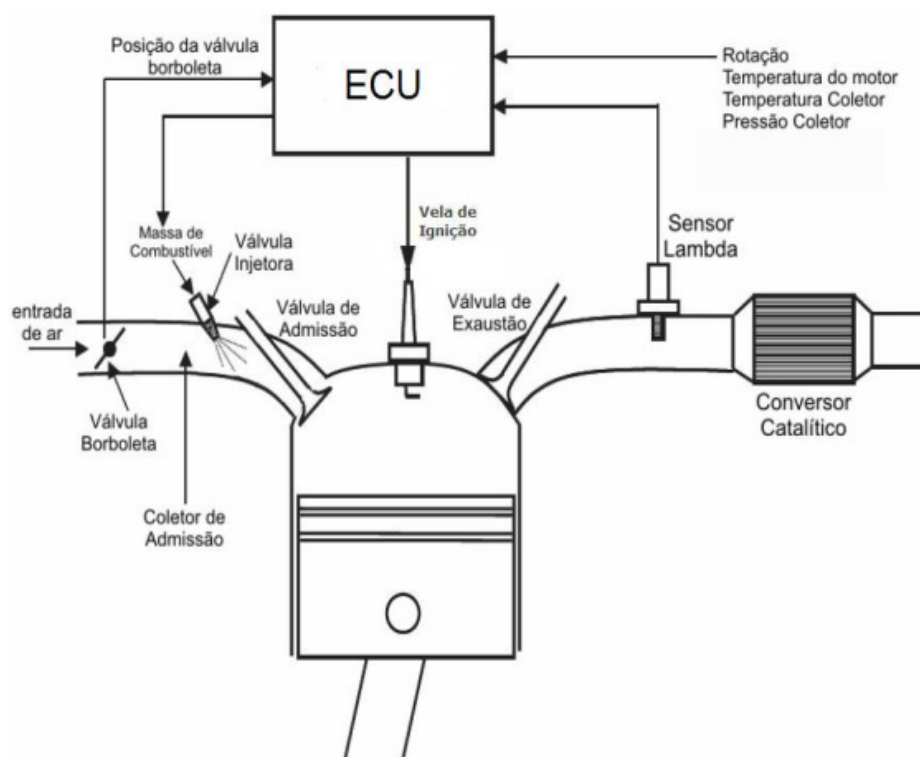


Figura 9 - Diagrama básico de controle de uma ECU [ADAPTADO DE BRAGA, 2007].

A ECU recebe como parâmetros de entrada variáveis como: a rotação do motor; a posição instantânea da válvula borboleta; a temperatura do motor; a temperatura do coletor de admissão e a pressão no coletor de admissão para determinar a massa de combustível a ser injetada e o momento adequado para iniciar a ignição no motor.

2.8.1 Sensores

Como mencionado anteriormente, a unidade eletrônica de controle necessita receber informações sobre as condições atuais do motor. Estas informações são enviadas para a unidade de controle eletrônico através de sensores instalados no motor. A função de cada sensor e a quantidade existente no veículo varia de acordo com as especificações de cada montadora e de cada projeto (basicamente em função do custo final e do desempenho desejado). A descrição que segue na tabela (3) ilustra, de forma generalizada, os principais sensores atualmente utilizados e suas respectivas grandezas monitoradas.

Tabela 3 - Principais sensores automotivos [ADAPTADO DE PUJATTI, 2007].

Sensor	Sinal	Tipo de Sensor	Descrição
Temperatura do Ar	Analógico	Resistivo (NTC)	Monitora temperatura do ar no coletor de admissão
Temperatura da Água	Analógico	Resistivo (NTC)	Monitora o líquido de arrefecimento no motor
Pressão do coletor de admissão (MAP)	Analógico	Pressão diferencial	Monitora a pressão de ar no coletor de admissão
Rotação	Digital	Sensor indutivo	Mede velocidade angular do eixo de manivelas
Velocidade	Digital	Sensor Indutivo	Mede velocidade angular do eixo posterior a transmissão
Posição válvula borboleta (TPS)	Analógico	Potenciômetro Linear	Monitora a posição angular da válvula borboleta
Oxigênio (Sonda Lambda)	Analógico	Eletrodos de platina separados por óxidos ativos de TiO ₂ ou ZrO ₂	Monitora quantidade de oxigênio presente nos gases de exaustão

2.8.2 Atuadores

“Define-se atuadores como sendo todos os componentes do sistema de controle responsável por gerar uma ação sobre a planta, a partir de um sinal de controle” (MILHOR, 2002, p.34). De forma contrária aos sensores, os atuadores recebem da unidade de controle eletrônico comandos para atuar sobre o motor de maneira a adequar o mesmo às condições desejadas de torque, potência e consumo. Estes comandos são enviados pela unidade eletrônica de controle e a função de cada atuador e a quantidade existente no veículo varia de acordo com as especificações de cada montadora e de cada projeto (também, basicamente, em função do custo final e do desempenho desejado). A descrição que segue na tabela (4) ilustra, de forma generalizada, os principais atuadores utilizados e suas respectivas funções.

Tabela 4 - Principais atuadores automotivos [ADAPTADO DE PUJATTI, 2007].

Atuadores	Sinal de comando	Descrição
Válvulas Injetoras	Pulso com tempo de injeção para o driver de potência	Controla a quantidade de combustível injetada em cada cilindro
Bobinas de ignição	Pulso com tempo de ignição para o driver de potência	Responsável por iniciar a combustão da mistura (ar combustível) inserida em cada cilindro
Bomba de combustível	Nível lógico (I/O)	Ativa a pressurização do sistema de combustível
Válvula Borboleta	Modulação em largura de pulso (PWM)	Controla a abertura (em graus) da válvula borboleta

Aos leitores não familiarizados ou que desejem se aprofundar mais em sensores e atuadores automotivos, recomenda-se uma consulta às referências apresentadas por RIBBENS et. al. (1993), MILHOR (2002) e BOSCH (2005).

2.9 Tipos de arquitetura

Como opções de arquitetura de hardware, destacam-se a arquitetura centralizada e a arquitetura descentralizada.

Na arquitetura centralizada, tem-se uma única unidade de processamento, responsável por ler os sinais enviados por todos os sensores, processá-los e enviar os sinais de controle aos atuadores. Este fato mostra que a unidade de processamento, neste tipo de arquitetura, possui grande responsabilidade, pois caso ocorra alguma falha o funcionamento inteiro do sistema pode ser comprometido. Conseqüentemente, o firmware correspondente a esta unidade de processamento acaba sendo bastante complexo, já que deve garantir a robustez do sistema, a fim de evitar situações de falha que possam comprometer o sistema.

Na arquitetura distribuída (ou descentralizada), o sistema é dividido em vários blocos, sendo cada um controlado por uma unidade de processamento. Assim, a responsabilidade de cada processador é menor do que no caso da arquitetura centralizada, pois caso ocorra falha em um processador, os demais poderão continuar trabalhando sem comprometer o funcionamento do sistema. Nesse tipo de arquitetura pode-se, por exemplo, realizar a leitura e tratamento dos sinais dos sensores por um dos processadores e deixar o processamento destes mesmos sinais para outro processador. Além disto, a arquitetura descentralizada se mostra vantajosa quando se necessita alterar parte do projeto, visando correções ou melhorias. Caso se necessite, por exemplo, alterar um dos microcontroladores do sistema, o projetista apenas terá o trabalho de refazer o hardware e o firmware associados a ele, mantendo intacto o projeto (hardware e firmware) dos demais microcontroladores do sistema. Já na arquitetura centralizada, o projetista necessitaria alterar o hardware e reescrever todo o código do firmware da unidade de processamento central, sendo que nesta arquitetura o firmware é mais complexo quando comparado com o firmware da arquitetura descentralizada.

Um ponto importante na arquitetura descentralizada é a comunicação. Devido à necessidade de troca de dados entre os blocos que formam o sistema, é necessário uma via de comunicação rápida e confiável (principalmente uma via imune a ruídos), a fim de fornecer ao sistema um desempenho satisfatório. Neste caso, o sistema poderá ser comprometido caso

ocorra alguma falha no protocolo de comunicação entre os blocos, o que revela uma desvantagem da arquitetura descentralizada em relação à centralizada (PEREIRA, 2013).

A comunicação utilizada entre todos os chips de controle (Admissão, gerenciamento, comunicação e sincronismo) é por SPI que é uma comunicação originalmente desenvolvida pela fabricante de eletrônico Philips que posteriormente foi utilizada em microcontroladores e outros periféricos.

Em nosso projeto utilizamos também em outros periféricos esse tipo de comunicação como no caso do MC33810 (driver de potência para os bicos injetores e bobina de ignição) e o MC33186 (ponte H para controle da válvula borboleta), que estão configurados como *slave*, assim só recebendo dados do microcontrolador de gerenciamento e atuando no acionamento desses respectivos atuadores.

Neste projeto, optou-se por manter a arquitetura descentralizada utilizada no projeto Otto (PEREIRA, 2013) devido funcionamento satisfatório da ECU daquele projeto. A solução descentralizada ainda é vantajosa, pois os microcontroladores deste projeto deverão realizar um número maior de tarefas, e ainda realizá-las de maneira eficaz, o que exige muitos cálculos. Além disto, a divisão do firmware também é um ponto vantajoso na arquitetura descentralizada, uma vez que é possível modificar um deles sem afetar diretamente os outros, facilitando o desenvolvimento dos programas individualmente. Fora isto, o microcontrolador (uC) utilizado no projeto suporta diversos protocolos de comunicação, o que possibilita a implementação do sistema utilizando uma arquitetura descentralizada.

É importante ressaltar que a solução centralizada não é descartada pelo projeto, sendo ainda uma alternativa para o desenvolvimento de outras ECUs, no âmbito de projetos futuros (ADAPTADO PEREIRA, 2013).

2.10 Protocolos de comunicação

A unidade de gerenciamento eletrônico deste projeto foi desenvolvida, como explicado anteriormente, utilizando uma arquitetura descentralizada, o que exige a troca de dados entre as unidades de processamento. Para isto, se faz uso de três protocolos de comunicação: o protocolo SPI (Serial Peripheral Interface), que basicamente é responsável pela comunicação entre os microcontroladores do sistema, o protocolo UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter), responsável pela comunicação entre o microcontrolador do bloco Comunicação e a aplicação de monitoramento rodando em um computador externo, e o protocolo

CAN, responsável pela comunicação da ECU v2.0 deste projeto com as demais ECUs presentes no veículo (PEREIRA, 2013)

2.10.1 Protocolo SPI

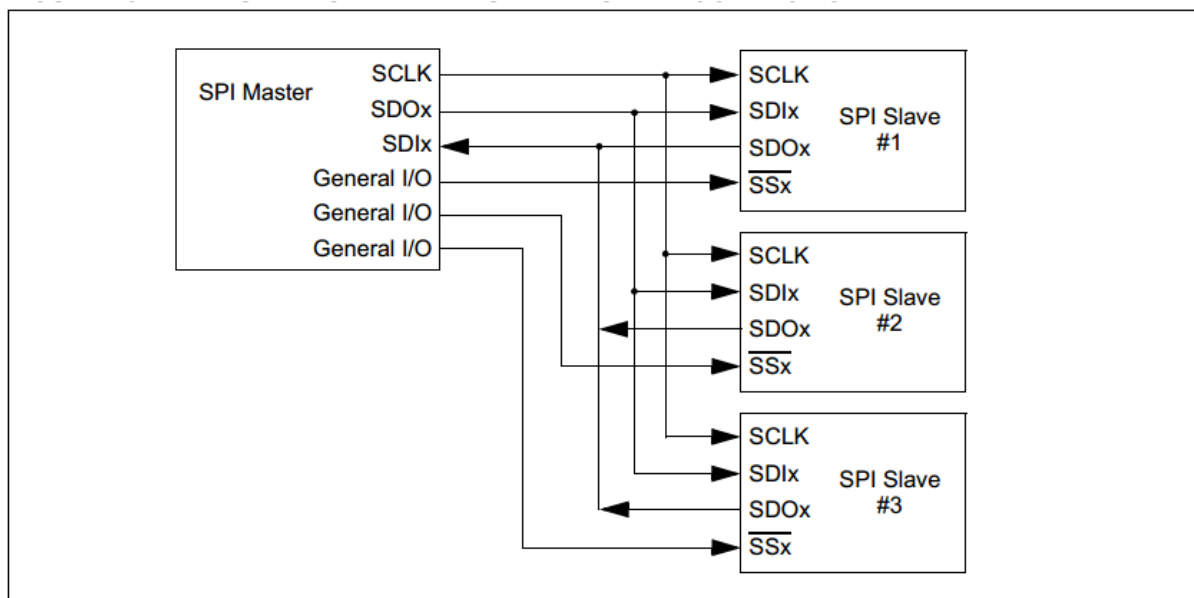


Figura 10 - Esquema de ligações de uma rede de comunicação SPI [MICROSHIP, 2012]

Consiste de um protocolo serial síncrono para comunicação ponto-a-ponto. Basicamente é composto de três sinais: entrada de dados (data in), saída de dados (data out) e clock. O protocolo se diz síncrono, pois é necessário que os dois pontos (transmissor e receptor) estejam conectados com o mesmo clock, para que as operações ocorram no mesmo instante e estejam, portanto, sincronizadas. Além disto, o protocolo é dito full-duplex, pois ao mesmo tempo que se transmite um dado é possível se receber outro dado (FREESCALE, 2012).

É uma comunicação é ponto-a-ponto, na qual um corresponde ao mestre e o outro, ao escravo. O mestre é designado ao dispositivo que controla a geração do sinal de clock. Assim, a comunicação ocorrerá no instante em que o mestre necessitar do dado, diferentemente do escravo, que deverá esperar pelo sinal de clock do mestre para transmitir e/ou receber um dado. Além disto, é possível se estruturar uma rede de comunicação SPI, com um mestre e vários escravos, sendo que o dispositivo mestre sempre é fixo. Para o caso de vários escravos, mestre deverá utilizar sinais adicionais (designados por slave select) para selecionar o escravo com que deseja se comunicar em um dado instante de tempo.

O protocolo SPI é bastante simples e, por este motivo, consegue alcançar taxas elevadas de transmissão, fato essencial para o projeto em questão. No caso do 18F, o SPI pode alcançar até 2,5 Mbits/s, e pode-se transmitir e receber, simultaneamente, dados de 8 bits.

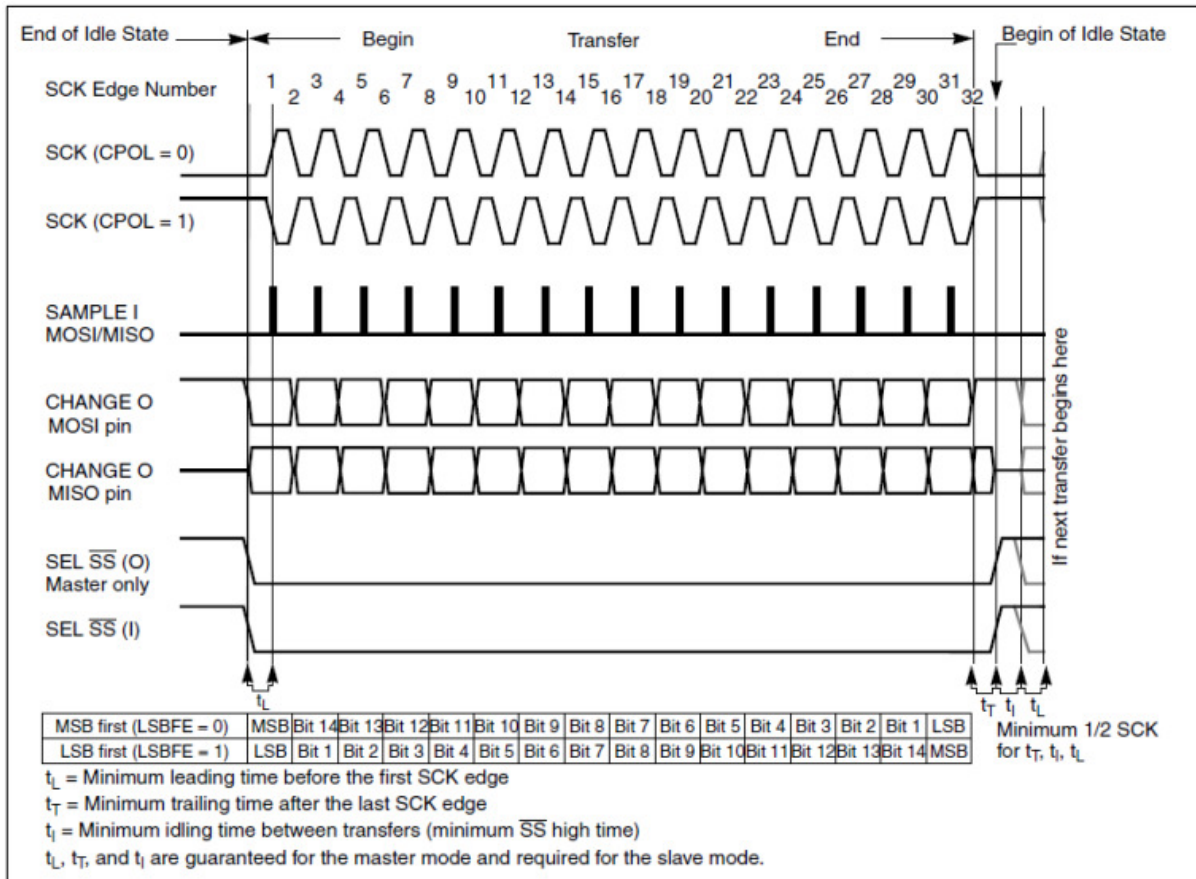


Figura 11 - Carta de tempos da comunicação SPI no S12X [FREESCALE, 2012]

Abaixo segue uma breve descrição dos sinais do protocolo, com base na figura anterior:

- SCK: Sinal de clock, com dois formatos diferentes (de acordo com o bit CPOL);
- MISO: Entrada de dados para mestre ou saída de dados para escravo (nota-se que a transmissão/recepção ocorre na borda de número ímpar do clock, enquanto que a mudança de dados ocorre na borda de número par);
- MOSI: Entrada de dados para escravo ou saída de dados para mestre (a observação do item anterior também é válida para este sinal);
- SS: Sinal ativo baixo de seleção do escravo.

2.10.2 Protocolo UART

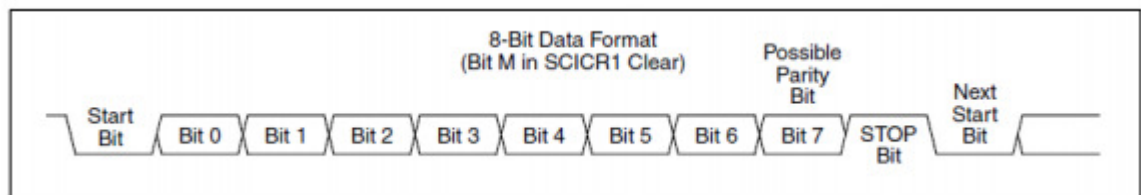


Figura 12 - Formato do protocolo de comunicação UART [FREESCALE, 2012]

Analogamente ao SPI, este protocolo é serial ponto-a-ponto, porém não há necessidade da designação de mestre ou escravo. Além disto, a comunicação ocorre sempre entre dois dispositivos, fato que não pode ser alterado a posterior devido às conexões do hardware. Sendo assim, em um dado instante de tempo qualquer dispositivo pode transmitir para o outro, sendo que a comunicação pode ser *half duplex* (Neste caso não é possível transmitir e receber dados simultaneamente) ou *full duplex* (FREESCALE, 2012).

No caso deste projeto, o protocolo serial segue o padrão RS232, podendo alcançar taxas moderadas de transmissão. Utiliza-se no projeto uma taxa de transmissão (*baud rate*) de 125000 b/s, o que é suficiente para que a troca de dados do sistema com o software de monitoramento ocorra sem perdas relevantes. É importante destacar que é possível com o protocolo serial, alcançar taxas de transmissão maiores, porém a probabilidade de ocorrência de erro (e, conseqüentemente, perda de dados) aumenta consideravelmente nestes casos. Por esta razão, o protocolo SPI foi escolhido para operar entre os microcontroladores do sistema, deixando o protocolo UART apenas para a comunicação externa com o computador (dado que neste último caso a velocidade de transmissão não precisa ser muito elevada).

2.10.3 Protocolo CAN

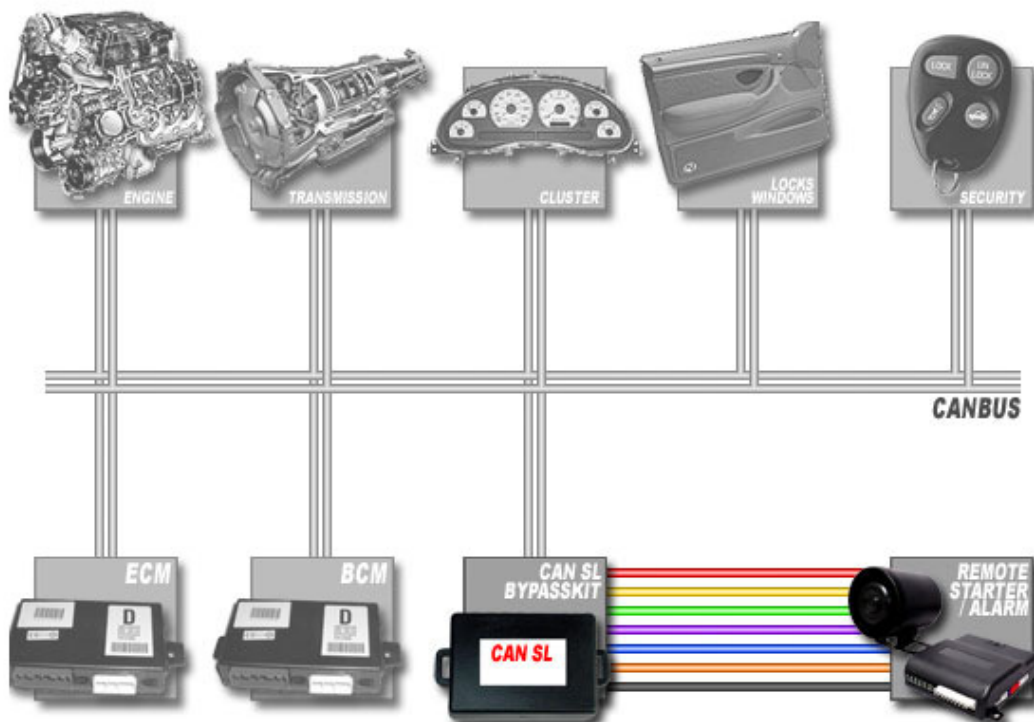


Figura 13 - Exemplo de CAN BUS [CANBUSKIT, 2014]

Desenvolvido pela empresa alemã Bosch, o CAN corresponde a um protocolo serial desenvolvido especialmente para interligar sensores e atuadores presentes em subsistemas eletrônicos (ECUs) de um carro (BOSCH, 2005). Atualmente, devido à sua confiabilidade e robustez, o protocolo não se restringe apenas ao ramo automotivo, podendo ser empregado também em aplicações domésticas ou industriais (FREESCALE, 2012). Apesar de simples e de baixo custo, o protocolo se mostra altamente confiável para aplicações automotivas, atendendo normas de padronização como a ISO 11898 (BOSCH, 2013).

Dentre as características do protocolo destacam-se a sua capacidade para comportar vários mestres, interligação de diversos dispositivos com apenas dois fios, capacidade de se arbitrar o acesso simultâneo ao barramento CAN adotando níveis de prioridade para as mensagens, e a taxa de transmissão de até 1 Mb/s.

No âmbito deste projeto, o protocolo CAN foi utilizado para se comunicar com o painel do motorista, enviando do valor da rotação calculada e realizando a leitura da velocidade do veículo (A velocidade é determinada por outra ECU presente no veículo, sendo o seu valor disponibilizado no barramento CAN).

2.10.4 Controladores do tipo proporcional-mais-integral (PI)

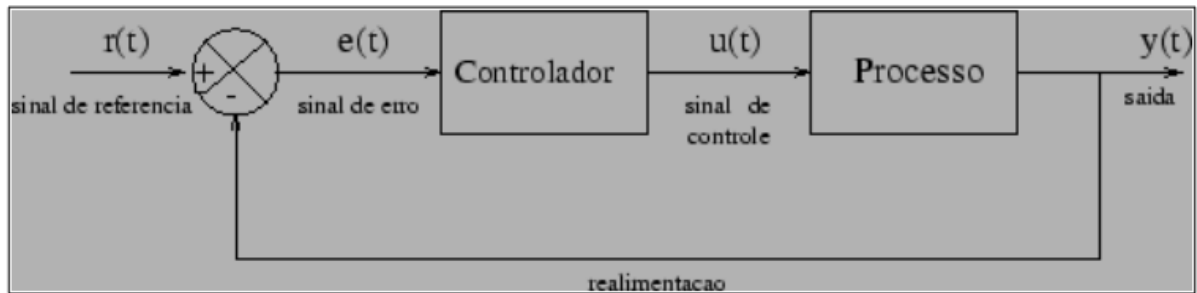


Figura 14 - Controle de malha fechada [Silva Bazanella, 2000]

Segundo Ogata (2003), um controlador industrial é responsável por comparar o valor real da saída do processo com o valor desejado, calcular o erro associado (diferença entre o valor desejado e o valor de saída real) e atuar no processo industrial, de forma a anular o erro ou minimizá-lo a um valor suficientemente pequeno.

Existem diversos tipos de controladores, sendo que se destaca o controlador PI para o presente projeto. Neste tipo de controlador, o sinal de controle (sinal de atuação no processo) é proporcional e integral, e a relação entre a saída do controlador $u(t)$ e a entrada $e(t)$ (sinal que corresponde ao erro) é dada pela expressão abaixo (OGATA, 2003):

$$u(t) = K_p \times e(t) + K_i \times \int e(t)dt$$

Onde K_p corresponde ao ganho proporcional e K_i corresponde ao ganho integral. O ganho proporcional K_p , quando elevado, acaba diminuindo o erro $e(t)$, porém não o anula completamente em regime. Além disto, valores muito elevados desta parcela pode acarretar no surgimento de respostas oscilatórias, o que pode ser crítico dependendo do processo controlado.

De acordo com Ogata (2003), a inclusão da natureza integral no controlador proporcional tem a característica de fornecer uma sinal de controle não nulo, mesmo quando o sinal de erro for anulado. Isto se deve basicamente ao fato da saída do controlador depender, neste caso, de valores passados do erro e não apenas do valor atual. Com isto, distúrbios podem ser rejeitados mesmo em situações de erro nulo, o que não acontece com controladores puramente proporcionais (CRUZ, 2009). Assim, o principal objetivo do termo integral é a de anular erros estacionários, fato essencial para o sucesso deste projeto. Com relação ao ganho integral, valores altos ajudam a anular completamente o erro de regime, porém neste caso a resposta (saí-

da do processo) pode se tornar oscilatória, podendo provocar a instabilização do sistema (SILVA; BAZANELLA, 2000).

Tabela 5 - Efeitos ao se alterar as constantes do PI [ADAPTADO ANG, CHONG E LI (2005)]

Constante Incrementada	Tempo de subida	Sobressinal	Tempo de estabilização	Erro estacionário	Estabilidade
Kp	Diminui	Aumenta	Aumenta pouco	Diminui	Diminui
Ki	Aumenta pouco	Aumenta	Aumenta	Diminui muito	Diminui

Para a sintonia do PI foi escolhido o método manual, que consiste na determinação empírica dos ganhos do controlador, com base na resposta observada. Dentro os principais motivos para se adotar este método se destaca a complexidade em se obter um modelo matemático linear para o motor a combustão interna (WONG; VONG; IP, 2010), o que levaria muito tempo para ser feito. Existem outros métodos para ajuste de controladores PI sem o conhecimento da função de transferência do processo, porém neste caso seria necessário, por exemplo, forçar uma resposta oscilatória no sistema, como sugere o método do período crítico de Ziegler-Nichols (CRUZ, 2009), o que não é seguro para um motor a combustão interna. As mesmas justificativas se aplicam ao controle de posição da válvula borboleta, que também foi sintonizado empiricamente. Detalhes relacionados à implementação destes controles serão apresentados no capítulo 3 deste trabalho.

2.11 Considerações finais

Os sistemas de controle eletrônico de um motor de combustão interna surgiram como uma alternativa aos funcionais, porém poucos flexíveis, carburadores. Estes sistemas gerenciavam as funções do motor recebendo sinais emitidos pelos diversos sensores existentes no veículo e enviando sinais de comando para os atuadores existentes no veículo, com a finalidade de ajustar o torque do motor em função da necessidade do condutor visando, diminuir as emissões, melhorar o rendimento aumentar as condições de conforto e segurança. No próximo capítulo veremos todo processo de desenvolvimento do hardware didático mencionando todas

as ferramentas utilizadas para confecção do mesmo e abordando todos os circuitos eletrônicos utilizados e suas respectivas funções na execução do sistema.

3 METODOLOGIA DA CONFECÇÃO DO HARDWARE

A ideia de se desenvolver um hardware de controle capaz de executar um completo gerenciamento nos motores de combustão interna nasceu junto com o curso de eletrônica automotiva.

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 a versão do hardware 1.2 com melhorias e atualizações no circuito, desenvolvemos a programação realizada a partir dos projetos anteriores já mencionados. Descreve-se a seguir, como foi realizada a confecção deste hardware, os circuitos eletrônicos utilizados, as ferramentas utilizadas e a ideia proposta neste projeto (ADAPTADO, DIAS 2011).

3.1 Descrição geral

A proposta deste estudo possui como base os projetos:

1. Ciclo Otto II (DIAS, 2011) proveniente de um motor GM 1.8, estacionário (Mock-Up), ou seja, um motor que não é aplicado carga, desenvolvida em Microchip PIC;
2. Unidade de Gerenciamento Eletrônico de um Motor Volkswagen 2.0L: Projeto Otto II (PEREIRA, 2013), sendo um desenvolvimento de uma ECU para o Volkswagen Polo 2.0L em microcontrolador *Freescale*.

Assim, esse projeto tem o intuito, desenvolver tecnologias por meio de hardwares e softwares, utilizando uma ECU em microcontrolador - Microchip PIC, que possui desempenho e baixo custo em relação ao Microcontrolador Freescale, utilizado no projeto Otto II. Logo, o Microchip PIC foi adaptado e configurado para aplicação no veículo Polo, nos moldes da programação C.

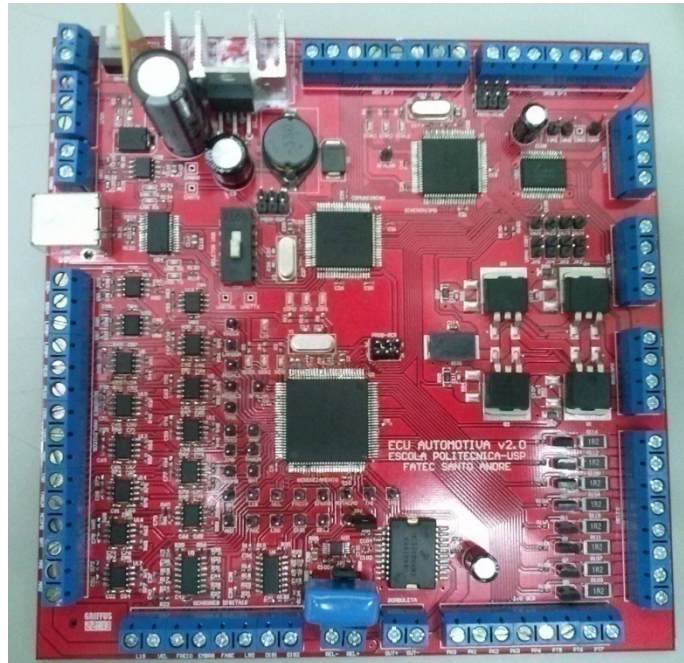


Figura 15 - ECU com microcontroladores Freescale [O AUTOR]

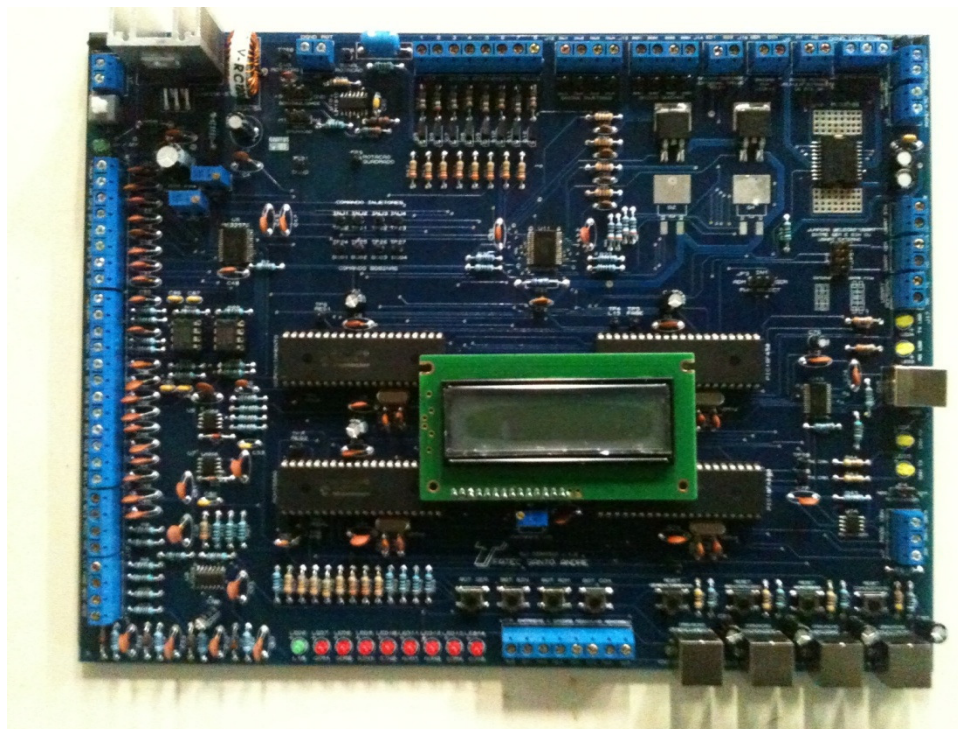


Figura 16 - ECU com microcontroladores PIC - Diagrama ECU Didática Fatec V 1.2 [O AUTOR]

3.2 Veículo utilizado

O veículo utilizado para realizar o projeto de nossa unidade gerenciamento é o Volkswagen Polo Sedan 2.0L 2004 que possuímos em nossa faculdade para diversos projetos e estudos.



Figura 17 - Cofre do motor do Volkswagen Polo 2.0L[EXTRAÍDO, PEREIRA 2013]

Dentre as diversas características do motor, destacam-se (fonte PORTAL VRUM, 2013):

- Operação com gasolina;
- Cilindrada de 1984 cm³;
- 116 cv de potência máxima a 5200 RPM;
- Torque máximo de 17,3 kgfm a 2400 RPM;
- 4 cilindros em linha;
- Duas válvulas por cilindro, característico do motor oito válvulas (8v);
- Bobina de ignição dupla, com acionamento banco-a-banco (acionamento simultâneo nos cilindros 1-4 e 2-3, com “centelha perdida” em um dos cilindros);
- Injeção multiponto sequencial 1-3-4-2.

3.3 Hardware

A seguir, na figura (13) será apresentado o diagrama de blocos desta versão (1.2), que representa a ideia geral deste projeto.

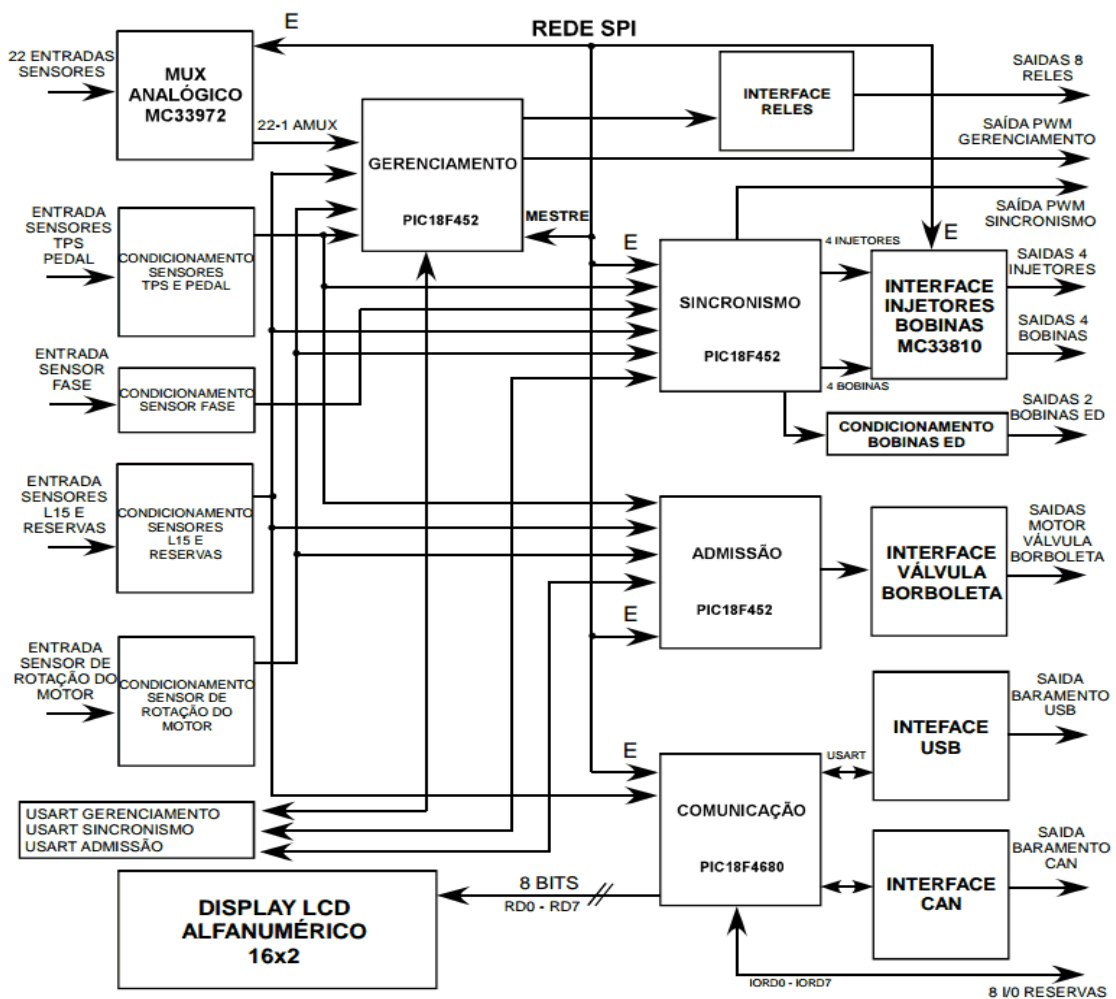


Figura 18 - Diagrama ECU Didática Fatec V 1.2 [O AUTOR]

No diagrama da figura acima se destacam os quatro principais blocos do sistema (gerenciamento, sincronismo, admissão e comunicação), caracterizando uma arquitetura descentralizada com quatro unidades de processamento. Nota-se ainda o grande fluxo de dados entre os processadores (segundo uma comunicação via protocolo SPI), o que é uma característica marcante da arquitetura descentralizada. Sendo assim, é necessário que a comunicação ocorra de forma rápida e confiável para que o sistema funcione corretamente.

Para certificação da funcionalidade de cada interface, primeiramente foram efetuados os testes independentes de cada microcontrolador, seguido pela comunicação SPI, e das interfaces acopladas (injetores, bobinas, válvula borboleta, USB, CAN e display) que será descrito neste capítulo.

As tarefas executadas por cada bloco foram resumidas a seguir (mais detalhes serão apresentados ainda neste capítulo):

- Gerenciamento: Leitura de sensores do veículo, cálculo dos parâmetros de atuação para injeção, ignição, válvula borboleta e acionamento do relé da bomba de combustível;
- Sincronismo: Geração dos comandos de atuação para injeção e ignição (com parâmetros recebidos do Gerenciamento via protocolo SPI);
- Admissão: Leitura do sensor de TPS e Pedal, cálculo dos parâmetros geração do comando (pulsos PWM) de atuação para a válvula borboleta (Drive-by-wire);
- Comunicação: Coleta periódica de dados dos blocos de Gerenciamento e Sincronismo, e envio dos mesmos para um computador externo (via protocolo USB) e para o painel do motorista do veículo (via protocolo CAN).

O hardware, projetado na ferramenta Proteus, usou como referência o hardware desenvolvido pelo projeto de injeção eletrônica (DIAS, 2011) como sua primeira versão e atualizada nesse projeto. Com o mesmo tipo de arquitetura descentralizada. Com relação ao hardware deste projeto, diversas mudanças e aperfeiçoamentos foram conduzidos, de forma a melhorar o desempenho do sistema. Dentre as principais mudanças, destacam-se:

- Mudança no microcontrolador de sincronismo do 18F452 para o 18F44K22, pois possui uma maior quantidade de temporizadores (7), maior que no anterior (4), assim dedicando um timer para cada injetor (4) e 2 para cada bobina (duas bobinas, funcionamento por centelha perdida);
- Remoção do multiplexador analógico MC33972, dado que o microcontrolador utilizado neste projeto possui um número elevado de entradas analógicas, porém influenciando negativamente a rede SPI;
- Adição de uma comunicação USB 2.0 com um computador externo (diagnose para leitura de valores – tempo injeção, ignição, sensores analógicos);
- Adicionado pinos de medição dos sinais de sensores e atuadores;
- Adição do chip de Admissão (18F452), pois o chip de gerenciamento está tratando e realizando muitos cálculos e assim não possuindo mais temporizadores para a atuação da válvula borboleta, assim não sobrecarregando o processamento deste módulo.
- Alteração via hardware da aquisição do sinal dos condicionadores dos Sensores MAP, Temperatura de Ar e água modificados do CI MC 33975 para as portas AD (analógicas) do bloco de gerenciamento - portas AN0, AN1 e AN2 respectivamente.
- Alterado LEDs da placa para indicar o acionamento dos injetores e bobinas LED 2 do PIC Gerenciamento para injetor 1, LEDs 1 e 2 do PIC Sincronismo para injetores 2 e 3, LEDs 1 e 2 do PIC de admissão para injetor 4 e bobina 1 e por fim LED 1 do PIC de comunicação para a Bobina 2.
- Utilizando circuitos externos de condicionamento do sinal para sensor MAP, temperatura de água e temperatura do ar, devido ao MUX CI33972 sobrecarregar a comunicação SPI.

Assim com essas mudanças o diagrama de blocos ficou desta forma destacada abaixo:

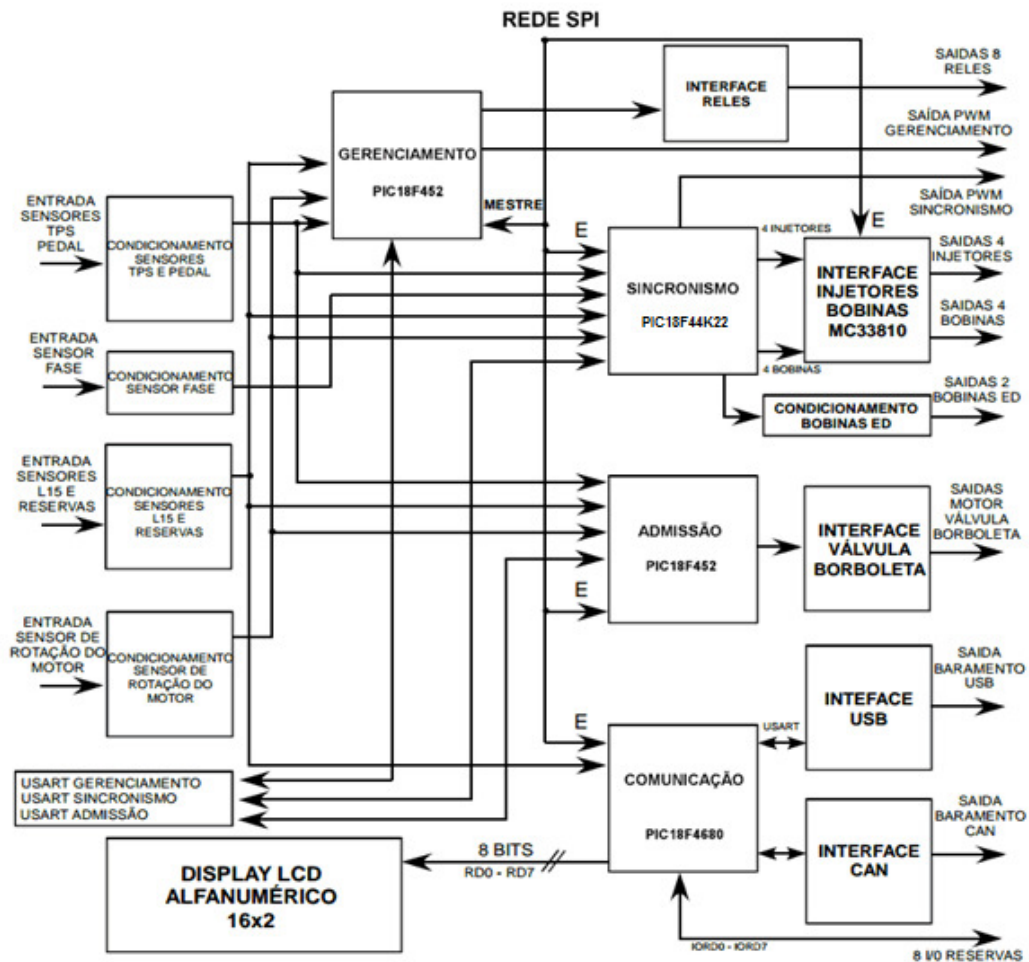


Figura 19 - Diagrama ECU Didática Fatec V 1.2 modificada [O AUTOR]

3.4 Descrição dos blocos de microcontroladores

Os microcontroladores escolhidos para realizar as tarefas dos quatro blocos do sistema (Gerenciamento, Sincronismo Admissão e comunicação) foram da família 18F, dedicada a diversas aplicações na área eletrônica. No caso do Sincronismo optou-se pelo 18F44K22, por ter a maior quantidade de temporizadores (7), entradas analógicas/digitais (28), dois barramentos de comunicação SPI, já no sincronismo e admissão foi utilizado 18F452, pois possui uma gama de temporizadores e entradas/saídas compatíveis a sua aplicação. Por fim no chip de comunicação foi utilizado o 18F4685, devido possuir interface USB (utilizado na diagnose) e CAN (para envio de dados para o painel de instrumentos (cluster), atuação da bomba de combustível e direção elétrica hidráulica). Todos os microcontroladores trabalham com cristais de Quartzo externos de 20 MHz, mas operam na frequência de 40 MHz resultante da amplificação da frequência por software do cristal, além disto, possui LEDs que mostram os pul-

so de injeção (para cada injetor) e ignição (para cada bobina, no caso duas (centelha perdida), como também a atuação da linha 15 (chave de ignição ligada)).

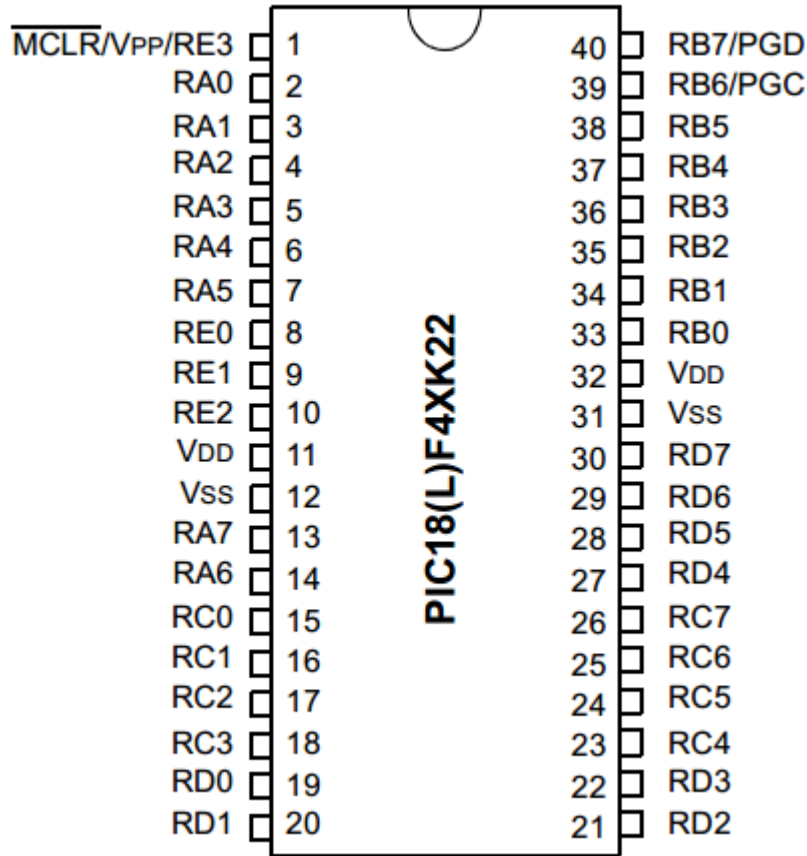


Figura 20 - PIC18F44K22[EXTRAÍDO DE MICROCHIP]

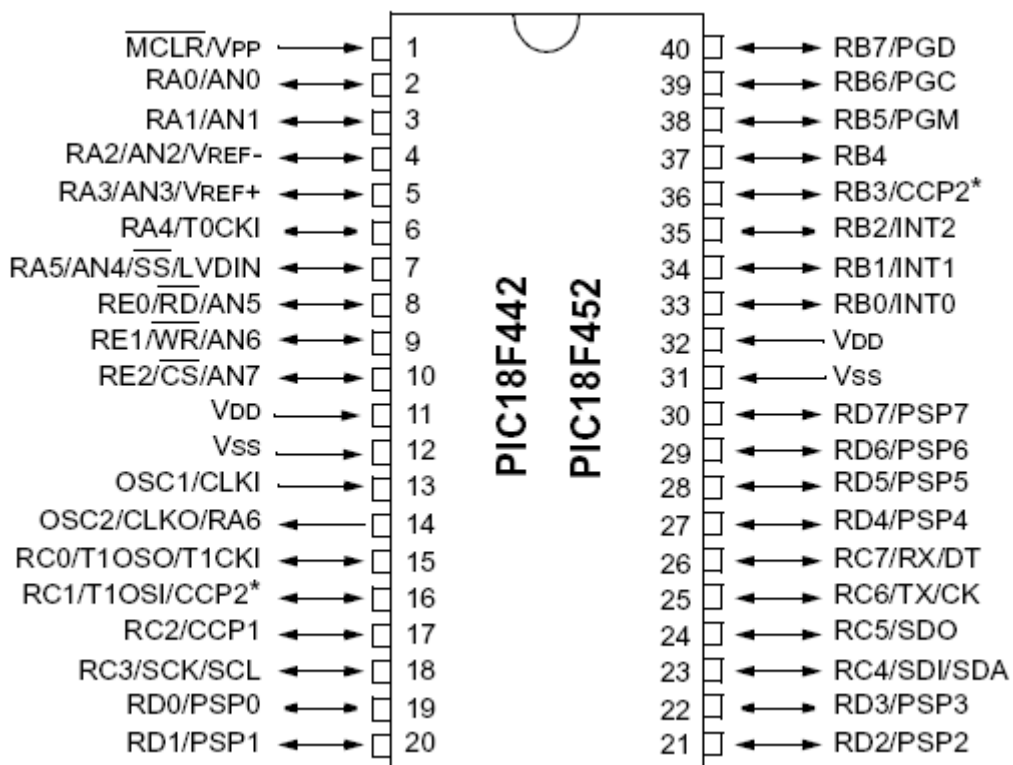


Figura 21 - PIC18F452 [EXTRAÍDO DE MICROCHIP]

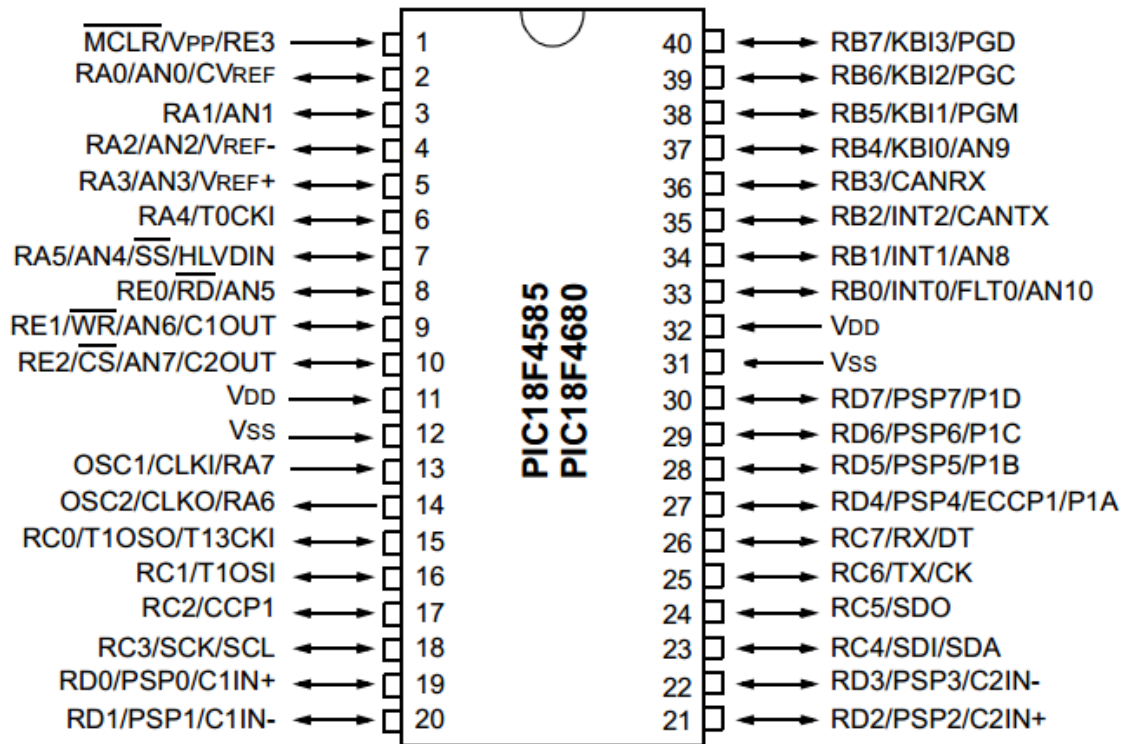


Figura 22 - PIC18F4680 [EXTRAÍDO DE MICROCHIP]

A seguir será descrito com detalhes a função e a composição de cada um dos três blocos existentes no sistema.

3.4.1 Bloco de gerenciamento

O bloco de gerenciamento tem como função principal gerenciar todo sistema. O mesmo recebe os sinais dos principais sensores existentes em um motor de combustão interna ciclo Otto. Estes sensores recebem um condicionamento prévio, para adequar os sinais capturados aos padrões aceitáveis pelo microcontrolador PIC18F452. Estes circuitos de condicionamento serão detalhados posteriormente. O bloco de gerenciamento se comunica com o bloco de sincronismo, admissão e comunicação através de um protocolo tipo SPI. Este bloco terá a função de definir o tempo de injeção e o avanço de ignição adequado para o regime atual do motor tendo como referência o sinal de rotação do motor, posição do comando de válvulas (sensor de FASE), sensor de pressão no coletor de admissão (MAP), temperatura do ar admitido (ACT) e temperatura do líquido de arrefecimento do motor (ECT), enviando estes parâmetros atualizados do motor para o bloco de sincronismo para que os mesmos atuem nos sistemas eletrônicos que gerenciam o motor a combustão (injetores e bobinas de ignição). Este bloco terá ainda, a possibilidade de acionar oito relés para utilização geral (utilizamos somente uma saída para o acionamento do rele da bomba de combustível) e calcular a referência de rotação conforme a leitura do pedal efetua no controle de rotação, limitando a referencia de

envio para controlar a cada 100 RPM, sendo a variação máxima para mais ou para menos, depois envia por SPI esta referência calculada para o bloco de admissão que controla a válvula borboleta. Este bloco é ilustrado na figura (18) [ADAPTADO, DIAS 2011].

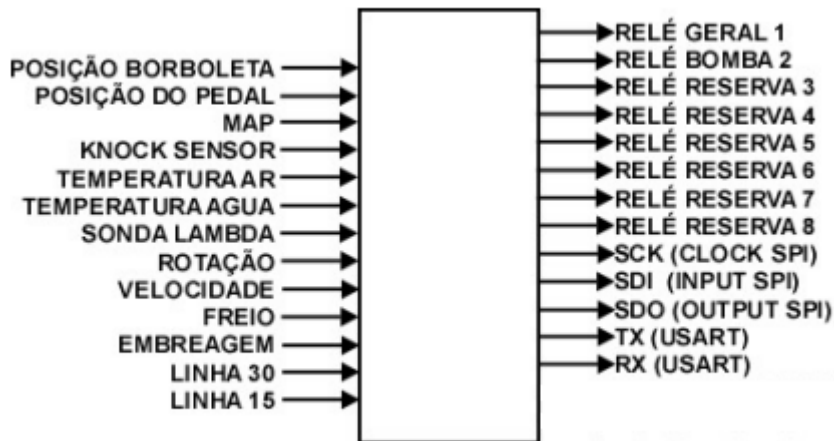


Figura 23 - Bloco de gerenciamento [ADAPTADO, DIAS 2011]

3.4.2 Bloco de sincronismo

O bloco de sincronismo tem a função de atuar com precisão no motor de combustão interna ciclo Otto. Este bloco recebe o sinal de rotação do motor e do sensor de fase, sincronizando a injeção de combustível e o avanço de ignição com o regime de operação do motor. A massa de combustível a ser injetada e o avanço de ignição ideal para o determinado regime de operação do motor são recebidos do bloco de gerenciamento.

Os sinais de rotação do motor e do sensor de fase recebem um condicionamento prévio, para adequar os sinais dos mesmos aos padrões aceitáveis pelo microcontrolador PIC18F44K22. Estes circuitos de condicionamento serão detalhados posteriormente. Este bloco tem a possibilidade de receber sinais de sensores analógicos e digitais através das entradas consideradas reservas. Este bloco tem ainda, a possibilidade de acionar quatro válvulas injetoras (comando direto para driver MC33810) e duas bobinas de ignição (somente com pulsos de comando para driver externo – caso do veículo utilizado) ou 4 bobinas de ignição (comando direto para driver MC33810). Este bloco é ilustrado na figura (16) [ADPATADO, DIAS 2011].

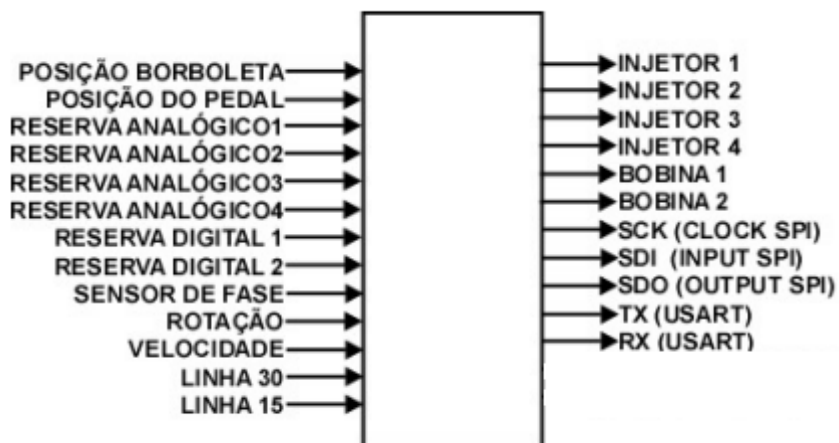


Figura 24 - Bloco de sincronismo [ADAPTADO DIAS, 2011]

3.4.3 Bloco de Admissão

O bloco de admissão tem a função de atuar na válvula borboleta. Este bloco recebe do bloco de gerenciamento via comunicação SPI o valor calculado da referência de rotação conforme a leitura do pedal efetuando o controle a cada 100 RPM sendo a variação máxima para mais ou para menos do mapa. Assim com a leitura do TPS da válvula borboleta e o valor de referencia enviado do gerenciamento calcula o correto PWM para controlar o servo motor. Este bloco é ilustrado na figura (20).

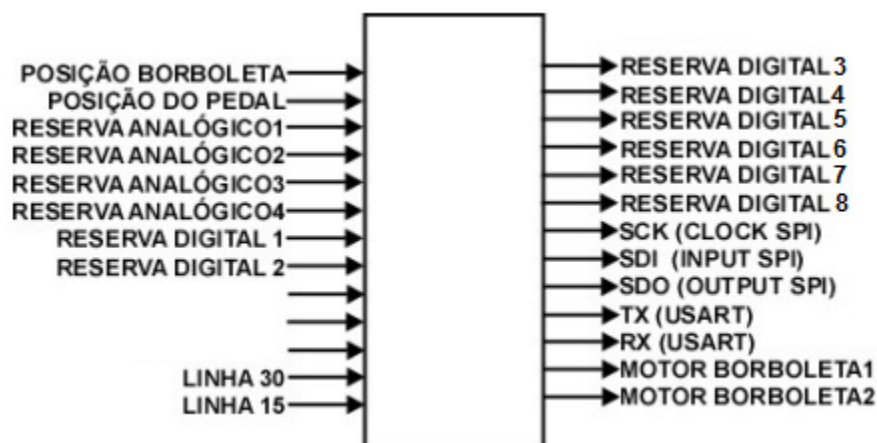


Figura 25 - Bloco de admissão [O AUTOR]

3.4.4 Bloco de comunicação

O bloco de comunicação, também denominado bloco de diagnose, tem a função de enviar mensagens de dados do veículo através de uma rede CAN (gerando sinais para comandar o painel de instrumentos do veículo, sendo rotação e futuramente a leitura de velocidade do veículo), um display de cristal líquido (em funcionamento, porém não utilizado) e também para a interface USB (que envia dados para o computador e assim atuando no software de diagnose, descrito posteriormente). O barramento CAN (Controler Area Network) é atualmente o protocolo de comunicação entre dispositivo mais utilizado em aplicações automotivas, Este bloco tem a função de transmitir, através desta rede, dados que poderão servir como meio de diagnose ou qualquer outra aplicação possível. Este bloco utiliza um microcontrolador PIC18F4685 que possui controlador CAN interno, um transceiver CAN (PCA82C251) e um display de cristal líquido alfanumérico de 16 caracteres por 2 linhas (16x2). Este bloco se comunica com a interface USB através de um protocolo tipo USART (onde efetua a comunicação com o computador efetuando a diagnose por software) e com o controlador CAN e o bloco de gerenciamento através de um protocolo tipo SPI. Este bloco tem ainda, a possibilidade de ler ou escrever em seis pinos de aplicações gerais, determinados “I/O reservas”. Estes pinos não recebem nenhum condicionamento dentro do sistema, sendo que, para atuar ou receber parâmetros os mesmos devem obter condicionamentos externos. Este bloco é ilustrado na figura (21).

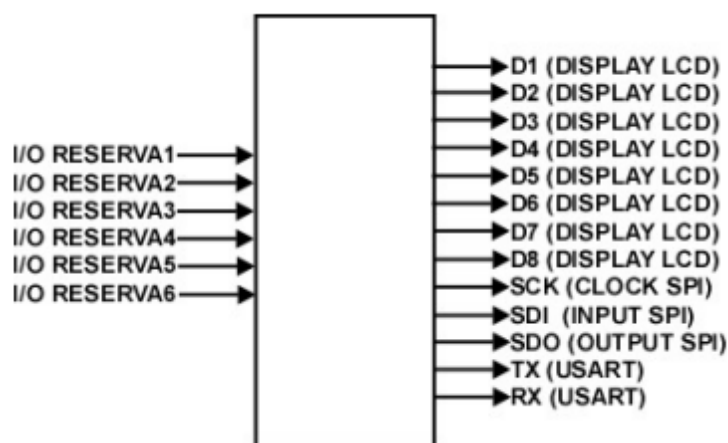


Figura 26 - Bloco de comunicação [ADAPTADO DIAS, 2011]

quência. Buscando atender o máximo de sensores possíveis, foram desenvolvidos circuitos eletrônicos de condicionamento que se adaptam aos sinais originais do veículo aos padrões aceitáveis pelo microcontrolador PIC18F452 (bloco de gerenciamento, sincronismo e admissão), sem perder suas propriedades elétricas. A seguir será detalhado o circuito utilizado para adequar os sinais dos principais sensores analógicos e dos principais sensores digitais definidos para este projeto [ADAPTADO, DIAS 2011].

3.4.7 Circuitos analógicos

Sensores analógicos geralmente possuem três terminais, sendo um terminal para tensão positiva, um terminal para aterramento e outro terminal para o sinal elétrico enviado à ECU. Estes sensores podem ser polarizados de duas maneiras e estas duas maneiras são ilustradas na figura (22).

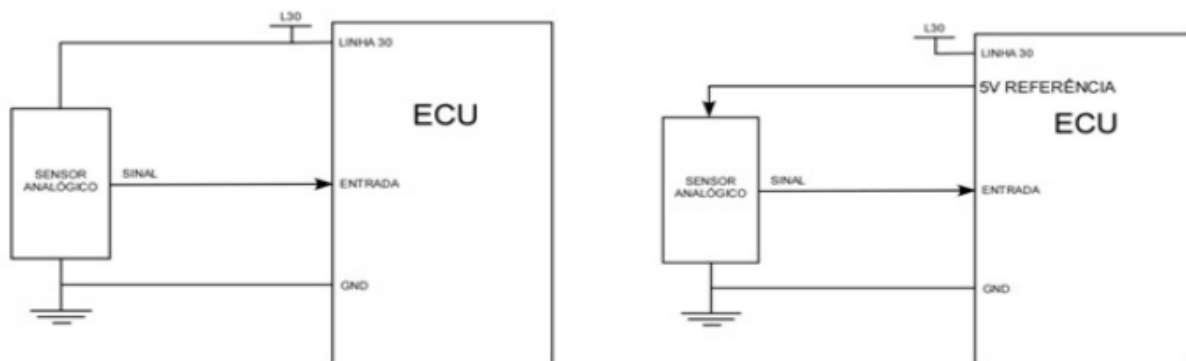


Figura 28 - Sensores analógicos [EXTRAÍDO DE DIAS, 2011]

Na primeira possibilidade o sensor é polarizado com uma tensão proveniente da linha 30 do veículo, ou seja, aproximadamente 12 Volts. Na segunda possibilidade o sensor é polarizado com uma tensão de referência proveniente da própria ECU. Nesta ECU didática esta tensão é de aproximadamente 5 Volts.

O circuito utilizado para condicionar o sinal proveniente dos sensores analógicos com tensão de polarização proveniente da linha 30 é o ilustrado a seguir.

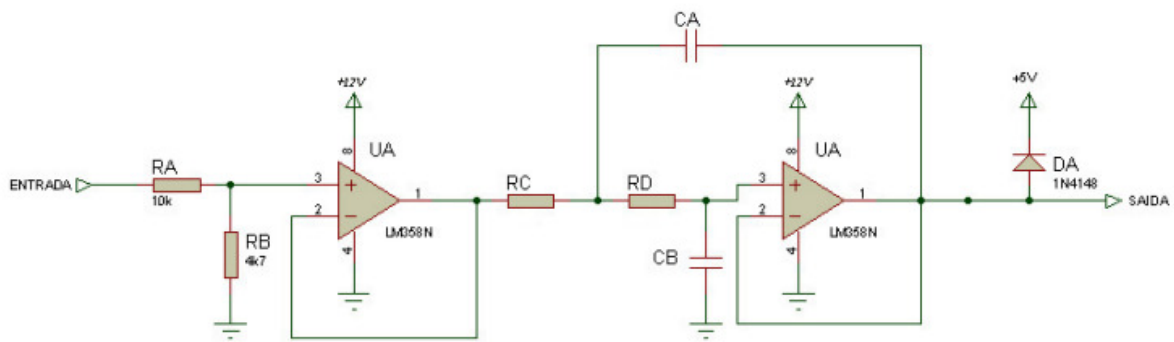


Figura 29 - Sensores analógicos linha 30 (12 Volts da bateria) [EXTRAÍDO DE DIAS, 2011]

Este circuito possui na entrada um divisor de tensão resistivo para atenuar a tensão que varia de 0 a 14 Volts na entrada conforme conjunto alternador/bateria do veículo. Possui também, um amplificador operacional (LM358) configurado como seguidor de tensão (buffer), que tem a função de isolar a impedância do sensor do resto do circuito da ECU e outro amplificador operacional (LM358) configurado como filtro ativo de segunda ordem na topologia sellen key passa baixas. “Um filtro elétrico é um quadripolo capaz de atenuar determinadas frequências do espectro do sinal de entrada e permitir a passagem das demais” (PERTENCE JÚNIOR, 2003, p.161). A frequência de corte deste circuito é dada pela equação.

$$F_c = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_C \cdot R_D \cdot C_A \cdot C_B}}$$

Segundo Pertence Júnior (PERTENCE JÚNIOR, 2003), o amplificador operacional configurado na topologia sellen key deve possuir uma banda passante (BW) dez vezes maior que a frequência de corte para permanecer com ganho unitário ($A_v = 1$). Na saída do amplificador operacional existe um diodo (1N4148) que tem a função de grampear a tensão de saída para no máximo 5,7 Volts, adequando assim, o sinal deste sensor para ser processado pelo microcontrolador do seu respectivo bloco. Na tabela (5) a seguir, é descrito os sensores que utilizam este circuito de condicionamento:

Tabela 6 - Sensores analógicos linha 30 [EXTRAÍDO DE DIAS, 2011]

Sensor	Tensão de trabalho	Bloco de destino
Monitor de bateria	0 a 14 Volts	Não aplicado nesta versão de placa

Na segunda possibilidade o sensor é polarizado com uma tensão de referência proveniente da própria ECU, ou seja, aproximadamente 5 Volts. O circuito utilizado para condicionar o

sinal proveniente dos sensores analógicos com tensão de polarização proveniente da ECU é o ilustrado a seguir.

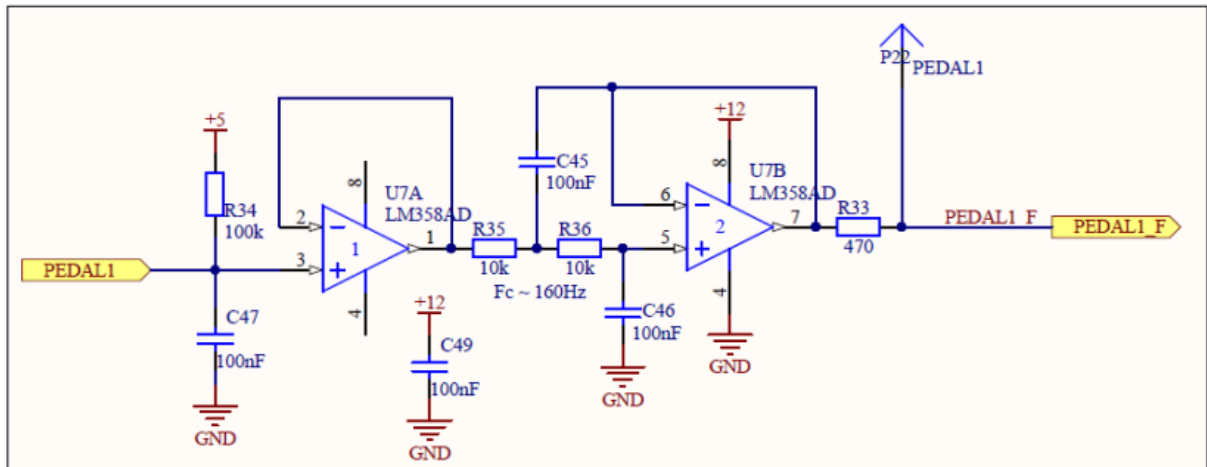


Figura 30 - Esquema elétrico do filtro analógico de segunda ordem [EXTRAÍDO DE PEREIRA, 2013]

A placa desenvolvida possui filtros ativos analógicos Salent Key de segunda ordem passa baixa, com frequência de corte projetada para aproximadamente 160 Hz. Além disto, nas entradas dos filtros foram colocados resistores de "pull-up", com intuito de detectar, via firmware, sinais desconectados do sistema. Foram empregados também resistores limitadores de corrente e pinos para medição dos sinais de saída dos filtros. Este circuito possui na entrada um amplificador operacional (LM358) configurado como seguidor de tensão (buffer), que tem a função de isolar a impedância do sensor do resto do circuito da ECU e outro amplificador operacional (LM358). A frequência de corte deste circuito é dada pela equação (3).

$$F_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_C \cdot R_D \cdot C_A \cdot C_B}}$$

A saída destes sensores já se encontram adequadas para serem processadas pelo microcontrolador do seu respectivo bloco, justamente por terem uma tensão máxima de 5 Volts. Na tabela (6) a seguir, é descrito os sensores que utilizam este circuito de condicionamento:

Tabela 7 - Sensores analógicos ECU [ADAPTADO DE DIAS, 2011]

Sensor	Tensão de trabalho	Bloco de destino (PIC)
TPS	0 a 5 Volts	Admissão
Posição do pedal	0 a 5 Volts	Gerenciamento e admissão
MAP	0 a 5 Volts	Gerenciamento

Sensor de detonação (Knock)	0 a 5 Volts	Gerenciamento
Temperatura do ar	0 a 5 Volts	Gerenciamento
Temperatura da água	0 a 5 Volts	Gerenciamento
Sonda Lambda	0 a 5 Volts	Gerenciamento
Reserva	0 a 5 Volts	Sincronismo

3.4.8 Sensores digitais

Sensores digitais geralmente possuem três terminais, sendo um terminal para tensão positiva, um terminal para aterramento e outro terminal para o sinal elétrico enviado a ECU. Estes sensores são polarizados com uma tensão proveniente da linha 30, ou seja, aproximadamente 12 Volts. O circuito utilizado para condicionar o sinal proveniente dos sensores digitais com tensão de polarização proveniente da linha 30 é o ilustrado a seguir na figura (18).

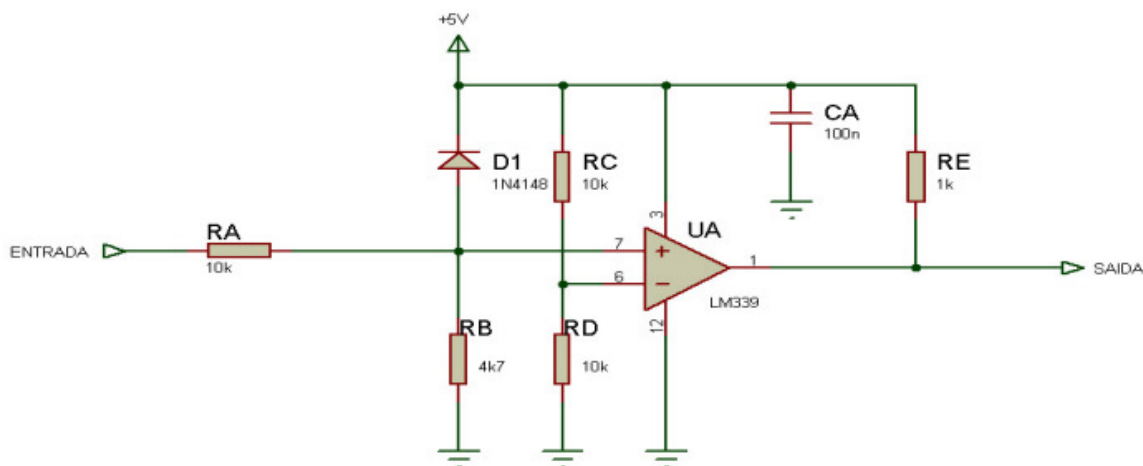


Figura 31 - Sensores digitais linha 30 [EXTRAÍDO DE DIAS, 2011] .

Este circuito possui na entrada um divisor de tensão resistivo para atenuar a tensão que varia de 0 a 12 Volts na entrada. Assim com um diodo (1N4148) que tem a função de grampear a tensão de entrada para no máximo 5,7 Volts. Possui também um amplificador operacional (LM339) que tem a função de isolar a impedância do sensor do resto do circuito da ECU e de efetuar uma comparação entre a tensão de entrada (terminal positivo) e uma tensão de referência efetuada pelo um divisor resistivo no terminal negativo (2,5 Volts). Caso a tensão de entrada seja maior que a tensão de referência, a saída do amplificador operacional terá aproximadamente 5 Volts (nível lógico 1), caso a tensão de entrada seja menor que a tensão de referência (2,5 Volts), a saída do amplificador operacional terá aproximadamente 0 Volts (nível lógico 0). Existe também na saída do amplificador operacional um resistor de “pull-up”. Na tabela (7) a seguir, é descrito os sensores que utilizam este circuito de condicionamento:

Tabela 8 - Sensores digitais [ADAPTADO DE DIAS, 2011].

Sensor	Tensão de trabalho	Bloco de destino
Linha 15	0 a 15 Volts	Gerenciamento, sincronismo, comunicação e admissão
Sensor de fase	0 a 15 Volts	Sincronismo
Reserva 1	0 a 15 Volts	Sincronismo
Reserva 2	0 a 15 Volts	Sincronismo

3.4.9 Sensor de relutância variável

Existem várias maneiras de se monitorar a velocidade angular do eixo da árvore de manivelas de um motor de combustão interna. Atualmente, o sensor mais utilizado para medir esta rotação instantânea é o sensor de relutância variável. Este sensor é composto por utiliza um ímã permanente e um indutor (bobina) e fornece uma tensão alternada com frequência e amplitude proporcionais a velocidade angular da roda fônica, conforme ilustrado na figura (27) (PUJATTI, 2007).

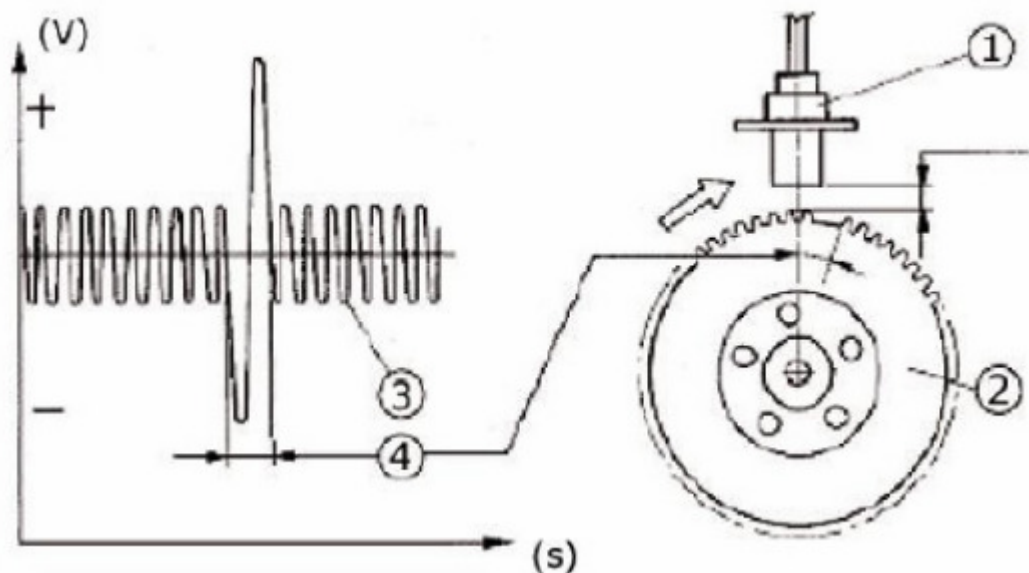


Figura 32 - Sensor de relutância variável [EXTRAÍDO DE PUJATTI, 2007].

Na figura (27), pode-se observar o sensor de relutância variável (1), a roda fônica (2), o sinal elétrico alternado gerado pelo sensor (3) e a falha de dois dentes existente na roda fônica (4). Este sinal é de extrema importância para todo sistema, pois através do mesmo é pos-

sível sincronizar os pulsos de ignição e injeção além de ser possível saber a posição atual do êmbolo dentro do cilindro. Este sinal é disponibilizado tanto para o bloco de gerenciamento como para o bloco de sincronismo, para que sejam corretamente sincronizados.

O sinal gerado por este sensor é uma onda senoidal, por este motivo, este sinal deve receber um circuito de condicionamento prévio para transformar a onda senoidal em uma onda qua-

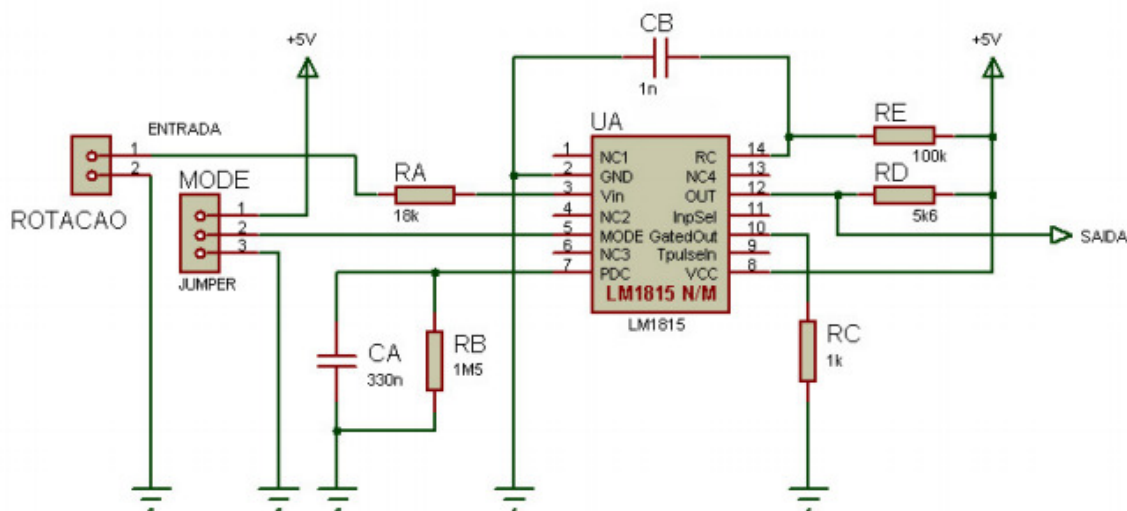


Figura 33 - Circuito condicionador do sensor de relutância variável (RPM rotação) [EXTRAÍDO DE DIAS, 2011].

drada com amplitude máxima de 5 Volts, adequando o sinal aos padrões aceitáveis pelo microcontrolador PIC18F44K22 (Bloco de sincronismo) e PIC18F452 (Bloco de gerenciamento). Este circuito de condicionamento é ilustrado na figura (28).

O circuito integrado utilizado para o quadramento do sinal do sensor de relutância variável é o LM1815, que permite três modos de funcionamento escolhidos através do “jumper”, esses modos iram serem descritos posteriormente no desenvolvimento prático. Este circuito integrado gera pulsos quadrados quando a subida do sinal senoidal do sensor coincide com a passagem por zero do semiciclo positivo para o negativo e a largura do pulso é estabelecida pela constante RC estabelecida pelo resistor RE e o capacitor CB (NATIONAL, 2005). Estabeleceu-se uma largura de $100\mu\text{s}$ que é menor do que o intervalo de tempo correspondente a meio período da senóide de entrada quando o motor se encontra em máxima rotação.

3.4.10 Circuito da interface dos atuadores

Após processar os sinais emitidos pelos diversos sensores presentes no sistema, a unidade eletrônica de controle deve atuar de forma precisa sobre o motor. Para isto a unidade

eletrônica de controle deve enviar sinais de controle, que são geralmente sinais digitais de acionamento e desligamento, para os atuadores.

O microcontrolador utilizado neste projeto tem a capacidade de fornecer um sinal digital com 5 Volts de amplitude e uma corrente de até 30 mA (MICROCHIP, 2002). Mas se analisarmos os principais atuadores presentes em um motor de combustão interna concluiremos que o sinal fornecido pelo microcontrolador não é capaz de acionar o atuador sem que haja uma interface com a função de adequar a tensão e a corrente aos padrões exigidos pelo atuador, o único atuador que fazemos o acionamento direto é as bobinas (1 e 2), pois possui driver interno (em seu próprio encapsulamento), portanto com as condições que o microcontrolador gera atende a sua aplicação. A seguir serão detalhados os circuitos utilizados para adequar o sinal de comando da unidade eletrônica de controle aos principais atuadores definidos para este projeto.

3.4.11 Circuito de interface das válvulas injetoras e bobinas de ignição

Este circuito é responsável por realizar a interface entre a válvula injetora de combustível e o microcontrolador, evitando assim, possíveis danos que a ligação direta entre os dois possa ocasionar. A figura (21) apresenta o circuito utilizado que se baseia no circuito integrado MC33810.

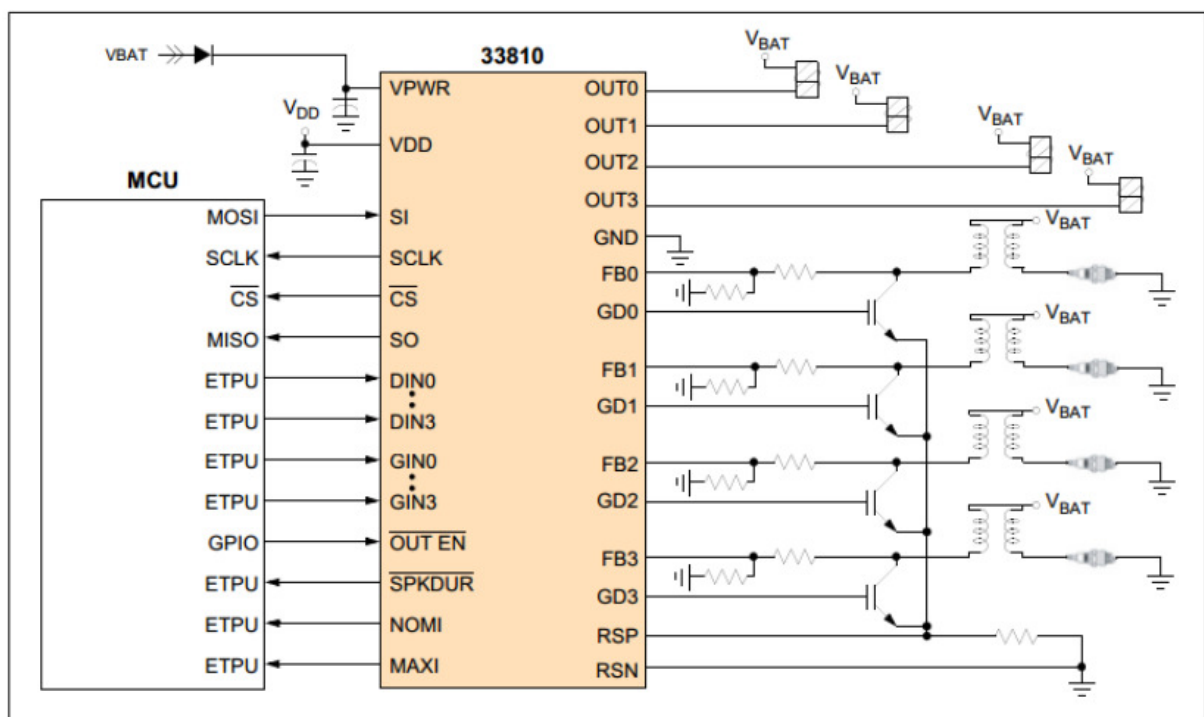


Figura 34 - Exemplo de aplicação do MC33810[EXTRAÍDO FRESCALLE, 2008].

O driver de Injeção e Ignição corresponde ao CI 33810 da Freescale este CI possui diversos modos de funcionamento, cuja configuração é feita pelo protocolo SPI (configurado pelo PIC gerenciamento). Além disto, o CI possui a capacidade de detectar carga em aberto ou curto-circuito, além de monitorar parâmetros úteis à diagnose da ignição ou injeção (FREESCALE, 2008).

O driver dos injetores é composto pelo CI Freescale MC33810 que aciona diretamente cada injetor (4), como descrito na figura abaixo (30).

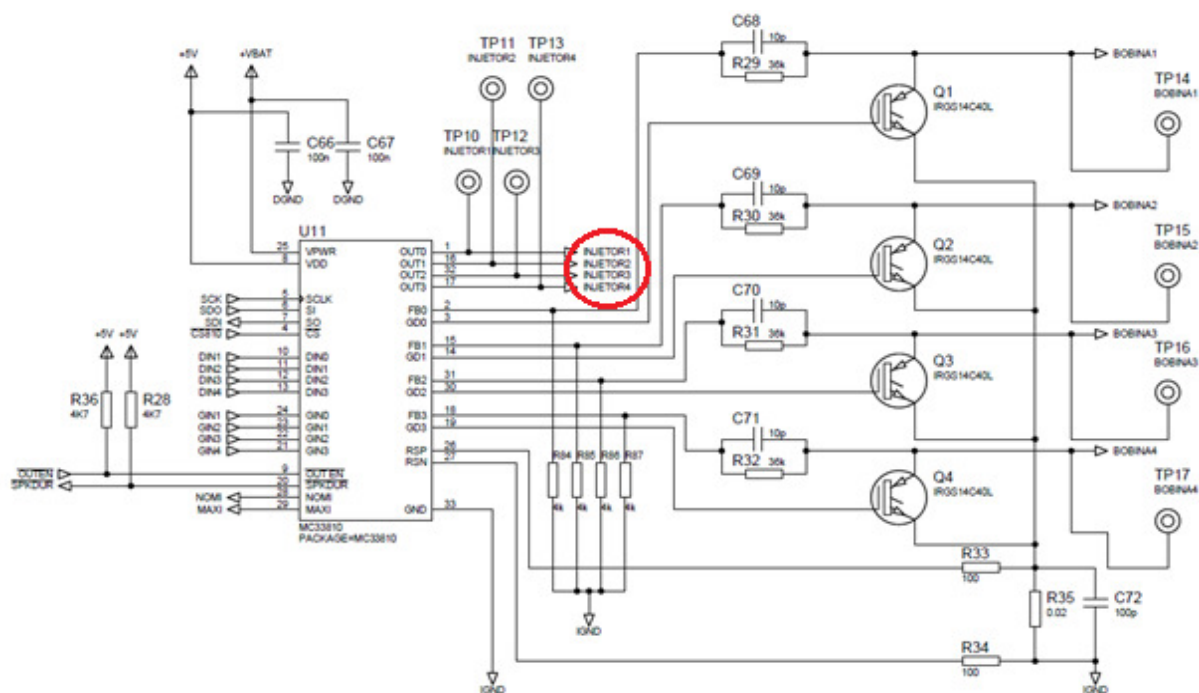


Figura 35 - Diagrama driver MC33810 para acionar injetores e ignição [EXTRAÍDO DE DIAS, 2011].

No hardware, o CI pode ser empregado para acionar a ignição de dois modos. No primeiro caso (exemplificado na figura anterior), o transistor que aciona a bobina de ignição está presente na placa. Neste caso, o CI pode medir e controlar parâmetros da ignição, como a corrente do primário da bobina ou a duração da centelha. Já no segundo caso, o transistor que aciona a ignição está fora da placa, sendo que o seu acionamento é realizado por um sinal enviado à sua base.

No caso deste projeto, será utilizado o acionamento diretamente da saída do PIC18F44K22 (bloco de sincronismo) para acionar o driver da bobina, assim só necessitando deste pulso gerado pelo microcontrolador, ou seja, uma vez que o transistor de potência está integrado à bobina de ignição do motor deste projeto. Como descrito na figura abaixo (31).

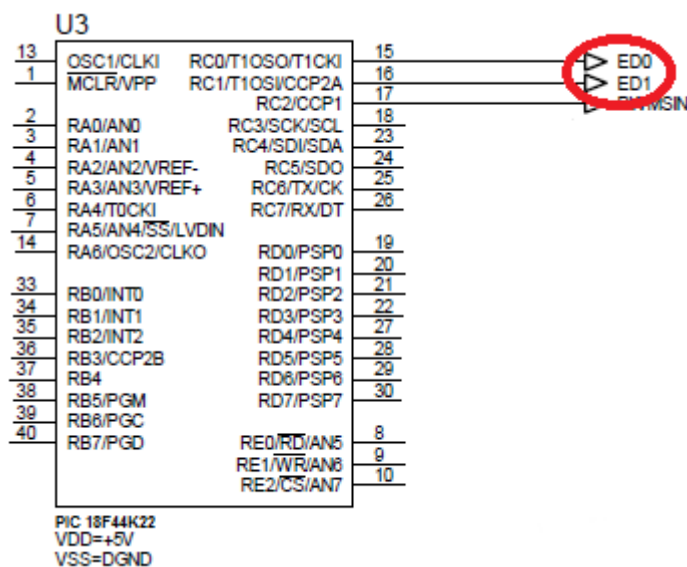


Figura 36 - Saída de acionamento do driver de potência [EXTRAÍDO, DIAS 2011].

Todavia, é importante ressaltar que o hardware pode ser utilizado em outros sistemas em que a bobina de ignição não possui nenhum driver acoplado. Sendo assim, o hardware se mostra flexível para outros tipos de aplicações, não se restringindo apenas ao atual projeto.

3.4.12 Circuito de interface de relés

Um dos principais atuadores elétricos em um automóvel é o relé. Esse componente é utilizado para comandar os mais variados tipos de sistemas. Uma vez que os principais atuadores presentes em um veículo com gerenciamento eletrônico consomem uma corrente elétrica relativamente alta, os mesmos são geralmente acionados por intermédio de relés. Segundo Câmara (CÂMARA, 2006), um relé é uma chave elétrica comutada por intermédio do eletromagnetismo de uma bobina. Esta bobina é isolada eletricamente do contato elétrico que comuta os atuadores. Dessa forma a unidade eletrônica de controle comuta correntes menores aumentando a confiabilidade e diminuindo a temperatura de operação. (GUIMARÃES, 2007).

Com objetivo de aumentar esta confiabilidade, foi desenvolvido um pequeno circuito de interface entre o microcontrolador e o terminal de comando da bobina do relé. Este circuito é

Ilustrado na figura (32).

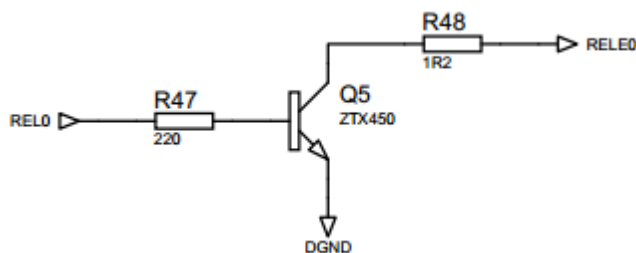


Figura 37 - Esquema elétrico de acionamento do relé [EXTRAÍDO DE DIAS, 2011].

Neste circuito o transistor opera como uma chave eletrônica. Através do comando enviado pelo microcontrolador (5 Volts) a base do transistor (NPN) é polarizada fazendo que o mesmo conduza a corrente elétrica, acionando assim, a bobina do relé. O próprio relé limita a corrente elétrica, porém prevendo a possibilidade de acionar outros atuadores com esta mesma interface foi previsto um resistor RC como função de limitar a corrente elétrica. Como é ilustrado na figura (32) o resistor RC possui um valor de $1,2\Omega$. Recomenda-se adequar o valor desta resistência em função do atuador a ser utilizado. Para acionar um relé de uso automotivo recomenda-se utilizar resistores de baixa resistência elétrica.

Neste projeto, foi estabelecido à possibilidade de se acionar até oito relés de aplicações gerais, como por exemplo, relé principal e o relé da bomba de combustível através do bloco de gerenciamento.

3.4.13 Interface da válvula borboleta

A válvula borboleta é um sistema responsável por admitir e controlar o ar externo para o coletor de admissão do motor. Esta vazão tem relação direta com o ângulo da borboleta, que indica o quanto o pedal do acelerador foi pressionado pelo motorista. Existem dois tipos de válvula borboleta: a primeira é acionada mecanicamente através de um sistema de cabo de aço e mola conectados ao pedal do acelerador, a segunda é controlada eletronicamente através da unidade eletrônica de controle. Neste projeto é utilizada uma interface que é controlada os pulsos PWM pelo bloco de admissão (microcontrolador 18F452). O motor da válvula borboleta é controlado via PWM, que configuramos em 2.5KHz (configurado pelo clock do PIC e pela divisão do temporizador) para melhor estabilidade durante a aceleração e desaceleração. Este motor drena correntes elétricas de aproximadamente 5 Ampéres. Por este motivo, foi desenvolvido um circuito de interface para esta válvula borboleta que é ilustrado na figura (33).

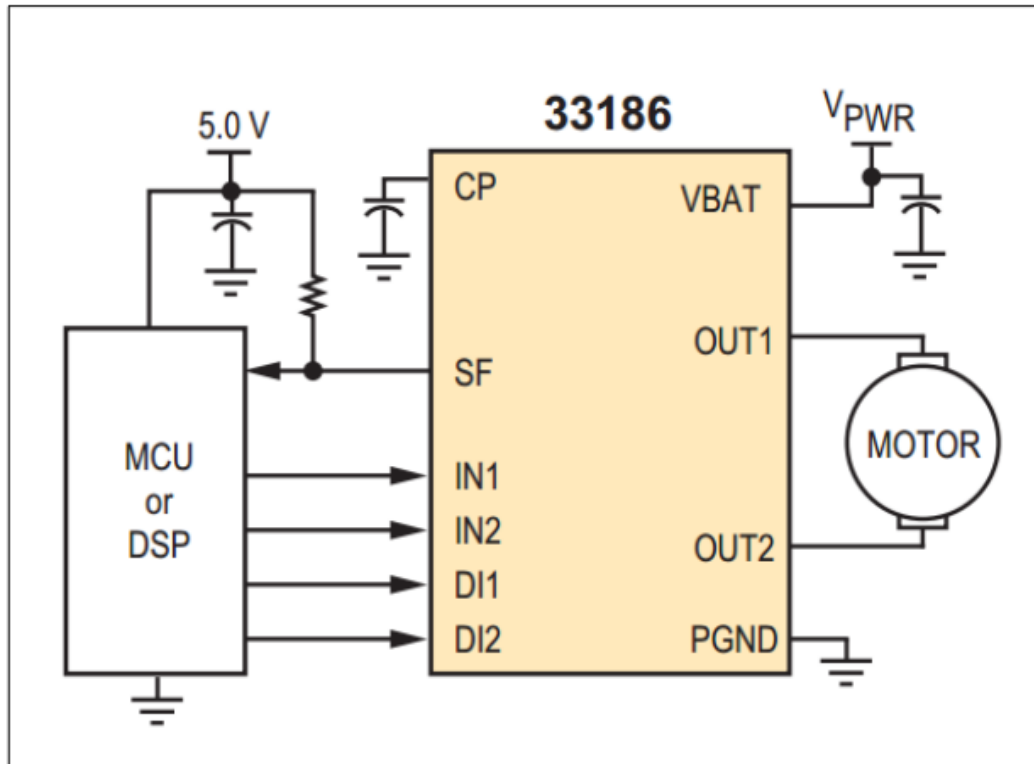


Figura 38 - Exemplo de aplicação CI 33186 [EXTRAÍDO DE FREESCALE, 2011].

Via software, controlamos o PWM conforme a solicitação do motorista (pedal do acelerador) e rotação do motor (limitando a abertura e fechamento para que o motor não admita mais ar que o necessário ou que reduza demais a desaceleração). Utilizamos o CI Freescale MC33186 (ponte H) para o controle do motor.

O CI possui capacidade de operar em diversos modos, segundo uma tabela verdade (figura adiante) que é definida com base no controle de pinos digitais de entrada, estes que, no âmbito deste projeto, são controlados pelo PIC admissão. O CI também é capaz de detectar e se proteger de curtos circuitos e altas temperaturas (FREESCALE, 2011).

Seguindo a configuração da tabela (figura 34), configuramos este CI com o 1º caso para a abertura da válvula borboleta ou o 2º caso para seu fechamento.

Device State	Input Conditions				Status		Outputs	
	DI1 ⁽⁸⁾	DI2 ⁽⁸⁾	IN1	IN2	SF ⁽⁹⁾	SF ⁽¹⁰⁾	OU1	OU2
1-Forward	L	H	H	L	H	H	H	L
2-Reverse	L	H	L	H	H	H	L	H
3-Free Wheeling Low	L	H	L	L	H	H	L	L
4-Free Wheeling High	L	H	H	H	H	H	H	H
5-Disable 1	H	X	X	X	L	H	Z	Z
6-Disable 2	X	L	X	X	L	H	Z	Z
7-IN1 Disconnected	L	H	Z	X	H	H	H	X
8-IN2 Disconnected	L	H	X	Z	H	H	X	H
9-DI1 Disconnected	Z	X	X	X	L	H	Z	Z
10-DI2 Disconnected	X	Z	X	X	L	H	Z	Z
11-Current Limit.active	L	H	X	X	H	H	Z	Z
12-Undervoltage ⁽⁶⁾	X	X	X	X	L	L	Z	Z
13-Overtemperature ⁽⁷⁾	X	X	X	X	L	L	Z	Z
14-Overcurrent ⁽⁷⁾	X	X	X	X	L	L	Z	Z

Notes

6. In case of undervoltage, tristate and status-flag are reset automatically.
7. Whenever overcurrent or overtemperature is detected, the fault is stored (i.e.status-flag remains low). The tristate conditions and the status-flag are reset via DI1 (IN1) or DI2 (IN2). Pin names in brackets refer to coding Pin (COD = VCC).
8. If COD = VCC then DI1 and DI2 are not active.
9. COD = nc or GND
10. COD = VCC

L = Low

H = High

X = High or Low

Z = High impedance (all output stage transistors are switched off).

Figura 39. - Tabela da verdade do CI 33186 [EXTRAÍDO DE FREESCALE, 2011].

3.4.14 Interface dos diodos emissores de luz (LED)

Para uma análise rápida do acionamento dos injetores, bobinas e linha 15 (chave de ignição) foram disponibilizados diodos emissores de luz. Estes diodos possuem a função de sinalizar a atuação ou recepção de parâmetros gerais, servindo como referência em projetos e estudos realizados pelos graduandos e pós-graduandos que utilizarem o sistema. Este circuito possui um resistor entre o microcontrolador e o diodo que possui a função de limitar a corrente elétrica. Utilizamos um led para indicar o tempo ativo de cada injetor de combustível e de cada bobina. Este circuito é ilustrado na figura a seguir.

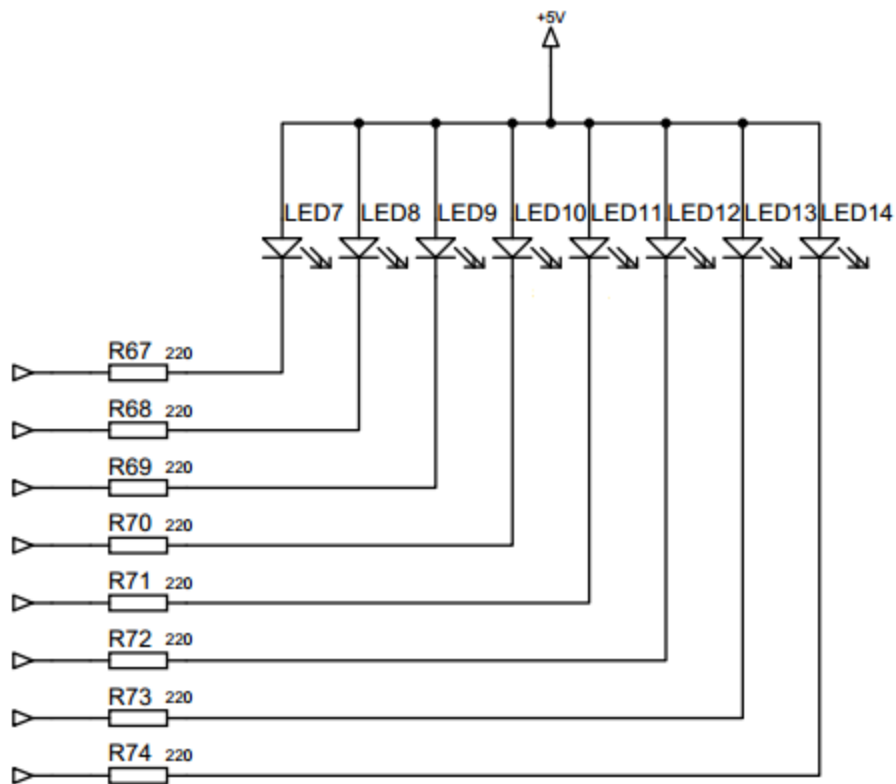


Figura 40 - Interface dos diodos emissores de luz [EXTRAÍDO DE DIAS, 2011] .

3.4.15 Display de cristal líquido

Para uma visualização rápida dos parâmetros do motor o circuito possui um display de cristal líquido de 16 por 2 segmentos, ele mostra informações como rotação do motor, tempo e avanço de ignição e como tempo de acionamento de injeção (quando configurados para exibição). Pode-se colocar qualquer informação proveniente do bloco de comunicação, pois é onde é controlado. O circuito de interface entre o display e o microcontrolador do bloco de comunicação é ilustrado na figura (26).

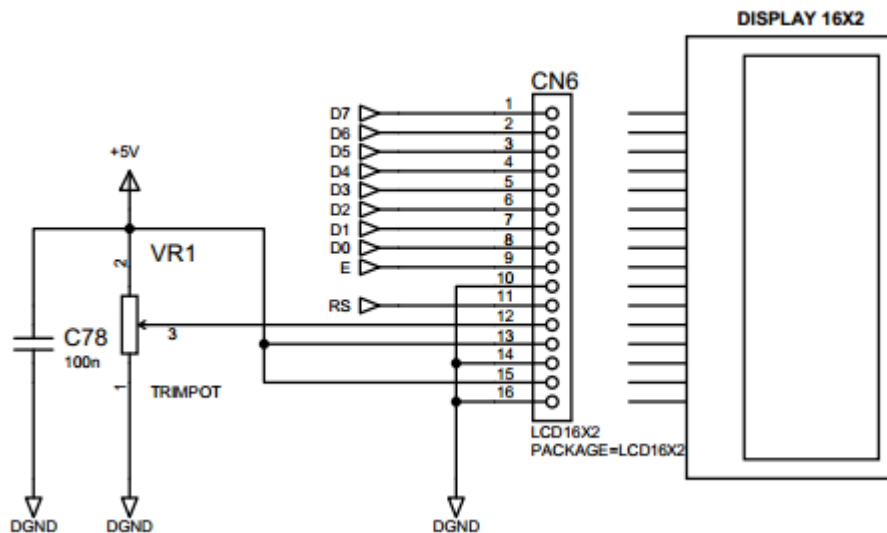


Figura 41 - Interface do display de cristal líquido [EXTRAÍDO DE DIAS, 2011].

3.4.16 Interface de rede de comunicação automotiva CAN

O barramento CAN foi desenvolvido pela empresa alemã Robert Bosch e disponibilizado em meados dos anos 80. O CAN é um protocolo de comunicação serial síncrono. O sincronismo entre os módulos conectados à rede é feito em relação ao início de cada mensagem lançada ao barramento. Atualmente, é utilizado na indústria, em veículos automotivos, navios, entre outros. (GUIMARÃES, 2007).

Visando dar uma flexibilidade maior ao nosso módulo de controle e prevendo futuras aplicações na área de comunicação entre módulos, foi elaborado em nossa unidade eletrônica de controle didática, um circuito de integração à rede serial de comunicação automotiva CAN.

O protocolo CAN é amplamente utilizado em aplicações automotivas, é objeto de estudo e desperta um grande interesse em nossa formação. Na figura (27), é ilustrado o circuito de interface entre o bloco de comunicação e o barramento CAN.

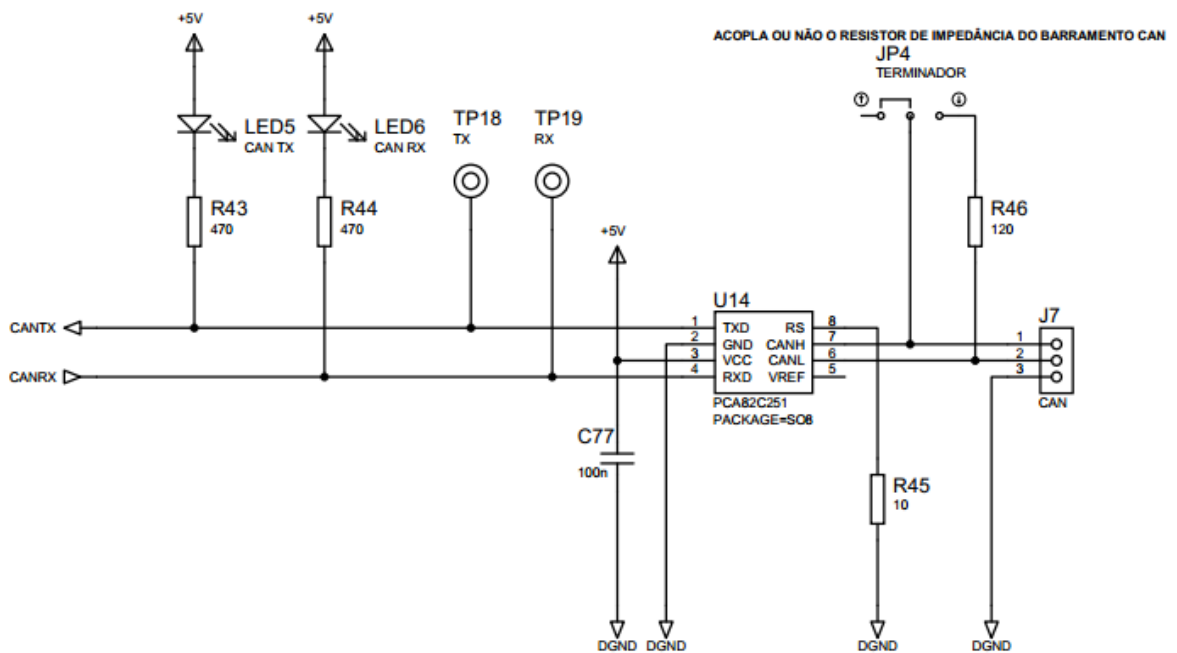


Figura 42 - Interface de comunicação CAN [EXTRAÍDO DE DIAS, 2011].

O bloco de comunicação (PIC 18F4685) já possui um controlador CAN. Este microcontrolador se comunica diretamente com o transmissor e receptor CAN (PCA82C251), que tem a função de realizar a interface entre o controlador CAN e o barramento de dados da rede. Essa rede CAN tem a função nesta ECU de enviar os dados de rotação e leitura de velocidade (projeto futuro) para o painel do veículo.

3.4.17 Conversor UART-USB

O hardware possui o circuito integrado FT232 da FTDI Chip, cuja função é realizar a conversão entre os protocolos serial assíncrono (UART) e USB (FUTURE TECHNO-LOGY DEVICES INTERNATIONAL LIMITED, 2010). Com isto, o usuário programador não precisa se preocupar com os detalhes de programação envolvidos no protocolo USB, tanto do ponto de vista do firmware (PIC Comunicação) como do ponto de vista do software (aplicação de monitoramento). Consequentemente, a única preocupação é a programação do protocolo serial, que, por sua vez, é menos complexo do que o protocolo USB. Vale lembrar também que o CI pode ser empregado em aplicações em que a alimentação da placa se dá pelo barramento USB, como exemplificado na figura a seguir. O hardware deste projeto conta com LEDs de transmissão e recepção, pinos de testes, além de uma chave manual que permite direcionar o barramento serial tanto para o PIC Gerenciamento, como para o PIC Comunicação.

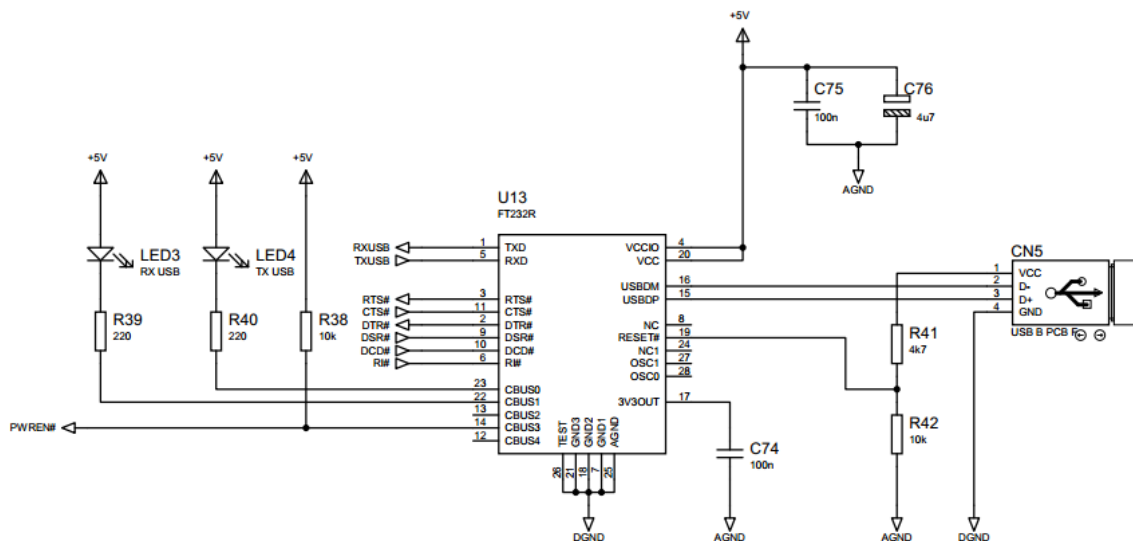


Figura 43 - Interface USB e UART [EXTRAÍDO DE DIAS, 2011].

3.4.18 Pinagem da placa

A placa foi projetada para facilitar as conexões elétricas com os sinais provenientes do motor. Para isto, escritas de identificação foram colocadas próximas de cada pino. Abaixo segue uma descrição de cada conector da placa. A seqüência é descrita em sentido anti-horário dos conectores da placa, conforme abaixo:

Tabela 9 - Pinagem ECU FATEC V 1.2 [O AUTOR]

Conector	Pino	Terminal	Função
J1	VBAT	1	Positivo da bateria
	AGND	2	Negativo da bateria (massa)
J8	T. AGUA	1	Sinal do sensor de temperatura da água
	T. AR	2	Sinal do sensor de temperatura de ar
	SP2	3	Entrada ou saída do bloco de gerenciamento (não utilizado)
	SP3	4	
	SP4	5	
	SP5	6	
	SP6	7	
	SP7	8	
J9	LAMBDA -	1	Negativo do sensor da sonda Lambda (não utilizado)
	LAMBDA +	2	Positivo do sensor da sonda Lambda (não utilizado)
	KNOCK -	3	Negativo do sensor de detonação (Knock) (não utilizado)
	KNOCK +	4	Positivo do sensor de detonação (Knock)
	SG4	5	Entrada ou saída do bloco de gerenciamento (não utilizado).
	SG5	6	
	SG6	7	
	SG7	8	
	SG8	9	

	SG9	10	
	SG10	11	
	SG11	12	
J10	TPS	1	TPS da borboleta
	PEDAL	2	Entrada do sinal do Pedal
	SG12	3	Entrada ou saída do bloco de gerenciamento
	SG13	4	
J11	L15	1	Linha 15
	FASE	2	Entrada do sinal do sensor de fase
	RES 1	3	Entradas de sinais para sensores analógicos reservas
	RES 2	4	
J16	RD0	1	Entradas e saídas reservas do bloco de admissão (não utilizado).
	RD1	2	
	RD2	3	
	RD3	4	
	RD4	5	
	RD5	6	
	RD6	7	
	RD7	8	
CN1	Grav. Gerenc.	-	Conector de gravação do bloco de gerenciamento
CN2	Grav. Sicon.	-	Conector de gravação do bloco de sincronismo
CN3	Grav. adm.	-	Conector de gravação do bloco de admissão
CN4	Grav. Com.	-	Conector de gravação do bloco de comunicação
J7	CAN-H	1	Rede CAN
	CAN-L	2	
	GND	3	
CN5	USB	-	Comunicação USB
J17	TX	1	USART do bloco de admissão
	RX	2	
J19	TX	1	USART do bloco de gerenciamento
	RX	2	
J20	RX	1	USART do bloco de sincronismo
	TX	2	
J4	+5V	1	Saída de tensão de referência
	AGND	2	
J3	VBAT	1	
	PGND	2	
J2	DGND	1	Terras de potência
	IGND	2	
	PGND	3	
J6	M1	1	Saída do motor da válvula borboleta (limitado em 5A)
	M2	2	
J16	GER	1	Saída de PWM do bloco de gerenciamento (não utilizado)
	SIN	2	Saída de PWM do bloco de sincronismo (não utilizado)
J14	ED1	1	Saídas bobinas para utilização do driver de potência externo (External Drive)
	ED2	2	
J13	BOB1	1	Saídas bobinas de ignição
	BOB2	2	

	BOB3	3	
	BOB4	4	
J12	INJ1	1	Saídas das válvulas injetoras
	INJ2	2	
	INJ3	3	
	INJ4	4	
	1	1	Acionamento do relé da bomba de combustível
J15	2	2	Saída acionamento relés (não utilizado)
	3	3	
	4	4	
	5	5	
	6	6	
	7	7	
	8	8	
J5	ROT	1	Saída do sinal de rotação
	DGND	2	Referência para o sinal de rotação

Pela tabela fornecida acima é possível notar que nem todos os recursos do hardware estão sendo utilizados no presente projeto, pois como mencionado anteriormente, o hardware foi projetado visando também a sua aplicação em projetos futuros. Para mais detalhes do hardware, recomenda-se a consulta ao esquema elétrico, que pode ser encontrado nos apêndices deste trabalho.

3.5 Ferramentas utilizadas para confecção do hardware

Com a ideia do projeto definida e com o circuito eletrônico completamente analisado e compreendido, iniciamos o processo de confecção do *hardware* propriamente dito. Para confeccionar este *hardware* adotamos como plataforma CAD um *software* de grande funcionalidade e simples utilização. O *Proteus*, desenvolvido pela *Labcenter Electronics*, é um *software* bastante poderoso e funcional. O *Proteus* engloba dois *softwares* o *ISIS* e o *ARES*. Foi utilizado o *ISIS* para desenvolver o esquema elétrico e simular a funcionalidade do sistema e o *ARES* para definir a área útil, realizar o posicionamento dos componentes e o roteamento das trilhas.

Visando que esse *hardware* é uma atualização feita do projeto: Ciclo Otto II que já está na sua versão 1,2 que foi desenvolvido pelo Bruno Martin de Alcântara Dias. A principal mudança foi o incremento de outro microcontrolador para realizar as rotinas de potência e controle da válvula borboleta, esse bloco denominado de admissão explicados anteriormente neste projeto.

microcontrolador utilizado (Microchip PIC) suportasse esse processamento. Sendo assim, os códigos dos microcontroladores de cada bloco do sistema de ambos os projetos são bastante semelhantes. Por ser uma unidade eletrônica com base maior em cálculos, o controle deste projeto se mostrou bastante eficiente e estável, já demonstrado no projeto com o microcontrolador *Freescale*.

A seguir será dada uma explicação mais profunda das funções de cada bloco do sistema, bem como da estratégia de controle implementada. Fluxogramas do firmware de cada PIC do sistema podem ser consultados nos apêndices deste trabalho. Por serem muito extensos, os códigos dos microcontroladores não foram inseridos no trabalho, porém trechos foram disponibilizados ao longo das subseções seguintes.

4.1 Gerenciamento

O microcontrolador de Gerenciamento é responsável pelo cálculo dos parâmetros de atuação do sistema, tomando como base os valores dos sensores presentes no motor. O processamento ocorre de maneira a garantir um controle de rotação estável. Sendo assim, modelou-se o controle de rotação para posterior implementação no uC de Gerenciamento.

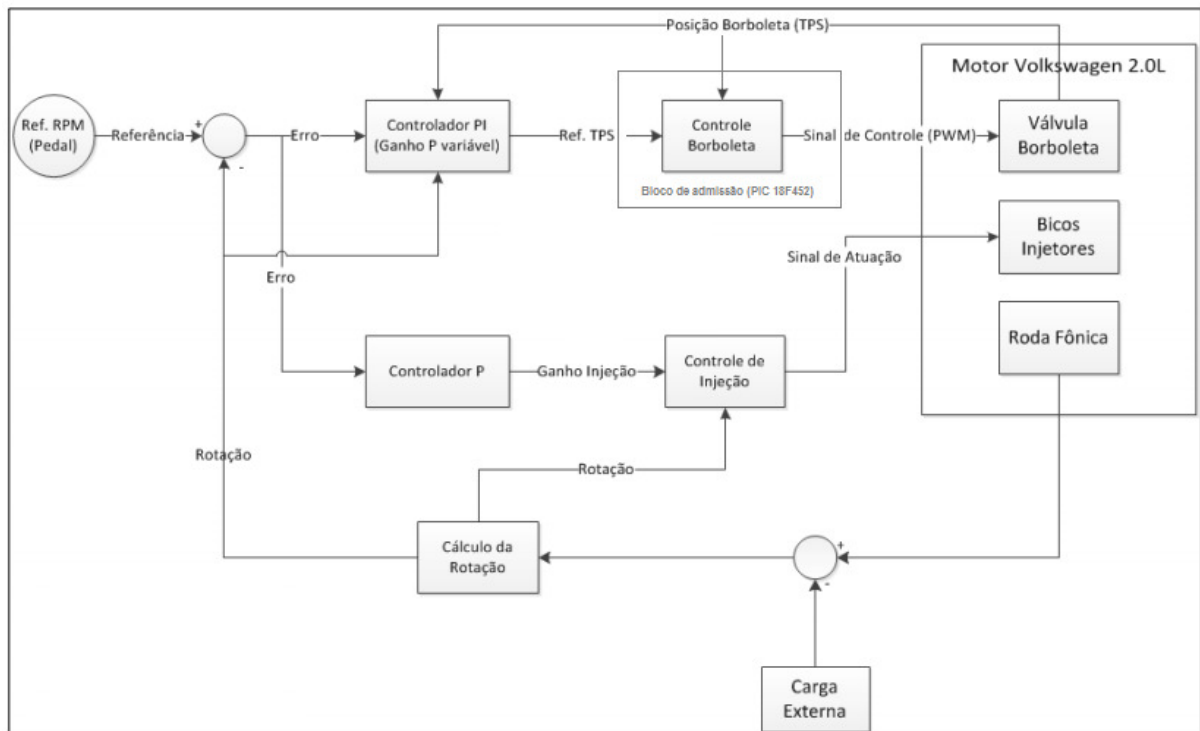


Figura 45 - Diagrama do controle de rotação [EXTRAÍDO DE PEREIRA, 2013].

Pelo diagrama acima é possível notar que para se controlar a rotação do motor é necessário atuar simultaneamente no tempo de injeção de combustível e na abertura da válvula borboleta, responsável pelo controle do fluxo de ar admitido pelo motor. Além disso, uma parte do controle do tempo de injeção consiste de um controlador puramente proporcional (P), cuja finalidade é enriquecer a mistura a/c quando a referência de rotação for maior que a rotação medida. É importante notar também que a carga imposta ao motor atua como distúrbio no controle, de maneira a reduzir a rotação. Assim, cabe ao controle de rotação atuar de maneira a impedir esta redução, o que, conseqüentemente, fornece torque ao eixo do motor. Já o controle de posição da borboleta é realizado através de um controlador PI (proporcional e integral).

O código, por exemplo, deve ser robusto o suficiente para impedir que o motor "afogue" (devido ao excesso de ar) em uma aceleração brusca, o que exige limitações na abertura da borboleta. Ganhos variáveis também foram adotados, a fim de fornecer um controle que seja suave quando o pedal for pouco pressionado, e agressivo quando o pedal for bastante pressionado. Destaca-se ainda a importância do termo integral do controle para ajuste da rotação de marcha lenta. Como mencionando anteriormente, o controle de posição da válvula borboleta foi implementado com um controlador PI (proporcional e integral), sendo que a referência de posição para este controlador é determinada pelo controle de rotação, descrito anteriormente. Assim, cabe ao controle PI garantir que a posição da válvula borboleta seja aquela determinada pelo controle de rotação (ou que seja o mais próximo possível). Como o bloco de gerenciamento só manda a referência para o controle da borboleta no bloco de admissão, posteriormente iremos abordar com mais detalhes o controle de rotação atuando neste bloco mencionado (Adaptado Pereira, 2013).

Além da borboleta, o controle de rotação necessita que a injeção de combustível esteja funcionando corretamente. Para a determinação do tempo de injeção, seguem-se os passos abaixo:

1. Cálculo da rotação do motor;
2. Estimativa da massa de ar admitida por cilindro com base na equação de estado dos gases ideais (WYLEN; BORGNAKKE; SONNTAG, 2009);
3. Cálculo da massa de combustível a ser injetada de acordo com a relação estequiométrica de 13,3g de ar para 1g de gasolina com 25% de etanol (ROCHA, 2009);
4. Cálculo do tempo de injeção, com base no fluxo do bico injetor;

5. Aplicação de um fator multiplicativo (determinado de forma empírica), com base na aceleração e na temperatura da água.

Como mencionado anteriormente, a estequiometria da mistura a/c é controlada em malha aberta, ou seja, o firmware estima a massa de ar admitida pelo motor para então calcular a quantidade de combustível a ser injetada. Testes práticos demonstraram que esta estimativa funciona corretamente, de modo que quando não há aceleração nem desaceleração o motor funciona de modo estável, além do fato de não constar odor de excesso de combustível no ambiente de teste (Pereira, 2013).

Os acionamentos dos bicos injetores e das bobinas de ignição são realizados pelo PIC sincronismo, porém cabe ao PIC gerenciamento determinar os parâmetros adequados para que estes acionamentos ocorram corretamente. A estratégia de acionamento consiste em se tabelar o término do acionamento, ou seja, o instante em que o sinal é desativado. Deste modo, é possível se controlar com maior precisão o instante em que ocorre a centelha de ignição, ao mesmo tempo em que se controla o término da injeção de combustível. Com isto, evita-se que o combustível seja injetado com grandes atrasos em acelerações com carga, e ainda há um controle maior do ponto em que ocorre a centelha de ignição (Adaptado Pereira, 2013).

Como parâmetros, o Gerenciamento necessita determinar o instante em que os sinais de injeção ou ignição devem ser acionados, levando em conta o tempo de acionamento e o instante em que o sinal deve ser desativado. De modo prático, o Gerenciamento envia ao Sincronismo uma posição de dente (que corresponde a uma borda de subida do sinal de rotação) e um tempo de disparo para o acionamento do sinal, uma vez que não necessariamente o sinal de injeção ou ignição será acionado exatamente em uma borda de subida do sinal de rotação (Pereira, 2013).

O Gerenciamento se baseia em uma tabela armazenada em sua memória de programa para determinar os instantes em que os sinais de injeção ou ignição devem ser desativados. No caso da injeção, estes instantes variam de acordo com a rotação. Devido a difícil modelagem destes instantes, optou-se por mapeá-los, com base em medições realizadas com a ECU original do veículo. Neste caso, as aquisições foram feitas a cada 500 RPM, porém os dados foram interpolados a fim de aumentar a resolução da tabela para 100 RPM (Pereira, 2013).

O instante em que o sinal de ignição é desativado (instante em que ocorre a centelha) deve ser adiantado quando se aumenta a rotação. Todavia, este adiantamento também é de-

pendente da carga imposta ao motor, esta que é estimada com base na pressão da massa de ar admitida pelo motor. Assim, o adiantamento de ignição depende tanto da rotação como também da pressão do ar. Da mesma forma que na injeção, os instantes (adiantamentos) de ignição são bastante complicados de serem modelados, e ainda variam de acordo com tipo de motor, combustível, e outros fatores. Dada esta dificuldade, optou-se inicialmente por tratar os adiantamentos de ignição apenas em função da rotação, e então foi adotado o mesmo procedimento realizado para mapear os instantes de injeção (Pereira, 2013).

Os adiantamentos fornecidos em graus no mapa foram convertidos para posição de dente, utilizando-se a informação de que o PMS do motor Volkswagen deste projeto encontra-se no dente 14. Além disto, para se melhorar a resolução da tabela, optou-se por utilizar uma interpolação 2D, com auxílio da ferramenta MATLAB (Adaptado Pereira, 2013).

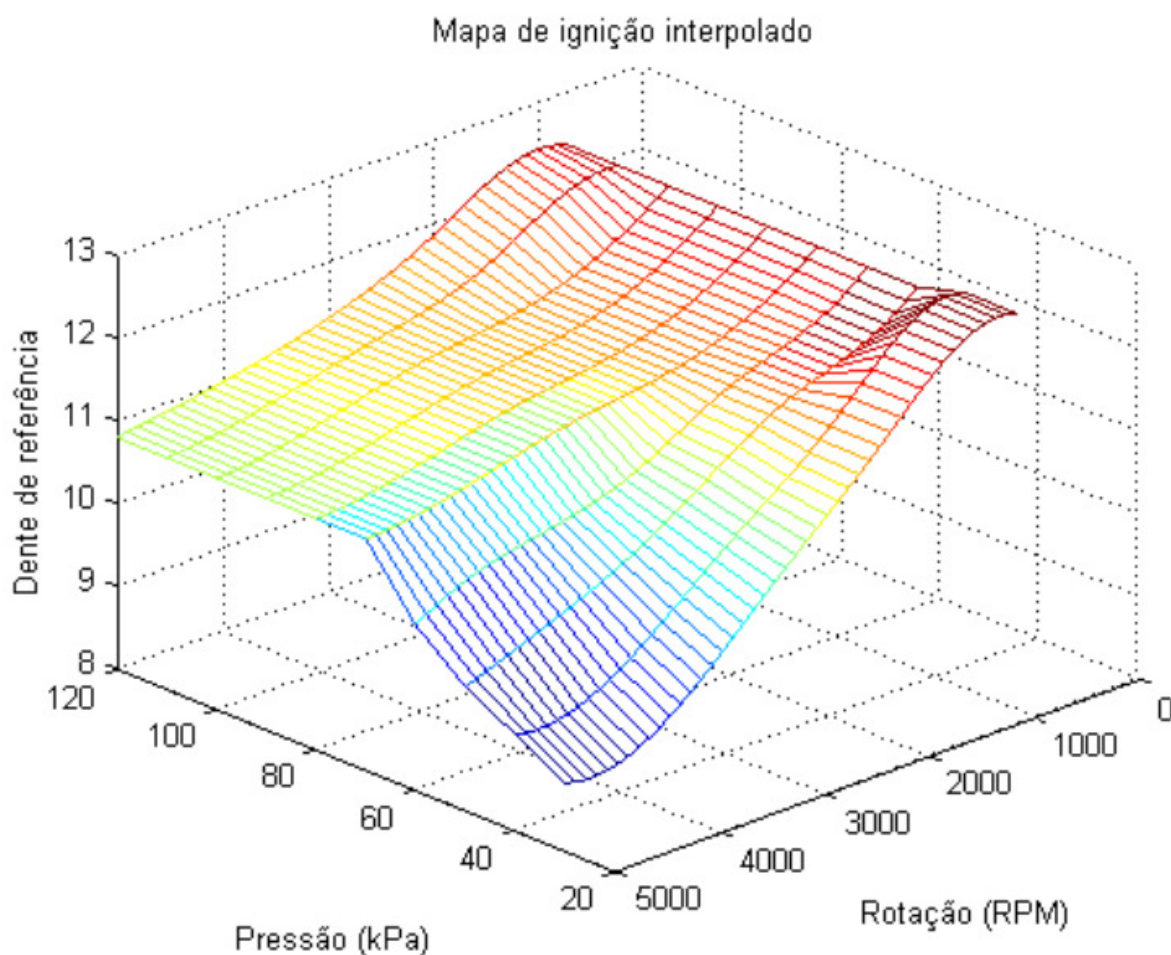


Figura 46 - Gráfico 3D do mapa de ignição final [EXTRAÍDO PEREIRA, 2013].

Além da injeção e ignição, o Gerenciamento é responsável também pelo controle do relé da bomba de combustível. A estratégia de acionamento deste relé é bastante simples. Após o ligamento da linha 15, o Gerenciamento pressuriza a linha de combustível, ativando o relé por aproximadamente 0,5s. Após isto, o relé é desligado e é religado apenas na primeira detecção da falha da roda fônica, e então permanece ligado durante o funcionamento do motor. Caso o motor pare de funcionar por algum motivo, o relé é desligado (Pereira, 2013).

Por fim, menciona-se ainda a implementação de um filtro para suavizar acelerações e desacelerações bruscas, característica inerente do pedal eletrônico (drive-by-wire). Este filtro foi implementado com base em limitações da referência de rotação calculada a partir da leitura do pedal de aceleração, levando em conta também valores anteriores desta referência. Nota-se que este filtro é ativado somente quando o veículo se encontra em movimento, caracterizado por uma velocidade maior do que 5 km/h. Todas essas referências é enviado para o bloco de admissão que tem a função de fazer a atuação no controle da válvula borboleta (Pereira, 2013).

Sumarizando os recursos utilizados no microcontrolador, o gerenciamento utiliza quatro temporizadores dois de 16 bits e dois de 8 bits, uma comunicações SPI, uma interrupção externa, e diversos pinos digitais e analógicos. Para mais detalhes, um fluxograma do firmware do Sincronismo pode ser consultado nos apêndices deste trabalho.

4.2 Sincronismo

O firmware do uC de Sincronismo contém a estratégia para acionar precisamente os sinais de injeção e ignição. Para isto, este microcontrolador utiliza os parâmetros de injeção e ignição calculados pelo uC de Gerenciamento, parâmetros estes enviados através do protocolo SPI (Pereira, 2013).

Analogamente ao Gerenciamento, o Sincronismo deve manter sincronia com o sinal de rotação, proveniente da associação da roda fônica com o sensor de relutância variável. Para isto, o Sincronismo deve detectar a falha da roda fônica, a fim de reiniciar contagens e atualizar parâmetros para a próxima volta.

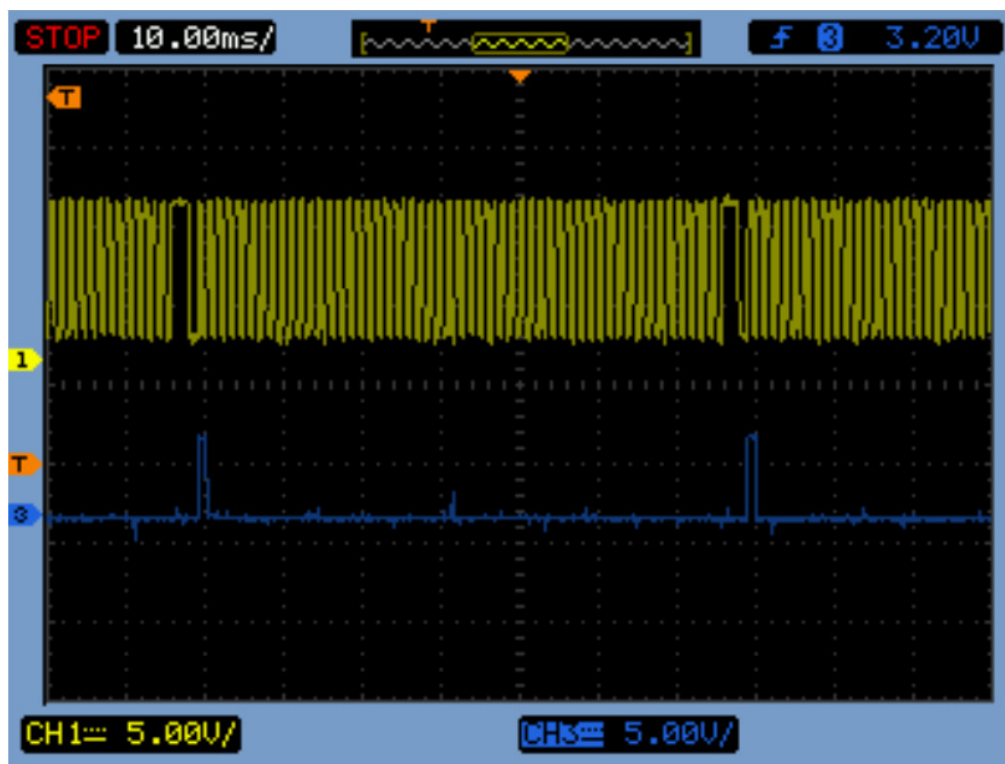


Figura 47 - Sinal de rotação e sinal de detecção da falha da roda fônica [EXTRAÍDO PEREIRA, 2013].

O sinal de rotação está associado à posição do dente da roda fônica. Dado este fato, o programa detecta e processa cada transição de subida do sinal de rotação. Diferentemente do Gerenciamento, que necessita apenas dos 3 primeiros dentes para calcular a rotação, o Sincronismo necessita contar todas as transições de subida do sinal de rotação, ou seja, necessita identificar todos os dentes para disparar os sinais de injeção e ignição no momento correto. Deste modo é importante que o Sincronismo não execute muito cálculos (ao contrário do Gerenciamento), uma vez que contas complexas (como multiplicação e divisão com ponto flutuante) levariam muito tempo para serem executadas e, conseqüentemente, alguns dentes poderiam não ser contabilizados (ou poderiam ser contabilizados com atraso). Este fato ainda se agravaria com o aumento da rotação, dado que o período de um dente diminuiria significativamente (Pereira, 2013).

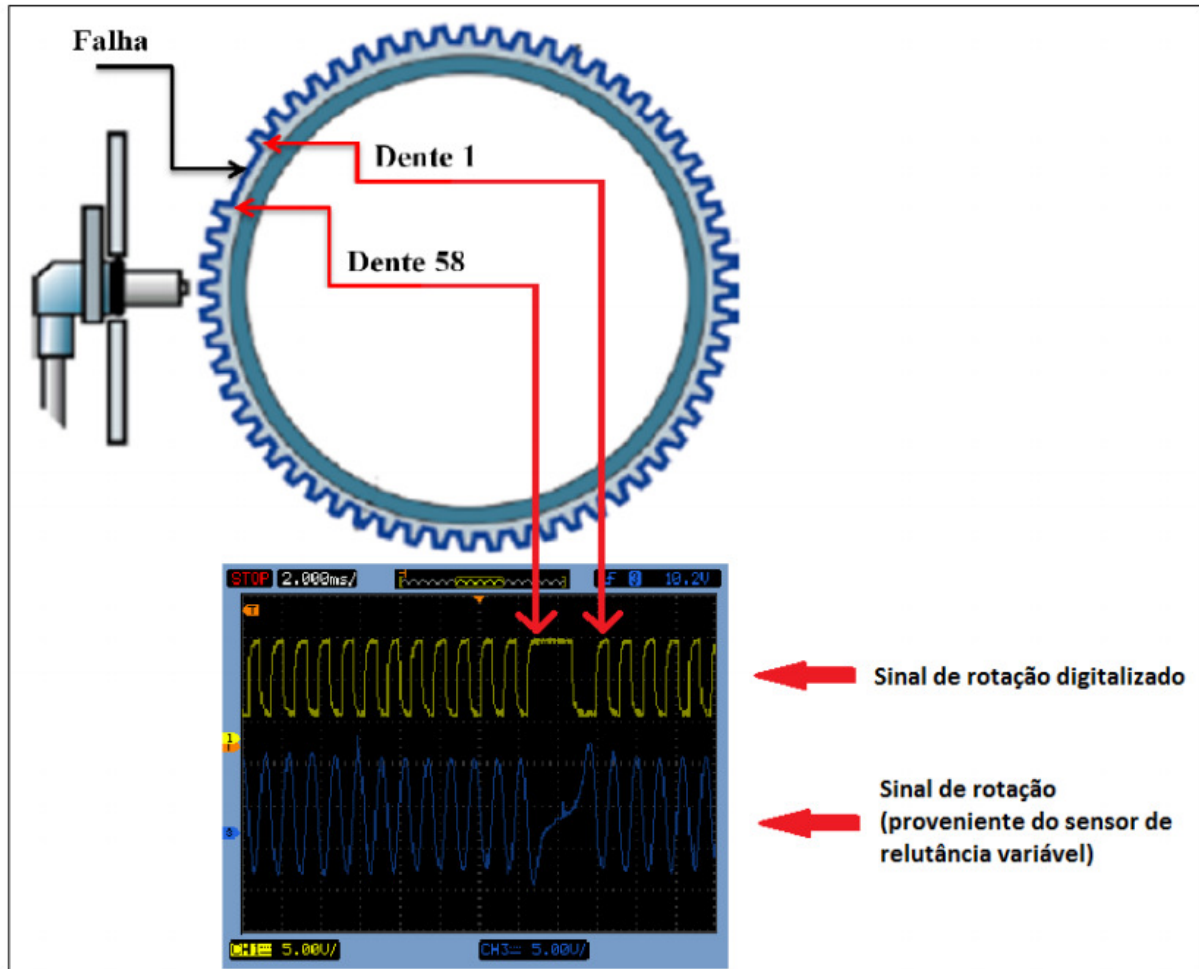


Figura 48 - Relação da roda fônica com o sinal de rotação [ADAPTADO ALDALADEJO, 2013].

Os parâmetros recebidos do Gerenciamento correspondem a duas posições de dente (um para injeção e outro para ignição), dois tempos de disparo a partir deste dente (um para injeção e outro para ignição), dois tempos de acionamento (tempo de injeção e tempo de carregamento da bobina de ignição) e a rotação. Uma vez recebido os parâmetros da volta, o Sincronismo verifica se o dente atual (identificado pela contagem das bordas de subida do sinal de rotação) corresponde a um dos dentes recebidos. Em caso afirmativo, o programa habilita um timer para gerar uma interrupção após o tempo de disparo recebido (Pereira, 2013).

Uma vez gerada a interrupção, o sinal correspondente (injeção ou ignição) é ativado, e permanece assim por um tempo determinado pelo tempo de acionamento, que também é programado na interrupção do mesmo *timer*. Assim, após esta última interrupção, o sinal que estava ativado é então desativado (Pereira, 2013).

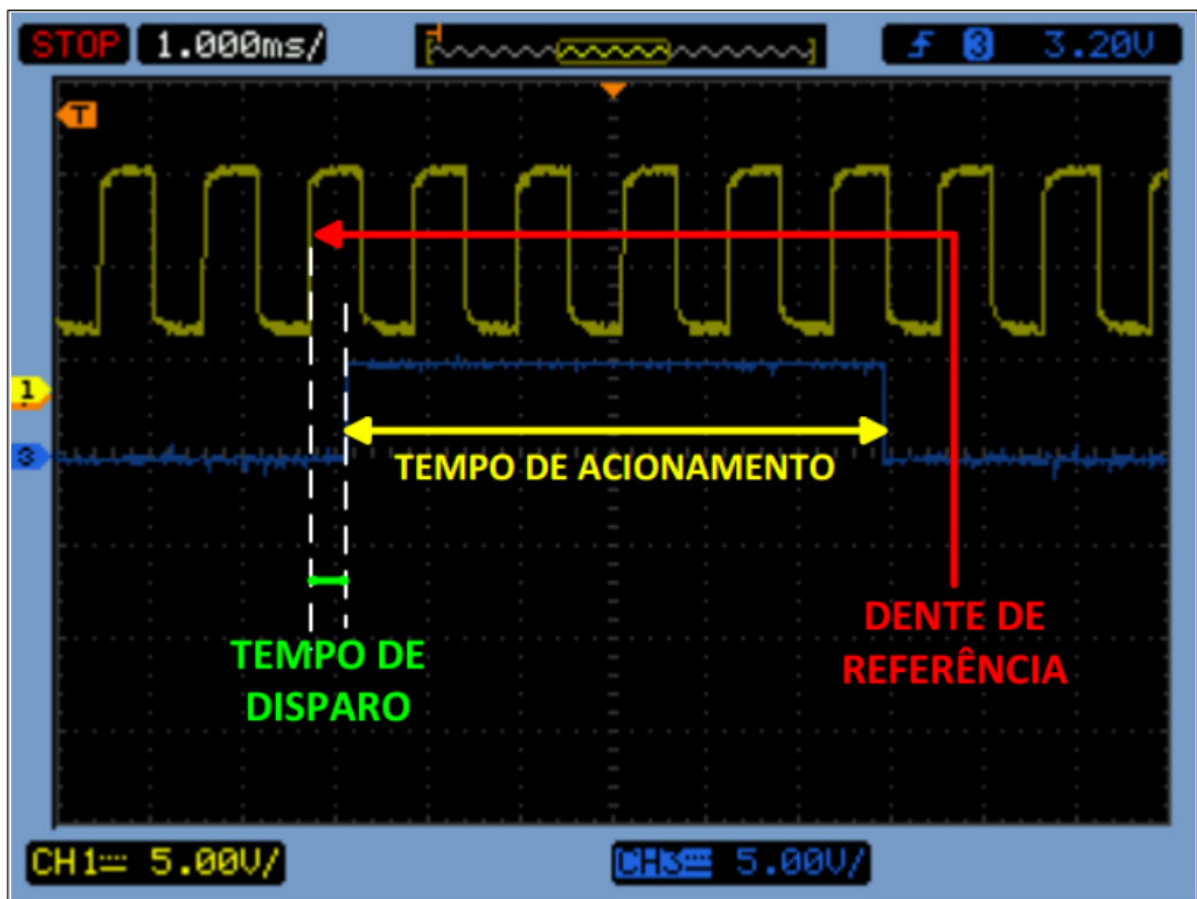


Figura 49 - Sinal de ignição com ilustração dos parâmetros de acionamento [EXTRAÍDO PEREIRA, 2013].

É importante mencionar que os mesmos tempos (disparo e acionamento) são utilizados para a injeção e ignição dos quatro cilindros, diferindo apenas no fato do dente de referência para os sinais referentes aos cilindros 2 e 3 serem defasados de 30 dentes (o que equivale a 180°) em relação aos cilindros 1 e 4 (Pereira, 2013).

Com relação aos modos de acionamento, adotou-se para ignição a centelha perdida, ou seja, os sinais de ignição são acionados simultaneamente em cada banco, o que facilita a estratégia de ignição. Já a injeção é acionada apenas uma vez em cada cilindro, a cada duas voltas, o que caracteriza a injeção multiponto sequencial. Para isto, deve-se detectar a fase de injeção, ou seja, em uma dada volta o Sincronismo necessita identificar em qual dos cilindros do banco deve ocorrer a injeção. Assim, a estratégia adotada consiste em se identificar a fase do motor a partir do momento da partida, e então continuar acionando a injeção de modo a manter sempre a seqüência 1-3-4-2. Caso ocorra perda da fase, o Sincronismo é capaz de corrigi-la, tomando como base a descida do sinal de injeção (que é mapeada) e o sinal de fase. Em outras palavras, quando o sinal de injeção é desativado, o Sincronismo verifica se o sinal de fase é aquele esperado e, em caso negativo, inverte a variável que controla a sequencia de injeção, a fim de corrigir a sua fase. Como exemplo de implementação, foi destacado a seguir um trecho

do Sincronismo com a interrupção do timer que controla a injeção do banco 1-4. É possível verificar também a implementação da estratégia para correção da fase de injeção (Pereira, 2013).

Resumindo os recursos utilizados no microcontrolador de sincronismo utiliza quatro temporizadores de 16 bits cada um, três temporizadores de 8 bits, duas comunicações SPI, dois canais de PWM com 8 bits cada um, 8 canais analógicos para conversão A-D, duas interrupções externas, além de diversos pinos digitais. Para mais detalhes, um fluxograma do firmware do uC de Gerenciamento pode ser consultado nos apêndices deste trabalho.

4.3 Admissão

A principal função do bloco de admissão é com a referência calculada no bloco de gerenciamento efetuar o controle da válvula borboleta, assim não sobrecarregando este bloco.

Como mencionando anteriormente no tópico do firmware de gerenciamento, o controle de posição da válvula borboleta foi implementado com um controlador PI (proporcional e integral), sendo que a referência de posição para este controlador é determinada pelo controle de rotação, descrito anteriormente. Assim, cabe ao controle PI garantir que a posição da válvula borboleta seja aquela determinada pelo controle de rotação (ou que seja o mais próximo possível).

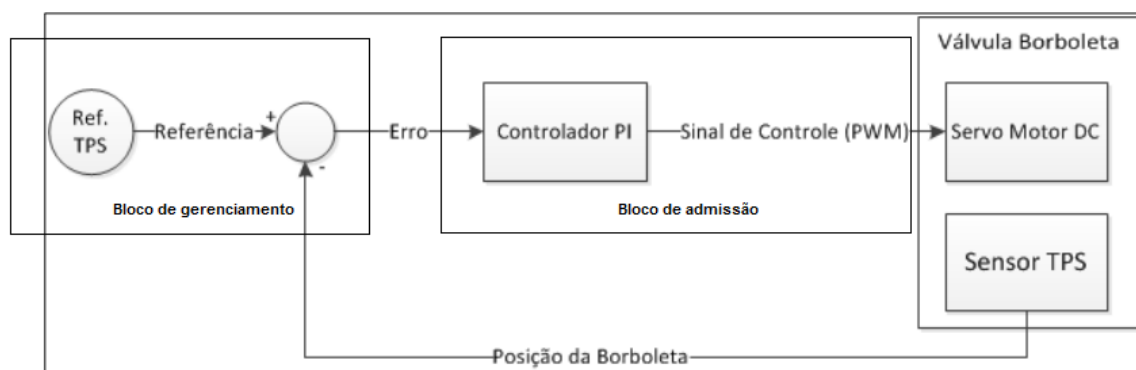


Figura 50 - Diagrama de controle da válvula borboleta [Adaptado de Pereira, 2013].

Testes no motor revelaram que não se necessita de um controle rápido, ou seja, a borboleta não precisa abrir ou fechar rapidamente. Sobretudo, um controle estável é essencial para o sucesso do controle de rotação, o que nem sempre é uma tarefa fácil.

Verifica-se que pequenas variações (da ordem de milivolts) na posição da borboleta já são suficientes para causar variações na rotação, principalmente em marcha lenta, o que pode resultar em uma instabilização do controle de rotação. Assim, apesar de simples, o controle de

posição deste projeto se mostrou bastante eficiente, atendendo de modo estável as requisições do controle de rotação. É importante mencionar que o tratamento dos sensores envolvidos (pedal de aceleração e TPS) são essenciais para o sucesso do controle de posição da borboleta, dado que ruídos presentes no sistema degradariam a estabilidade do PI se não fossem devidamente filtrados pelo hardware. A implementação do controlador PI é feita de forma discreta. No caso, foi utilizado um timer para se controlar a frequência de amostragem em 2,5kHz. Em outras palavras, a cada 2,5 ms o laço de controle é executado de modo a minimizar o erro (Adaptado, 2013).

Sumarizando os recursos utilizados no microcontrolador, o bloco de admissão utiliza quatro temporizadores dois de 16 bits e dois de 8 bits, uma comunicação SPI, uma interrupção externa, e diversos pinos digitais e analógicos, dois geradores de sinais PWM. Para mais detalhes, um fluxograma do firmware do Sincronismo pode ser consultado nos apêndices deste trabalho.

4.4 Comunicação

O microcontrolador de Comunicação é, de modo geral, responsável por estabelecer a conexão entre a ECU e outros dispositivos externos, como computadores, aparelhos automotivos de diagnose ou até outras ECUs presentes no veículo. Deste modo, o microcontrolador de Comunicação pode ser visto como uma verdadeira ponte que interliga a ECU deste projeto ao meio externo (Adaptado Pereira 2013).

O bloco de Comunicação trabalha com auxílio de três protocolos de comunicação: UART, SPI e CAN. O SPI é utilizado quando a comunicação ocorre internamente, ou seja, entre os blocos do sistema. Neste caso, a troca de dados necessita ocorrer de forma rápida, interferindo o menor tempo possível no Gerenciamento, Admissão ou no Sincronismo, fato que justifica o uso de um protocolo simples e rápido, como o SPI. No âmbito deste projeto, a comunicação SPI foi configurada para operar em 2,5 MHz (Adaptado Pereira, 2013).

Para se comunicar com a aplicação (software) de monitoramento, o bloco de Comunicação utiliza o protocolo UART, dado que este é um protocolo de fácil integração no software e possui suporte no ambiente Windows. Para facilitar conexões com computadores que não possuem a porta serial RS-232, foi empregado um conversor UART/USB (descrito anteriormente), responsável por realizar a conversão entre os protocolos. Assim o projetista não precisa se preocupar com os detalhes de programação do protocolo USB, sendo ainda possível com um simples cabo USB ligar a ECU v2.0 ao software, o que dispensa o uso de cabos RS-232

que são mais raros no mercado. No caso deste projeto, utiliza-se uma taxa de transmissão de 125000b/s, suficiente para a comunicação ocorrer de forma rápida e confiável, sem perda relevante de dados (Pereira, 2013).

Quando se necessita que a ECU envie um dado ao painel do motorista ou ainda a um aparelho automotivo de diagnose, utiliza-se o protocolo CAN. Especificamente neste projeto, o protocolo CAN é utilizado para se enviar o valor da rotação ao painel do motorista e para leitura da velocidade do veículo, utilizando para isto uma taxa de transmissão de 500kb/s (Pereira, 2013).

Para requisitar um dado ao bloco de Gerenciamento ou Sincronismo, o microcontrolador de Comunicação utiliza um protocolo bastante simples:

Tabela 10 - Protocolo entre o uC Comunicação e os demais uCs (usa SPI1) [Extraído de Pereira, 2013].

Comunicação	GER/SINC	Byte High	Byte Low
“a”	GER	Ref rotação(H)	Ref. Rotação (L)
“b”	GER	Rotação (H)	Rotação (L)
“c”	GER	TPS	Ref. Borboleta
“d”	GER	Pedal	MAP
“e”	GER	Temp. Ar	Temp. Água
“f”	GER	Lambda	Bateria
“g”	GER	Erro GER SW	Erro GER HW
“h”	GER	Pedal “simulado”(envio)	“h”
“i”	GER	Status (envio)	“i”
“j”	SINC	Inj. Dente ref.	Ign. Dente ref
“k”	SINC	Inj. Disparo (H)	Inj. Disparo (L)
“l”	SINC	Ign. Disparo (H)	Ign. Disparo (L)
“m”	SINC	Tempo Inj. (H)	Tempo Inj. (L)
“n”	SINC	Tempo Ign. (H)	Tempo Ign. (L)
“o”	SINC	Detecção Fase	Erro SINC SW

Quando se deseja um dado, o microcontrolador de Comunicação envia um caracter e espera pela resposta, esta que é enviada pelo SPI. Já quando o bloco de Comunicação deseja enviar um dado (como, por exemplo, o valor do pedal "simulado"), ele envia um carácter e envia, ao mesmo tempo, o dado, de modo a aproveitar o fato de que a comunicação SPI no microcontroladores opera com registradores de 16 bits, ou seja, em uma transmissão é possível se enviar 2 bytes de informação de uma só vez (1 byte é o caracter e o outro é a informação a ser enviada). Além disto, os microcontroladores de Gerenciamento, Sincronismo e Admissão respondem às requisições do microcontrolador de Comunicação através de interrupção. (Adaptado Pereira, 2013).

Para requisitar um dado ao software, o microcontrolador de Comunicação utiliza o protocolo abaixo:

Tabela 11 - Protocolo entre o uC Comunicação e a aplicação no PC [ADAPTADO PEREIRA, 2013].

Aplicação (PC)	Comunicação (Microcontrolador)
"a"	Rotação
"b"	Pedal (PEDAL1 ou PEDAL2)
"c"	Válvula borboleta (TPS1 ou TPS2)
"d"	Referência de rotação (pedal)
"e"	MAP
"f"	Temperatura do Ar
"g"	Temperatura da Água
"h"	Lambda
"i"	Tensão da Bateria
"j"	Referência de posição para a Borboleta
"k"	Injeção dente 14
"l"	Injeção tempo disparo
"m"	Ignição dente 14
"n"	Ignição tempo disparo
"o"	Tempo de Injeção
"p"	Tempo de Carregamento da Bobina de Ignição
"q"	Detecção de Fase
"r"	Erro Gerenciamento Software
"s"	Erro Gerenciamento Hardware
"t"	Erro Sincronismo Software
"u"	Controlar Pedal = True
"v"	Controlar Pedal = False
"x"	Leitura do Pedal Simulado (Enviar)
"w"	Modo de operação "Normal"
"y"	Modo de operação "Econômico"

Nota-se que o protocolo opera de maneira semelhante ao protocolo descrito anteriormente, porém neste caso é possível se transmitir apenas 1 byte de informação por vez, característica do protocolo serial UART. É importante ressaltar que o bloco de Comunicação opera todo o tempo, independente do regime do motor ou do estado da linha 15. Assim, o monitoramento ocorre normalmente mesmo quando o motor está desligado. Já o painel do motorista recebe a informação via CAN somente com a linha 15 ligada (chave ligada no contato).

Sumarizando os recursos utilizados no microcontrolador, o Comunicação utiliza dois timers de 16 bits cada um, duas comunicações SPI, uma comunicação serial UART, uma co-

municação CAN e diversos pinos digitais. Para mais detalhes, um fluxograma do firmware do Comunicação pode ser consultado nos apêndices deste trabalho.

4.5 Software de diagnose

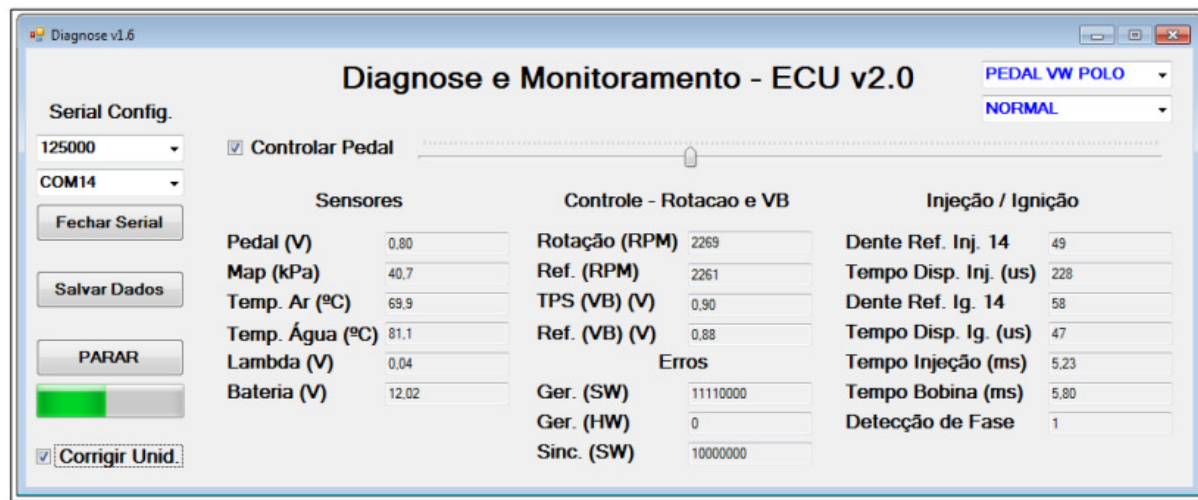


Figura 51 - Aplicação de Monitoramento desenvolvida no Visual C# [EXTRAÍDO PEREIRA, 2013].

Como relatado anteriormente a parte de software (firmware e diagnose) foi extraído do projeto em *Freescale* (Unidade de Gerenciamento Eletrônico de um Motor Volkswagen 2.0L: Projeto Otto II (Pereira, 2013)).

Desenvolvida em linguagem C# e concebida para rodar em ambiente Windows, a aplicação da figura acima tem a finalidade de monitorar em tempo real parâmetros do sistema, como informações de sensores e parâmetros calculados. O software desenvolvido se mostrou bastante útil no que diz respeito à verificação e depuração do sistema. Ao se constatar, por exemplo, uma falha durante os testes no veículo, é possível, pela interface, mapear todos os parâmetros que foram medidos e/ou calculados no momento em que ocorreu o problema, facilitando a reprodução e a correção da falha em laboratório. Para isto, foi integrado à aplicação uma opção para se salvar parte dos dados monitorados, o que viabiliza também a confecção de tabelas e gráficos com os parâmetros retirados do sistema (Pereira, 2013).

A interface também fornece opção para se alterar o formato de visualização dos valores dos sensores. No caso é possível visualizar o dado lido diretamente pelo microcontrolador (que corresponde a um valor de 8 bits no intervalo 0 a 255), ou ainda é possível visualizar o dado já na unidade associada à variável final. Neste último caso, com a opção "Corrigir

Unid."” marcada, a aplicação calcula o valor final com base na curva característica do sensor, tarefa equivalente à do uC de Gerenciamento (Pereira, 2013).

Além de monitoramento, o software desenvolvido permite também atuar no sistema, simulando a leitura do pedal de aceleração. Neste caso, o sistema deixa de processar a leitura do pedal do veículo e passa a considerar o valor enviado pela aplicação, valor este determinado com base na posição do controle deslizante do software. Vale lembrar que o controle deslizante possui os mesmos limites do pedal do acelerador, de tal forma que a referência de rotação seja equivalente em ambos os casos. Assim, é possível se controlar o motor do veículo diretamente do computador, para fins de testes (Pereira, 2013).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O objetivo final deste projeto foi desenvolver um projeto de unidade de gerenciamento automotivo para o Volkswagen Polo 2.0L que, apesar de ser voltada para desenvolvimentos acadêmicos, pode ao mesmo tempo ser aplicada a um veículo real, para fins de testes. Com isso essa versão 1,2 desta placa foi desenvolvida neste projeto foi capaz de gerenciar corretamente ignição, injeção, relés e válvula borboleta, a fim de controlar satisfatoriamente a rotação do motor, mesmo em situações de carga. A principal característica deste sistema é a possibilidade de se controlar diferentes motores dando flexibilidade para que pesquisas e estratégias de controle possam ser desenvolvidas e testadas. Assim para atender esses requisitos foi determinado algumas metas concluídas no projeto, alguns deles mesmos impostos pelo projeto *Freescale*:

- Software capaz de manter o funcionamento do motor a até 6000 RPM (limitado via software), mesmo quando o motor estiver fora da sua temperatura de operação (motor frio);
- Hardware resistente a ruídos presentes nos sinais dos sensores;
- Atender as mesmas características de resposta em todos os requisitos geradas pelo projeto em Freescale;
- Hardware com alta velocidade de aquisição de dados (capaz de ler todos os sensores em uma volta, mesmo em elevadas rotações) e capaz de gerar saídas compatíveis com os atuadores de um motor real;

- Hardware com baixo consumo de energia quando o motor estiver desligado, o suficiente para que a placa possa ser alimentada por uma bateria de um veículo de passeio comercial (12V);
- Hardware flexível, de forma que a mesma placa possa ser utilizada para controle de outros motores, no âmbito de projetos futuros. Esta flexibilidade possui certos limites;
- Hardware capaz de drenar correntes elevadas provenientes de atuadores;
- Software com capacidade de monitorar parâmetros em tempo real, contando com a possibilidade de se controlar o motor a partir do computador, para fins de testes.
- Firmware capaz de controlar a rotação do motor em condições de carga, fornecendo uma potência máxima de no mínimo 50% do valor nominal (116 CV), o que corresponde ao valor de 58 CV.
- Acionamento da ECU somente quando ativar a linha 15;

A validação do projeto envolve diversos testes realizados em bancada e testes realizados no veículo, sendo que neste último caso será utilizado um dinamômetro inercial para avaliação do desempenho do motor em condições de carga.

5.1 Etapas individuais em bancada

Os testes em bancada são de extrema importância para se validar o correto funcionamento dos drivers de potência do hardware, antes de aplicá-los aos atuadores presentes no motor. Com isto, problemas ou comportamentos inesperados relacionados aos atuadores podem ser corrigidos de forma segura em bancada.

A seguir será demonstrado como foi realizado a sequência de cada etapa do projeto.

5.1.1 Obtenção do sinal de rotação

Como primeira etapa constatou a leitura do sinal de rotação provinda do sensor de reatância variável, testes realizados em bancada com o kit abaixo:

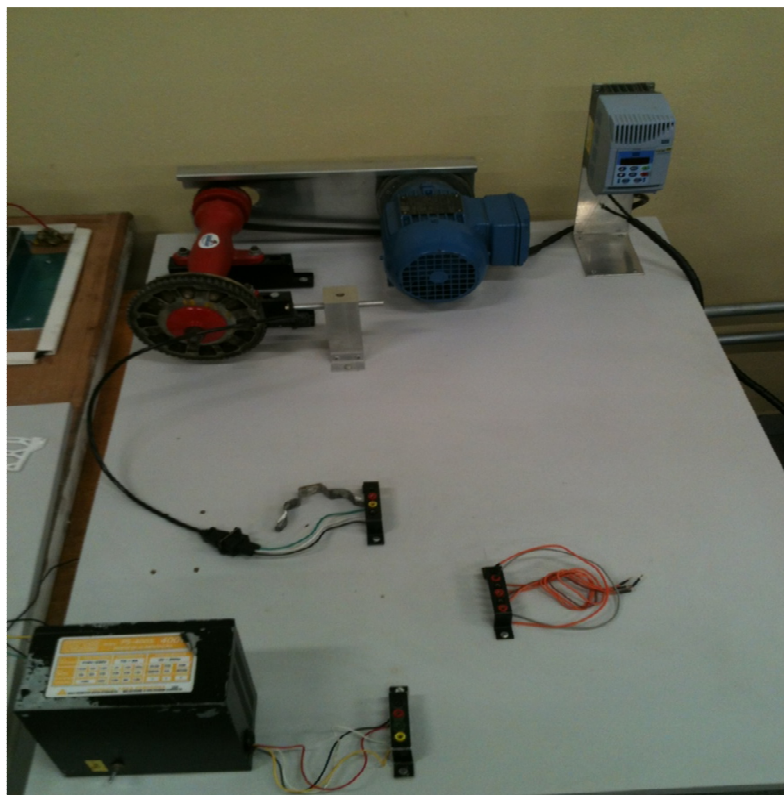


Figura 52 - Kit sensor relutância da Fatec Santo André [O AUTOR]

Este teste foi realizado em bancada utilizando um motor elétrico conectado a uma roda fônica e um sensor de relutância variável posicionado a 0,7mm de distância da roda fônica. A figura anterior ilustra a bancada utilizada para realizar os testes e a figura seguinte ilustra o resultado do teste realizado.

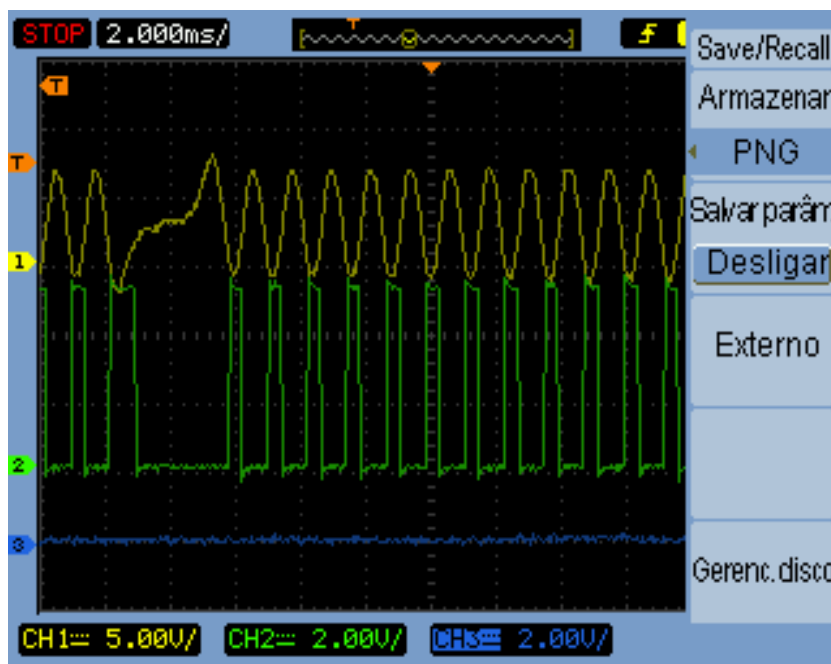


Figura 53 - Sinal original do sensor (amarelo) e sinal da saída do CI LM1815 (verde) [O AUTOR]

Proveniente da roda fônica é gerado um sinal senoidal que é condicionado pelo LM1815 para uma onda quadra para que o microcontrolador interprete os dentes e tenha a rotação do motor assim tendo o sincronismo do motor assim gerando o ponto correto de injeção de combustível e acionamento das bobinas.

O sensor possui um ímã permanente que cria um campo magnético, ao qual é montado um núcleo de ferro doce sobre o qual está enrolada uma bobina. Uma polia dentada (60 dentes menos 2 de falha), semelhante a uma engrenagem, gira presa ao virabrequim a pequena distância do núcleo do sensor.

A passagem sucessiva de dentes e espaços na região do núcleo do sensor varia a intensidade do campo magnético, o que induz uma tensão na bobina. Esse sinal é tratado pelo CI LM1815 (parte negativa do sinal AC convertida para pulso de 5VDC) e usado pelo processador, desta forma, contando os dentes da roda fônica original do veículo e definindo a posição correta da árvore de manivelas, podemos ajustar a posição de acionamento dos injetores e das velas de ignição.

A configuração utilizada para condicionar o sinal senoidal é mostrada a seguir:

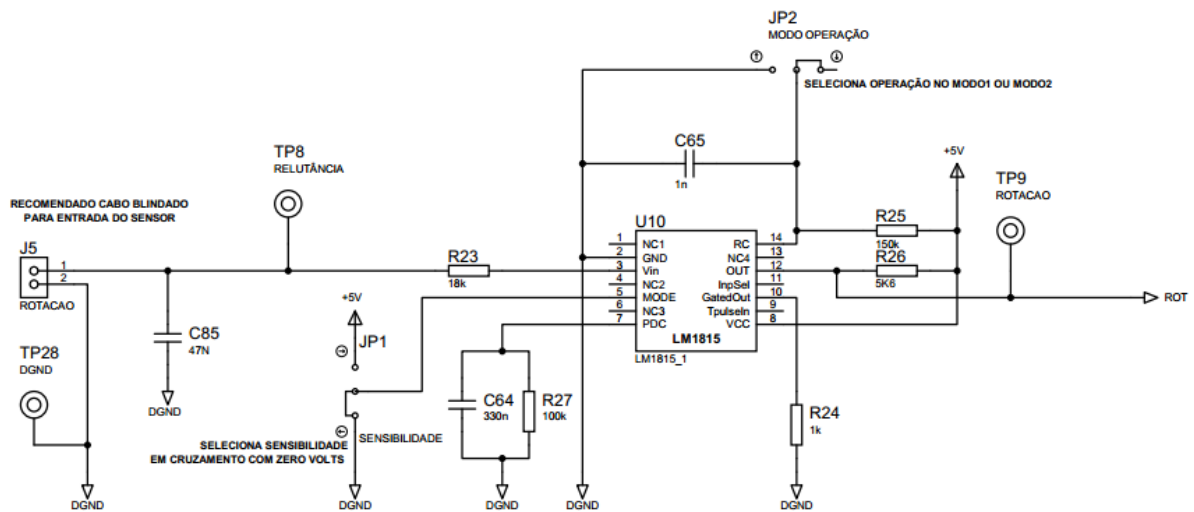


Figura 54 - Diagrama do circuito roda fônica [EXTRAÍDO DE DIAS, 2011]

Acima se pode ver no digrama a configuração do condicionador do sinal. O sinal proveniente do sensor de rotação tem uma limitação de corrente antes da porta de entrada do chip, pelo resistor R23. O circuito possui um chaveamento (Jumper) de sensibilidade para determinar o cruzamento do sinal se é por 0 volts (ligado ao terra) ou em 5 volts (ligado ao 5 volts), como possui também o modo de operação que no modo 1 tira o filtro pelo capacitor C65, já no modo 2 ativando esse filtro, sua função é inverter o nível lógico de 0 para 1 ou vice versa. Em sua saída possui um Pull Up no resistor R26 no 5 volts.

Posteriormente como cortesia do projeto *Freescale*, utilizamos um emulador de rotação, correspondente ao sinal de saída do CI MAX9924, responsável por digitalizar o sinal senoidal proveniente do sensor de relutância variável. O sinal de rotação é fundamental para se validar o correto cálculo da rotação, bem como o correto acionamento dos sinais de injeção e ignição.

A geração do sinal é feita com auxílio de um kit Freescale que contém o microcontrolador de 8 bits S08LH64. Através de uma comunicação serial RS-232, a aplicação, rodando em ambiente Windows, envia ao microcontrolador um valor que corresponde ao período de duração de um dente do sinal, período este que é calculado de acordo com a rotação que se deseja emular. Com o dado recebido da serial, o microcontrolador gera, com auxílio da

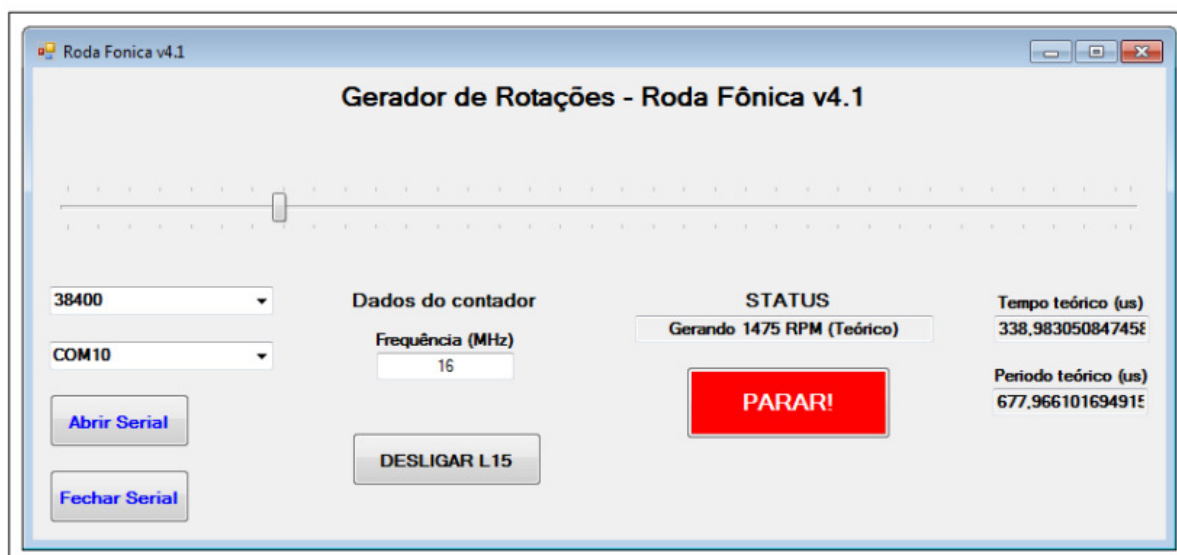


Figura 55 - Aplicação utilizada para a geração do sinal de rotação [EXTRAÍDO PEREIRA, 2013].

interrupção de um timer, o sinal de rotação desejado, alterando no instante correto o estado lógico de um pino de saída. O software mencionado foi desenvolvido na ferramenta Visual Basic da Microsoft em 2011 para desenvolvimentos e testes em laboratório pelo projeto em *Freescale* (Adaptado Pereira, 2013).

Além de ser útil no desenvolvimento do firmware, esta etapa é extremamente importante na correção de erros durante os testes no motor. Caso se verifique uma falha no veículo, mapeia-se a faixa de rotação onde ocorreu o problema e então se reproduz a falha em laboratório, corrigindo-a de forma segura (Pereira, 2013).

5.1.2 Simulação dos pulsos de ignição

Sistema responsável por acionar o sistema de bobinas que geram a centelha da vela de ignição que inicia o processo de combustão da mistura ar/combustível presente em cada cilindro do motor. Neste VW Polo, o driver de potencia está presente na carcaça da bobina, sendo assim, nossa placa envia somente o pulso de comando para esta conexão da bobina. Esta placa já possui driver de potencia caso o veículo utilizado não possua este driver interno.

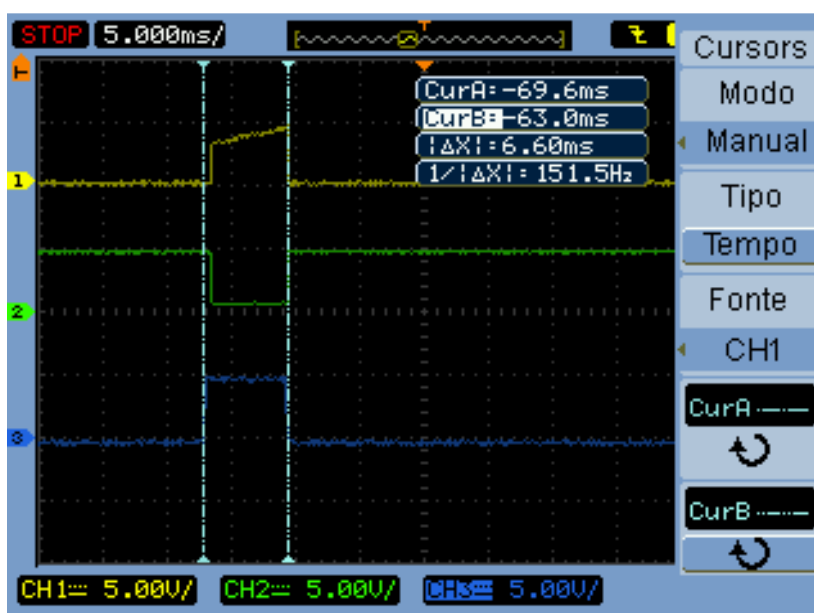


Figura 56 - Sinal original do VW Polo (em amarelo) e sinal gerado pela ECU Fatec (em azul). [O AUTOR]

5.1.3 Pulsos de injeção

Sistema responsável por acionar o sistema de bobinas que carregam os indutores dos injetores de combustível. Seguindo o tempo de carregamento de cada bobina, cada injetor direcionará para o coletor de admissão do cilindro a quantidade de combustível calculada (segundo a estequiometria calculada via software que o calcula referente a massa de ar admitida (sensor MAP) e temperatura do ar (sensor ACT)).

Para o teste dos atuadores de injeção de combustível foi utilizado um kit que simula o acionamento das válvulas injetoras, assim verificando seu comportamento e assim podendo realizar testes com a devida carga correta do sistema na placa de interface.

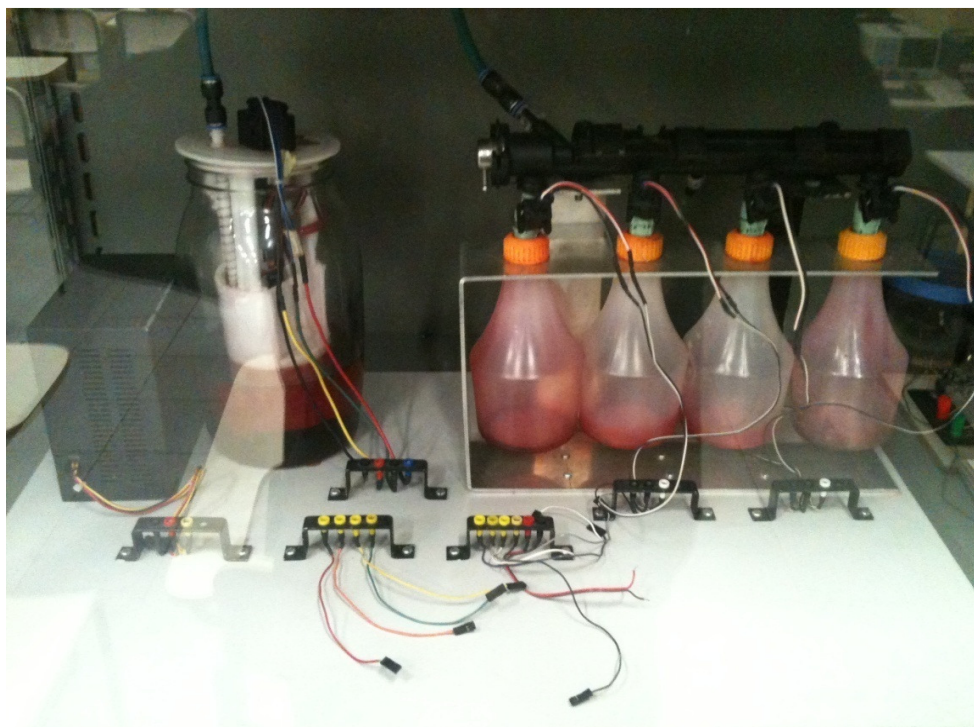


Figura 57 - Kit injeção Fatec Santo André [O AUTOR]

O driver dos injetores é composto pelo CI Freescale MC33810 (também é utilizado para o acionamento das bobinas de ignição caso necessário, neste caso como a bobina de ignição já possui driver o microcontrolador só envia o sinal de para o acionamento).

Assim o resultado da característica do sinal obtido na figura abaixo:

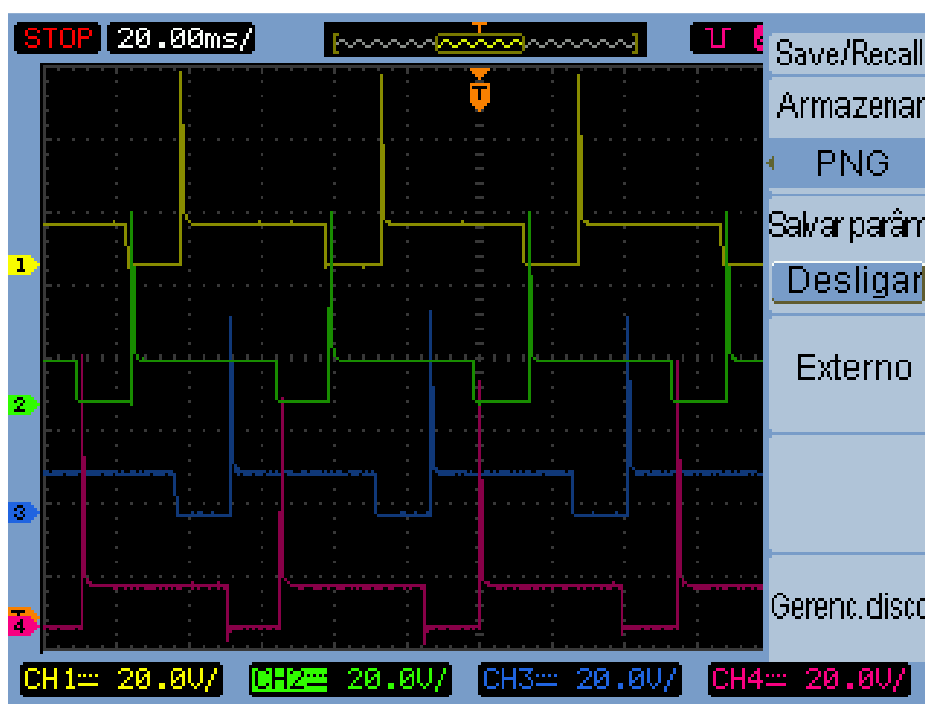


Figura 58 - Característica do sinal dos 4 injetores [O AUTOR].

5.1.4 Válvula borboleta

Calibrando inicialmente a válvula borboleta com o kit utilizado nesta FATEC, efetuamos o teste de configuração da válvula borboleta, em seguida recalibramos para a utilização no veículo.

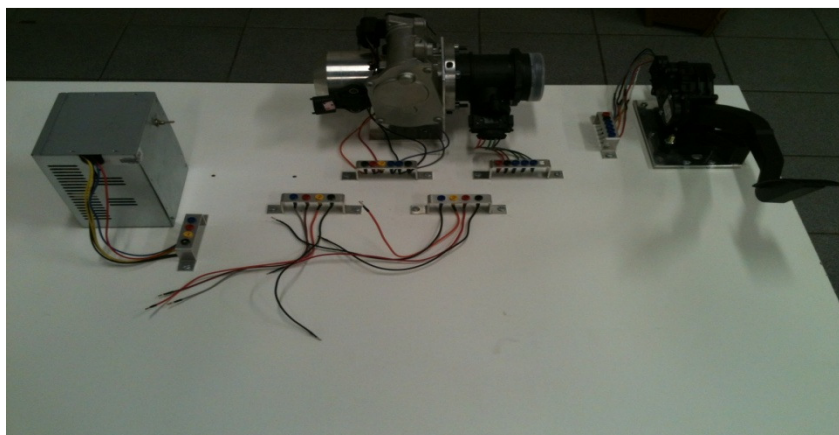


Figura 59 - Kit válvula borboleta Fatec Santo André [O AUTOR]

Este kit é fundamental para se validar o correto funcionamento do controle de posição da válvula borboleta, implementado no uC de Gerenciamento. Assim, quando surge a necessidade de se alterar o algoritmo de controle ou ajustar os ganhos deste controlador, é necessário realizar testes em bancada com este kit antes de aplicar a ECU ao motor. Além disto, é possível verificar, analogamente aos kits de injeção e ignição, a capacidade em se drenar alta corrente e a resistência do hardware a ruídos. Outra função deste kit é a de validar o correto funcionamento da ponte H (CI 33186), driver utilizado para alimentar o servo motor da válvula borboleta (Pereira, 2013), neste caso é simulado sem condições de carga do motor.

Abaixo mostra o resultado entre a resposta do sensor TPS que monitora a atuação da válvula borboleta em relação ao acionamento do pedal.

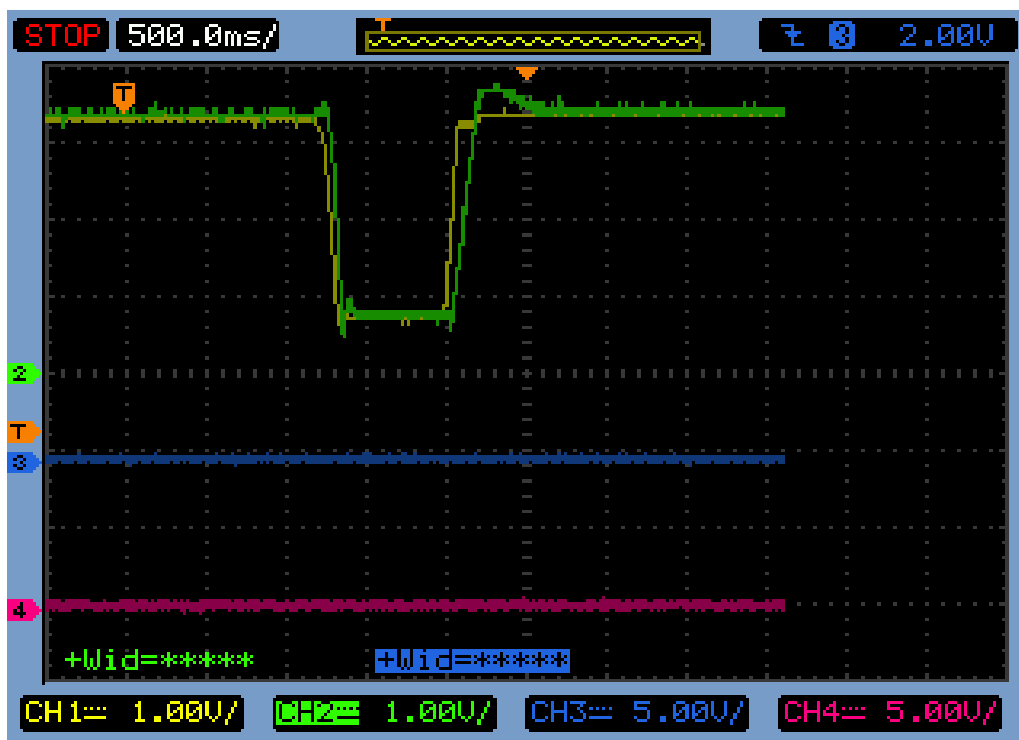


Figura 60 - Curva de resposta pedal (em amarelo) – TPS da válvula borboleta (em verde) [O AUTOR]

Em seguida mostra o tempo de resposta do controle da válvula borboleta que mostrou em 48 ms, tempo adequado para a aplicação.

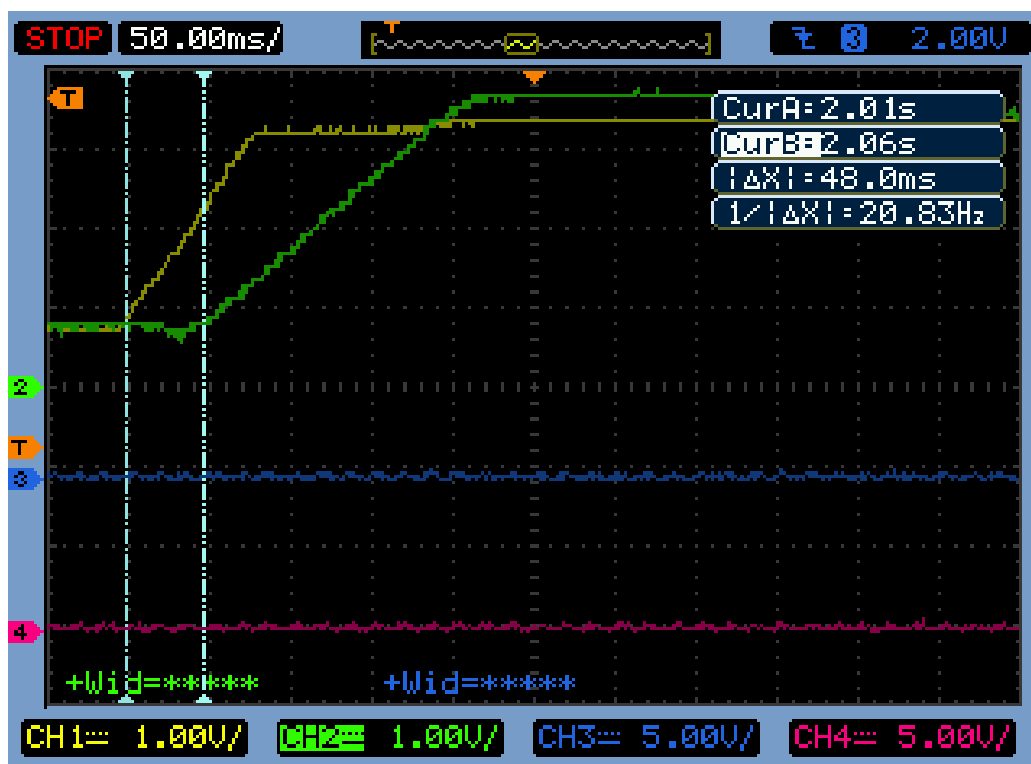


Figura 61 - Curva de resposta pedal (em amarelo) – TPS da válvula borboleta (em verde) e tempo de resposta [O AUTOR]

Pelas figuras anteriores é possível notar que o controle de posição da borboleta funciona corretamente, com erros pequenos e sem oscilações, o que confere estabilidade ao controle. Além disto, a resposta do controle de posição é considerada adequada à aplicação envolvida. Os ensaios anteriores foram realizados em laboratório.

5.2 Testes no veículo

Os testes de integração do firmware foram todos executados no veículo da FATEC Santo André a Plataforma de desenvolvimento III, as etapas são semelhantes ao projeto *Freescale*, pois um dos membros do grupo (Demerson) participou dos testes realizados deste projeto (Plataforma de desenvolvimento II), como apresentou resultados eficazes utilizamos os mesmos procedimentos:

- **Verificação do correto cálculo da rotação:** A primeira etapa consiste em verificar se a ECU desenvolvida calcula de forma correta a rotação do motor, sendo que neste caso é utilizado a ECU original do veículo para comparações;
- **Atuação nos bicos injetores:** Esta etapa valida o correto acionamento dos sinais de injeção, que devem ser acionados em instantes específicos. Inicialmente é realizada uma comparação, com auxílio de um osciloscópio, entre os sinais gerados pela ECU original do veículo e a ECU deste projeto, e em sequência o motor é acionado com os sinais gerados pela unidade deste projeto;
- **Atuação na válvula borboleta:** Com o algoritmo de controle da borboleta validado em laboratório, o mesmo é aplicado à borboleta, porém inicialmente com o motor desligado. Depois de calibrado os ganhos, o motor é acionado com o controle da válvula borboleta da ECU deste projeto, respondendo a pequenas variações no pedal do acelerador;
- **Atuação na ignição:** Analogamente à segunda etapa, se valida o correto acionamento dos sinais de ignição. Inicialmente é realizada uma comparação com os sinais de ignição da ECU original, e em seguida a ignição é acionada pela ECU deste projeto;
- **Leitura dos sensores:** Nesta etapa, se valida a correta leitura dos sensores que serão utilizados neste projeto, exceto o sensor de rotação, que já foi validado na primeira etapa. Nesta etapa é validado também o correto funcionamento do software de monitoramento, no que diz respeito à aquisição em tempo real dos dados;

- **Acionamento de Relé e atuação completa:** Nesta etapa a meta corresponde à validação do acionamento do relé da bomba de combustível. Neste momento é realizado também um teste, acionando-se simultaneamente todos os atuadores validados nas etapas anteriores. Portanto, após esta etapa, espera-se que o motor seja completamente controlado pela ECU v2.0 deste projeto, não dependendo, portanto de nenhuma atuação da ECU original;
- **Inserção do cálculo da massa de combustível:** Esta etapa consiste em melhorar o desempenho do motor, calculando-se a massa de combustível que deve ser injetada em uma dada volta. Utiliza-se, neste caso, as informações dos sensores MAP e temperatura do ar;
- **Inserção do controle de rotação:** Esta etapa consiste em inserir e validar o correto funcionamento do controle de rotação. Espera-se ao final desta etapa que seja possível se controlar de forma estável a rotação do motor de acordo com a leitura do pedal de aceleração. O motor deve responder até 6000 RPM, ainda sem aplicação de carga (motor em vazio), com erros de regime de até 200 RPM;
- **Ajuste do tempo de injeção para acelerações bruscas:** Nesta etapa, são realizados diversos testes de acelerações bruscas, de forma que o motor responda de forma satisfatória com o controle de rotação. Também é validado o corte de combustível em caso de desacelerações;
- **Ajuste para partida a frio:** Testes são realizados para verificar o correto funcionamento do motor em baixas temperaturas;
- **Aplicação de carga ao motor:** Nesta etapa espera-se validar o correto funcionamento do motor em condições de carga, utilizando o veículo em conjunto com o dinamômetro inercial. Todos os ajustes e correções são realizados de forma a melhorar o desempenho do motor nestas condições. 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 (116 cv) do motor, o que corresponde ao valor de 58 cv.
- **Comunicação com a rede CAN:** Nesta etapa é implementado a comunicação com a rede CAN presente no veículo, enviando a rotação calculada para o painel do motorista e lendo a velocidade instantânea do veículo. Espera-se, ao final desta etapa, que a ECU original possa ser completamente desligada do veículo, sem prejuízos para o funcionamento do motor;

Para obter acesso aos sinais de sensores e atuadores presentes no motor foi utilizada uma intersecção denominada de “Bob”, desenvolvida na nossa faculdade. Além de possibilitar o monitoramento destes sinais, esta intersecção permite também, através de jumpers, aplicar sinais de atuação ao motor, desligando, neste caso, sinais de atuação provenientes da ECU original do veículo. Deste modo, pode-se controlar parcialmente o motor, deixando somente alguns atuadores para serem controlados pela ECU original. Ao final, espera-se que todos os atuadores da ECU original possam ser desligados, sendo, neste momento, a nossa ECU responsável por todo o controle do motor (Adaptado Pereira, 2013).



Figura 63 - Intersecção dos sinais do Motor Volkswagen 2.0L [EXTRAÍDA PEREIRA, 2013].

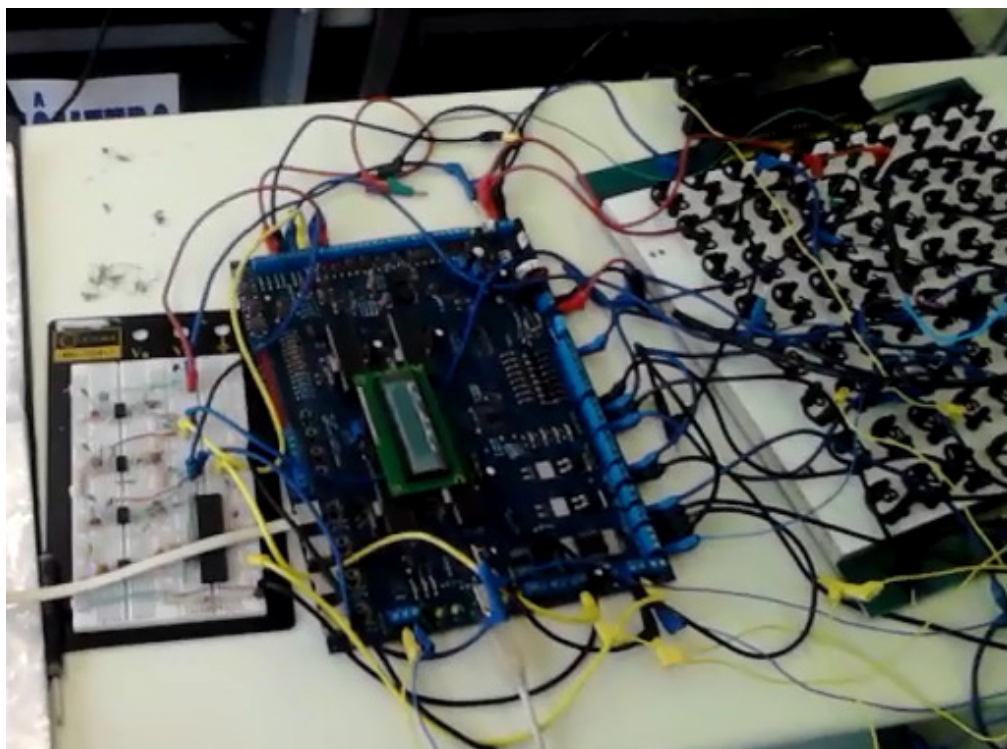


Figura 62 - ECU 1.2V conectada à intersecção [O AUTOR].

5.3 Curvas de potência

Para efeito de comparação realizamos o teste de potência do motor no dinamômetro inercial que possuímos em nossa faculdade com a ECU original que apresentou valores descritos abaixo:

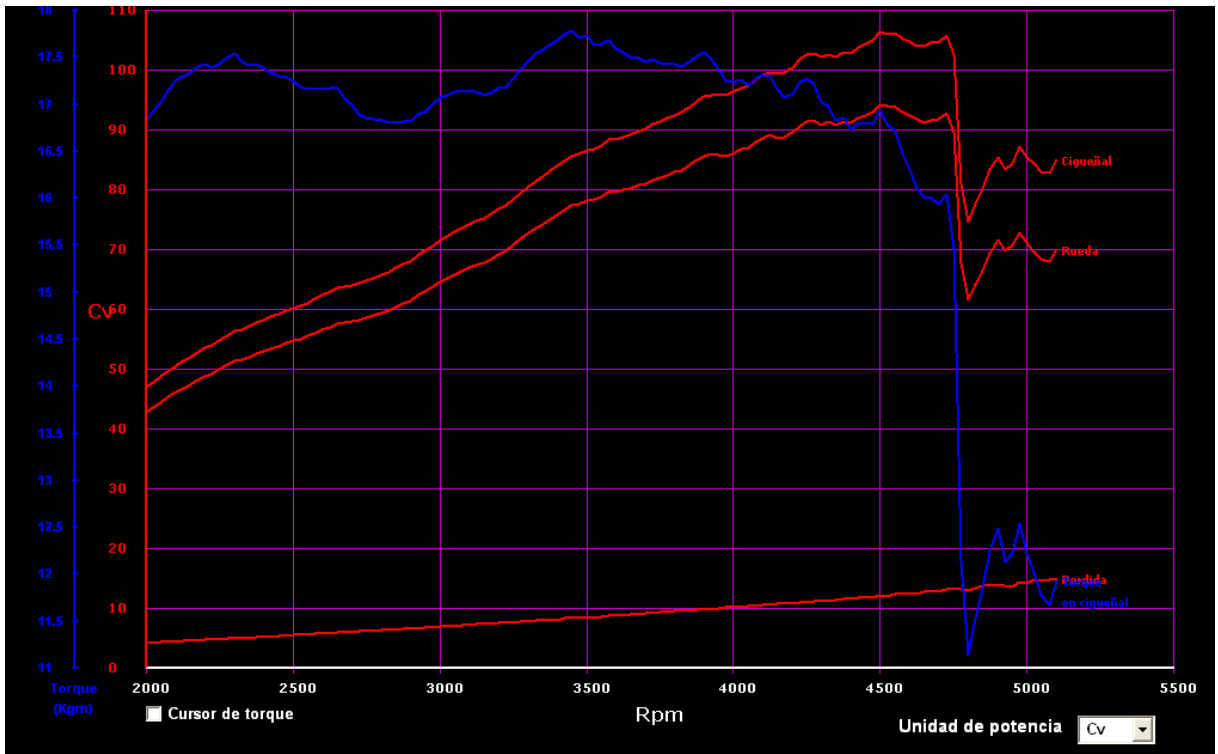


Figura 64 - Curva de potência utilizando ECU original, em vermelho mostra o RPM por potência e em azul RPM por torque [O AUTOR].

O gráfico descrito como no eixo “x” a rotação do motor e no eixo “y” o torque a potência mostrado paralelamente.

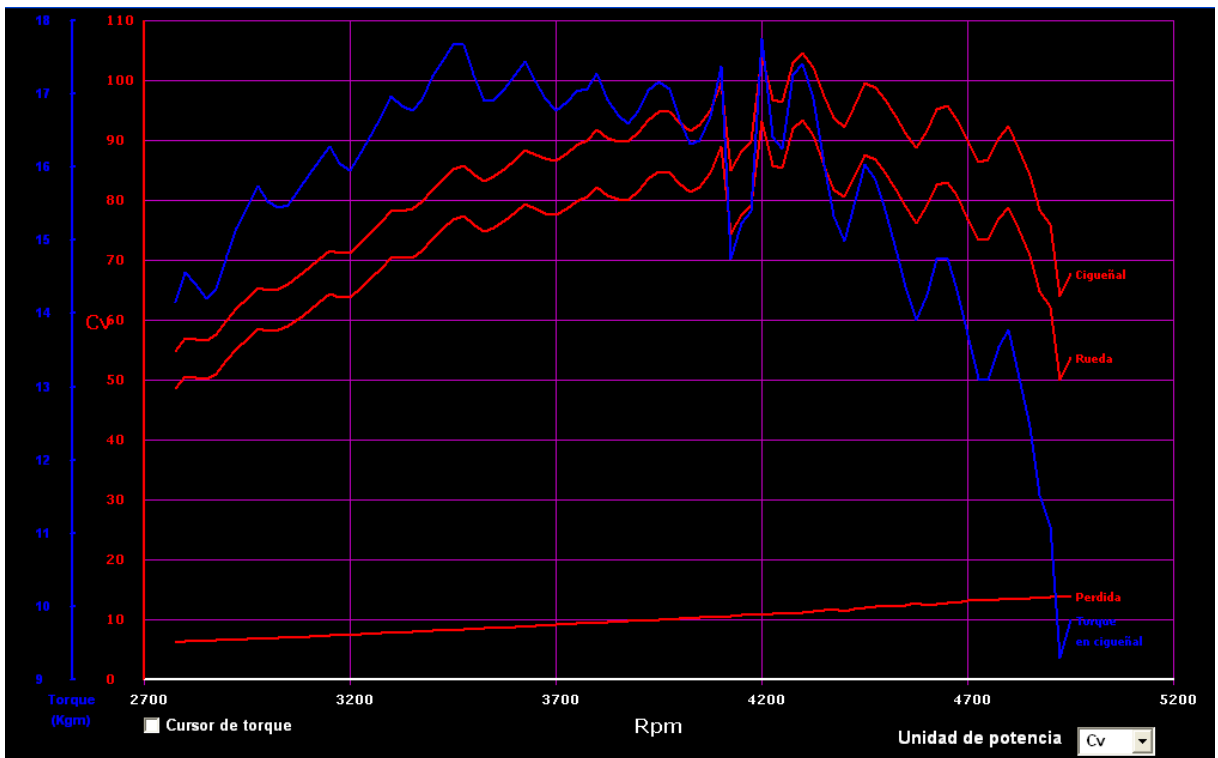
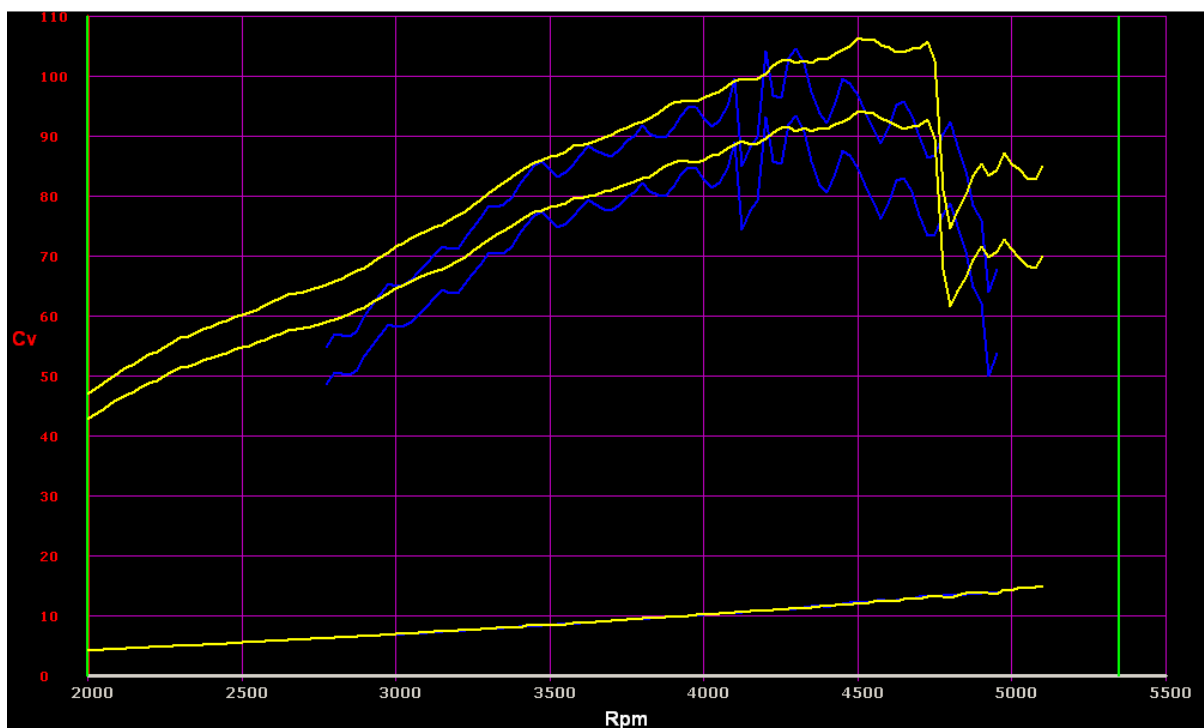


Figura 65 - Figura 58 - Curva de potência utilizando ECU 1.2V, em vermelho mostra o RPM por potência e em azul RPM por torque [O AUTOR].

Por fim abaixo é mostrada a relação ECU original e a ECU desenvolvida nesse projeto.



Como mostrado acima mostra a curva de potência com a ECU 1.2V, analisando o sinal verifica-se um instabilidade, isso devido à oscilação da válvula borboleta, que poderá ser mais refinada em projetos posteriores.

Na faixa de 4000 a 4200 RPM possui uma leve queda que potência devido ao cruzamento dos pulsos dos temporizadores de injeção e ignição, isso resolvendo com a utilização de um temporizador para cada injetor e um para cada banco da bobina.

Os pontos máximos de cada curva foram apresentados na tabela a seguir.

Unidade eletrônica	Potência máxima	Torque máximo
ECU original	105.2 cv a 4500 RPM	17.7 mkgf a 3450 RPM
ECU 1.2V (<i>Microchip PIC</i>)	104.4cv a 4200 RPM	17,6 mkgf 3450 RPM

6 DISCUSSÕES FINAIS E CONCLUSÃO

As ECUs em produção não permitem alterações de software, por isso foram desenvolvidas estas placas para uso didático que programamos de acordo como o veículo e com as necessidades de cada projeto de estudo. Deste modo, podemos futuramente desenvolver me-

lhorias de funcionamento e durabilidade de componentes, assuntos muito desenvolvidos pelos fabricantes.

Este projeto traz melhorias ao meio acadêmico, pois aplica o que estudamos sobre linguagem C e gerenciamento de motores durante o curso, e se transforma em exemplo a ser seguido por outros alunos, mostrando que o que aprendem aqui é realmente essencial.

Atualmente a tecnologia PIC não possui a mais tecnológica mais atual em microprocessadores, porém ainda é muito utilizada em vários setores de automação, controle e automotivo, devido a ser, em comparação com tecnologias mais atuais, de simples utilização, programação e baixo preço.

Com a conclusão deste trabalho, as pessoas irão constatar as diferenças de desempenho e programação que diferentes tipos de microcontroladores podem desenvolver, facilitando futuramente aos próximos alunos sua escolha conforme as necessidades e valores de cada projeto.

6.1 Áreas de aplicação das contribuições desta tese

Na indústria automotiva, naval e de geradores, devido ao gerenciamento de um motor a combustão interna ciclo Otto a gasolina por microcontrolador, pois com simples mudanças no firmware adapta-se a diferentes regimes do motor e características do mesmo. Segue como projeto de várias alternativas para utilização desse método de gerenciamento, por devido à facilidade de programação (linguagem C), muito usual nesse tipo de segmento. A facilidade de obter esse componente, várias aplicabilidades já desenvolvidas torna-se um tipo de chip versátil para essa área.

6.2 Propostas futuras de pesquisa

- A utilização do PIC18F44K22 no bloco de gerenciamento, pois esse chip poderá fazer uma maior quantidade de tratamento de sinais de sensores e atuando em mais atuadores, pois possui diversas entradas analógicas e digitais. Além disso, ele possui uma capacidade processamento superior e dois blocos de comunicação SPI.
- Com a utilização do PIC18F44K22 no gerenciamento poderá ser exportado o controle da válvula borboleta do bloco de admissão para o bloco de gerenciamento, melho-

do a taxa de resposta deste controle, pois estar no mesmo núcleo e também não dependendo da taxa da transmissão SPI;

- Melhoria no controle da válvula borboleta, verificando o controle de malha fechada e adaptando a aplicação do Microcontrolador Microchip PIC, pois ele possui mais atrasos no processamento em comparação aos Microcontroladores *Freescale* que foi utilizado o Software e adaptado para a nossa aplicação.
- Desenvolvimento de controle de detonação em malha fechada, o que envolve estratégia para se retirar informação do sensor de detonação e atuar, principalmente, no adiantamento de ignição;
- Desenvolvimento de controle estequiométrico da mistura a/c em malha fechada, envolvendo o uso da sonda lambda e aprimoramentos na estratégia do firmware, a fim de diminuir o consumo de combustível e reduzir a emissão de poluentes;
- Realizar o estudo em referencia os mapas do código em *Freescale* e exportados para o *Microchip PIC* se possui atrasos, assim se existir realizar os devido offsets (acréscimo nos valores);
- Desenvolvimento de uma ECU para motores bicomustíveis (flex), com uso de algoritmos e sensores adequados, a fim de aprimorar a identificação da mistura do combustível, além de ajustar de modo adaptativo os mapas de injeção e ignição;

7 REFERÊNCIAS

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

DIAS, B. M. de A. Plataforma didática de injeção eletrônica para controle de motores a combustão interna. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Faculdade de Tecnologia de Santo André, 2011.

TEXAS INSTRUMENTS. Datasheet LM1815. [S.l.], 2013.

MICROCHIP. Datasheet PIC18F44K22. [S.l.], 2012.

MICROCHIP. Datasheet PIC18F452. [S.l.], 2006.

MICROCHIP. Datasheet PIC18F4680. [S.l.], 2004.

FREESCALE. Datasheet MC33810. [S.l.], 2008.

FREESCALE. Datasheet MC33186. [S.l.], 2011.

FREESCALE. Datasheet da família MC9S12XE. [S.l.], 2012.

FREESCALE. S12XE: 16-Bit Automotive Microcontroller - Overview. 2013. Disponível em: http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=S12XE&nodeId=0162468636K100. Acesso em: setembro/2013.

FUTURE TECHNOLOGY DEVICES INTERNATIONAL LIMITED. Datasheet FT232R. [S.l.], 2010.

ROCHA, G. Estequiometria do Motor de Combustão Interna 2009. Disponível em: <http://www.infomotor.com.br/site/2009/03/estequiometria-do-motor-de-combustao-interna>. Acesso em: março/2014.

SCARPINETTI, V. S.; SOARES, A. M. F. Unidade eletrônica de controle de um motor a combustão: Projeto Otto. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012.

PEREIRA, C. F. Unidade de Gerenciamento Eletrônico de um Motor Volkswagen 2.0L: Projeto Otto II. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013.

Laboratório de garagem. Tutorial: Comunicação SPI (Serial peripheral Interface) com Arduino. Disponível em: <http://labdegaragem.com/profiles/blogs/tutorial-comunica-o-spi-serial-peripheral-interface-com-arduino> . Acesso em: março/2014.

PORTAL VRUM. Ficha Técnica: Polo Sed./ Sed. COMFORT. 2.0 Mi 8V 4p. 2013. Disponível em: <http://www.vrum.com.br/Autos?tp=VRUM&name=db:FichaTecnica&fabricante=Volkswagen&modelobase=POLO&anomodelo=2004&codigo=005186-1>. Acesso em: março/2014.

Apêndices

Apêndice A - Hardware

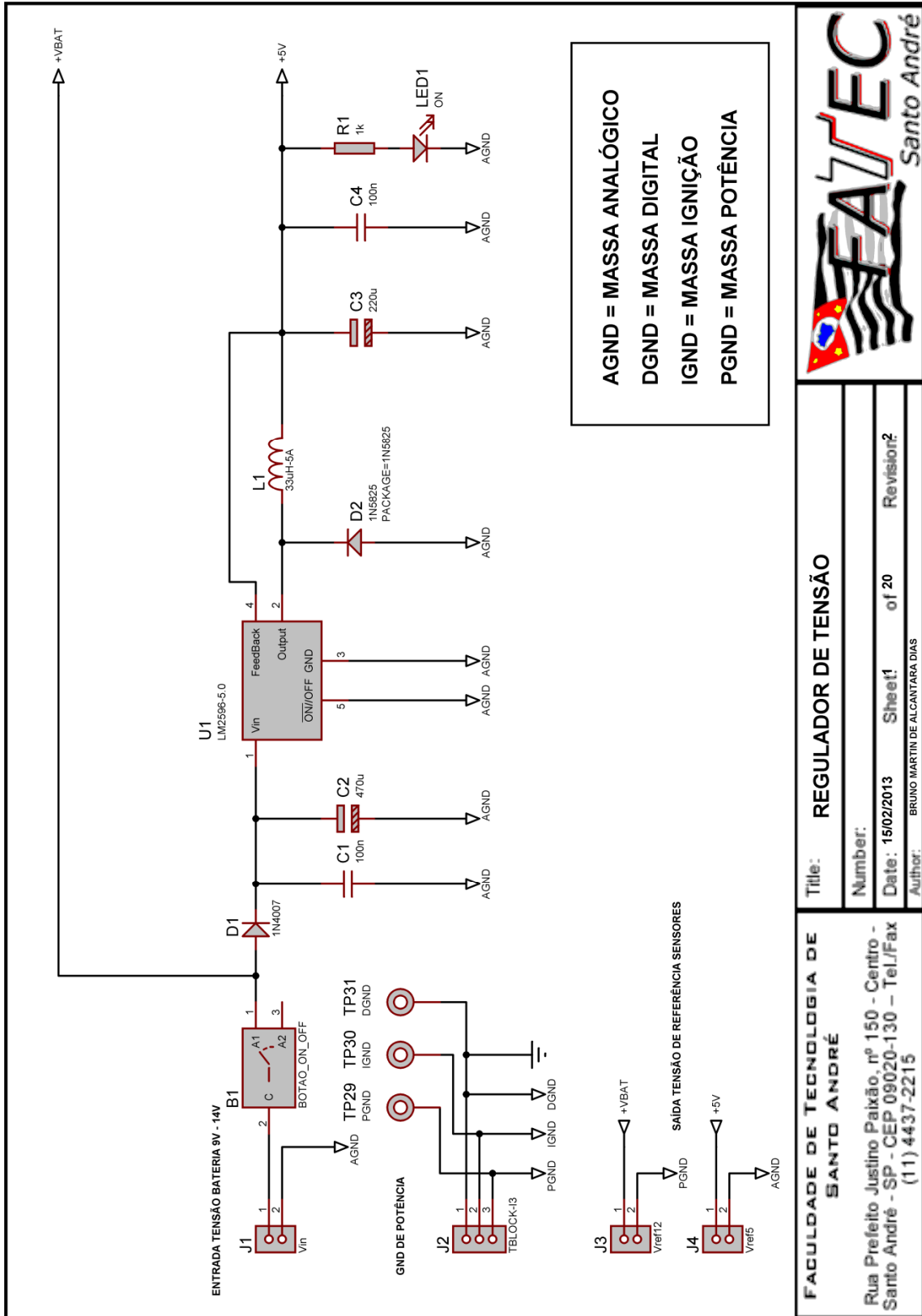


Figura 66 - Regulador de tensão [DIAS, 2013].

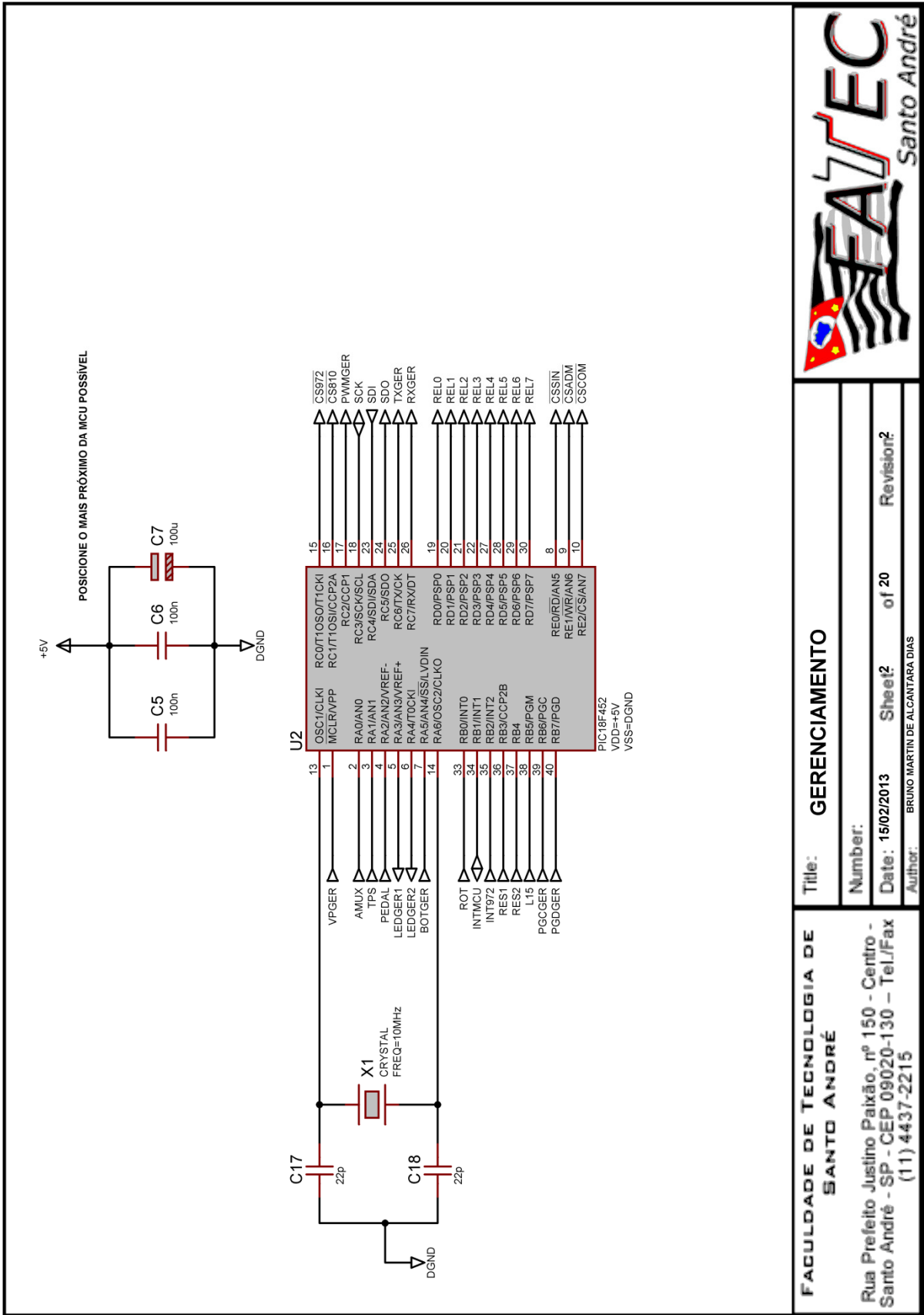



Figura 67 - Microcontrolador de gerenciamento [DIAS, 2013].



FEATEC
Santo André

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SANTO ANDRÉ Rua Prefeito Justino Paixão, nº 150 - Centro - Santo André - SP - CEP 09020-130 – Tel./Fax (11) 4437-2215	Title: GERENCIAMENTO Number: Date: 15/02/2013 Sheet: 2 of 20 Revision: ? Author: BRUNO MARTIN DE ALCANTARA DIAS
--	---

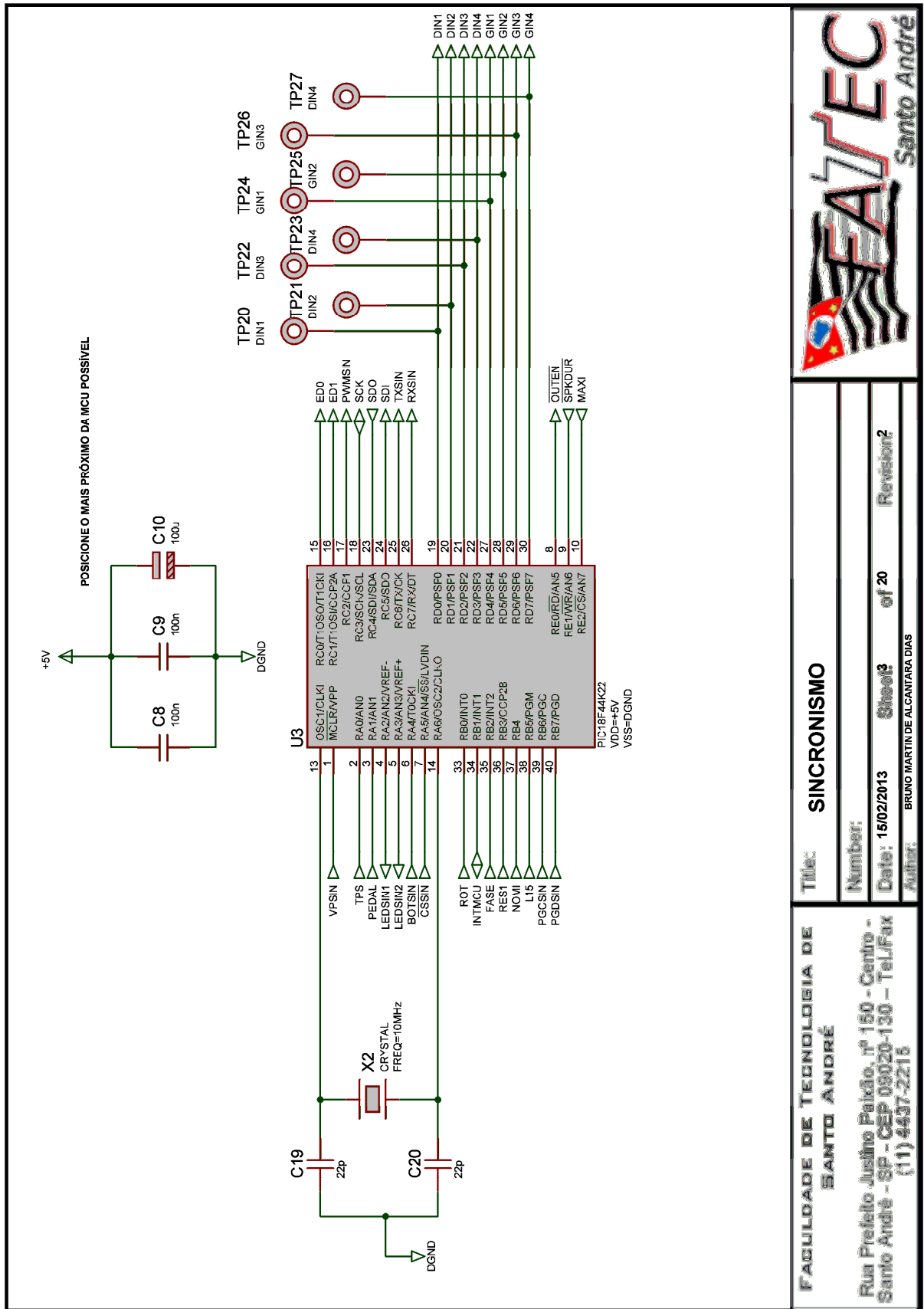
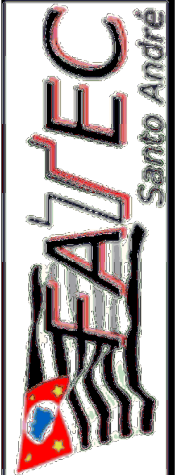
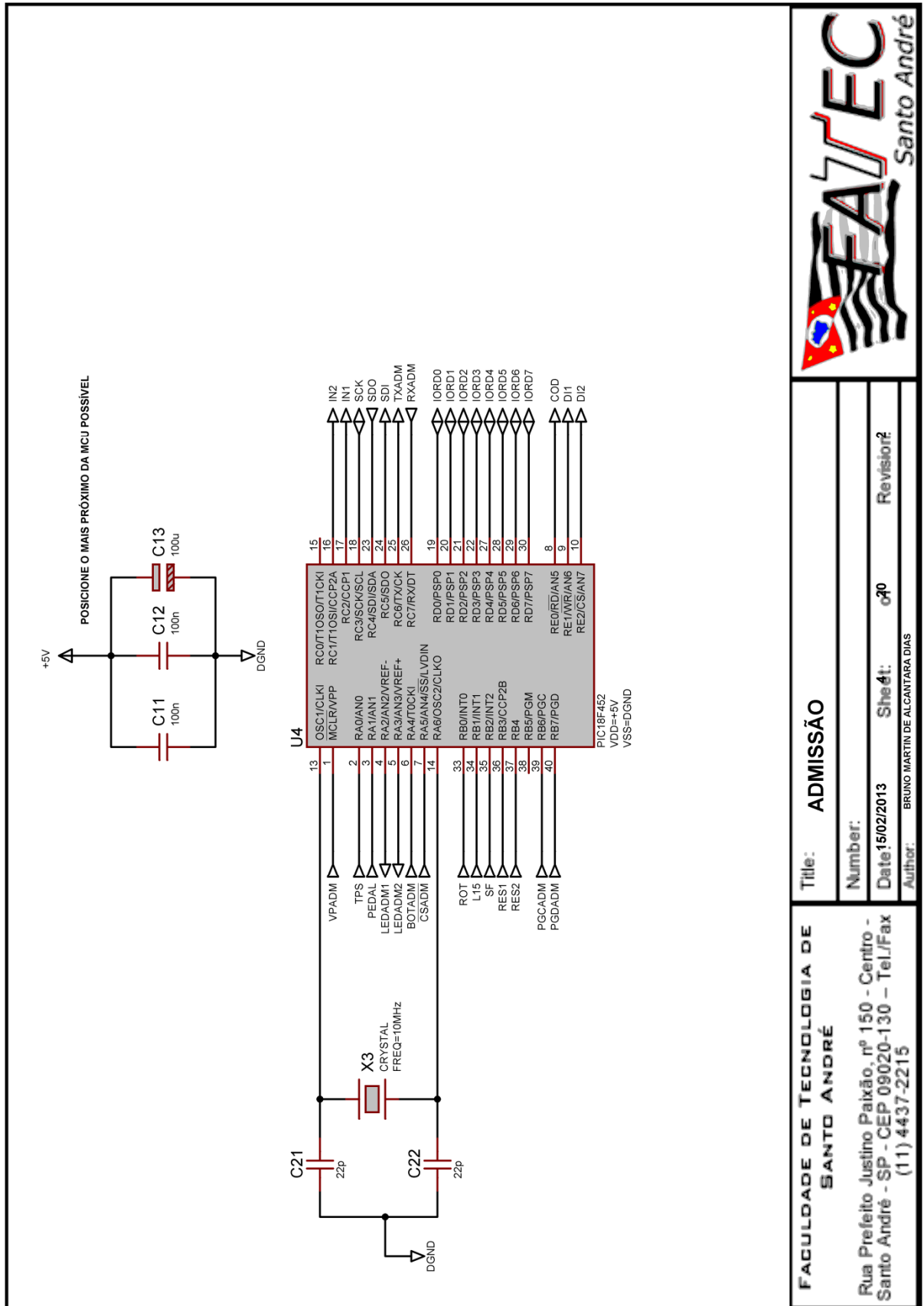


Figura 68 - Microcontrolador de Sincronismo [DIAS, 2013].



Título: SINCRONISMO	
Number:	
Date: 15/02/2013	Sheet: of 20
Author: BRUNO MARTIN DE ALCANTARA DIAS	Revision: ?

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE
SANTO ANDRÉ
 Rua Prefeito Juscelino Kubitschek, nº 150 - Centro -
 Santo André - SP - CEP 09020-130 - Tel./Fax
 (11) 4437-2215

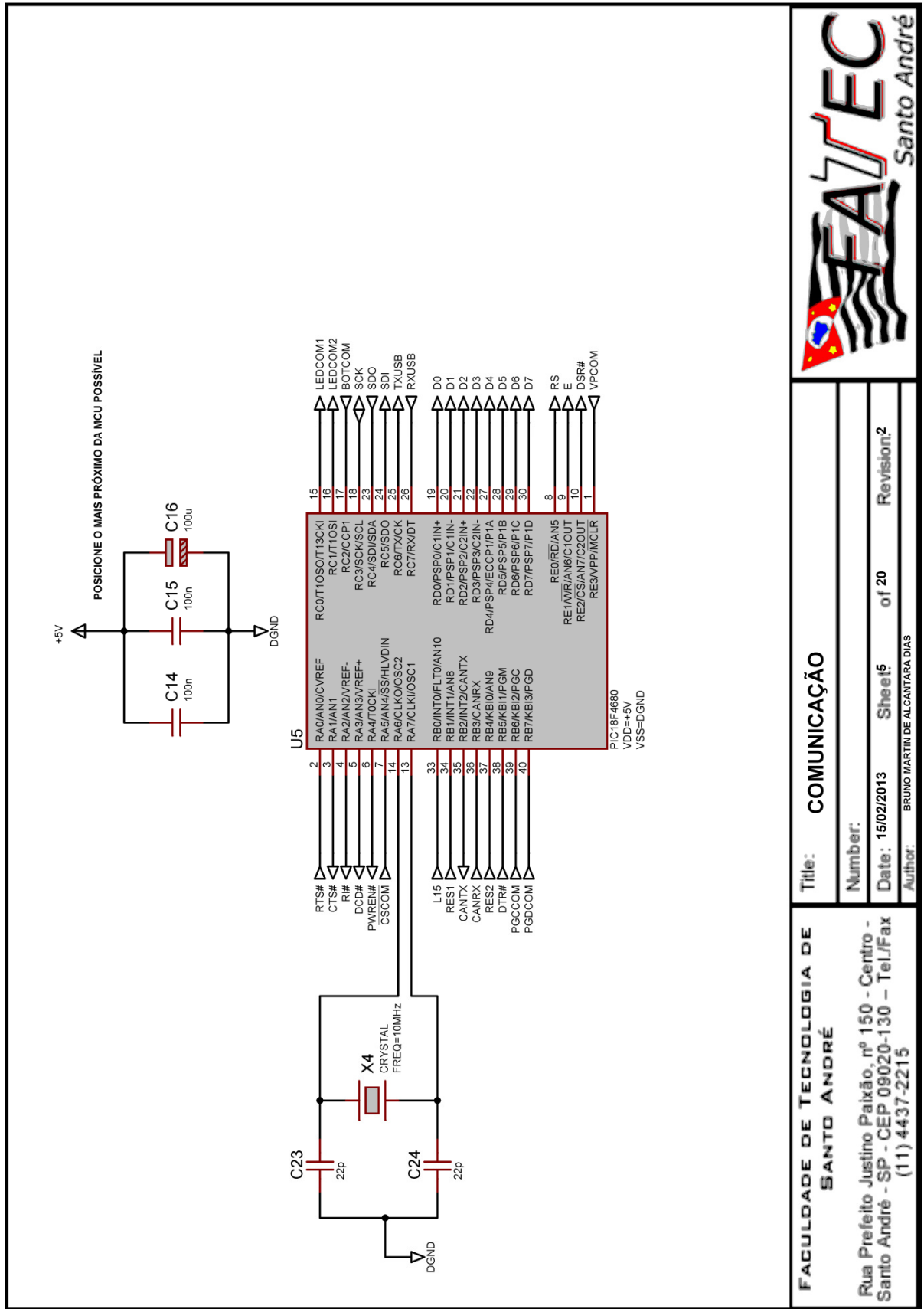


Title: ADMISSÃO	
Number:	
Date: 15/02/2013	Sheet: 01
Author: BRUNO MARTIN DE ALCANTARA DIAS	Revisão: ?

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE
SANTO ANDRÉ

Rua Prefeito Justino Paixão, nº 150 - Centro -
Santo André - SP - CEP 09020-130 - Tel./Fax
(11) 4437-2215

Figura 69 - Microcontrolador de Admissão [DIAS, 2013].



COMUNICAÇÃO	
Number:	Sheet 5 of 20
Date:	15/02/2013
Author:	BRUNO MARTIN DE ALCANTARA DIAS
Revision:	2

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SANTO ANDRÉ
 Rua Prefeito Justino Paixão, nº 150 - Centro - Santo André - SP - CEP 09020-130 - Tel./Fax (11) 4437-2215

Figura 70 - Microcontrolador de Comunicação [DIAS, 2013].

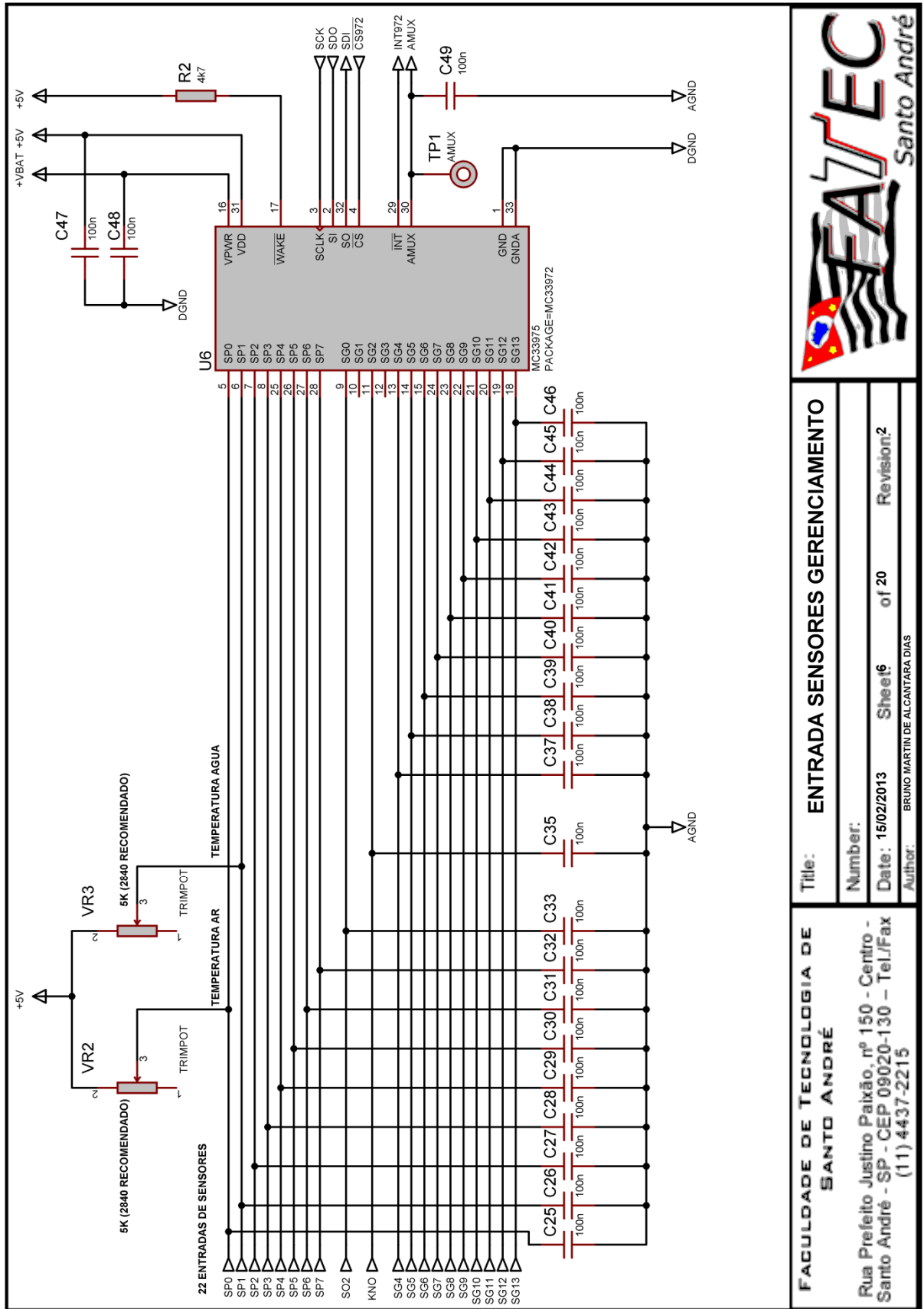


Figura 71 - Entrada dos sensores de gerenciamento (não utilizado) [DIAS, 2013].



Title: ENTRADA SENSORES GERENCIAMENTO

Number:

Date: 15/02/2013

Author: BRUNO MARTIN DE ALCANTARA DIAS

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE
SANTO ANDRÉ

Rua Prefeito Justino Paixão, nº 150 - Centro -
Santo André - SP - CEP 09020-130 - Tel./Fax
(11) 4437-2215

Sheet 6

Revision: 2

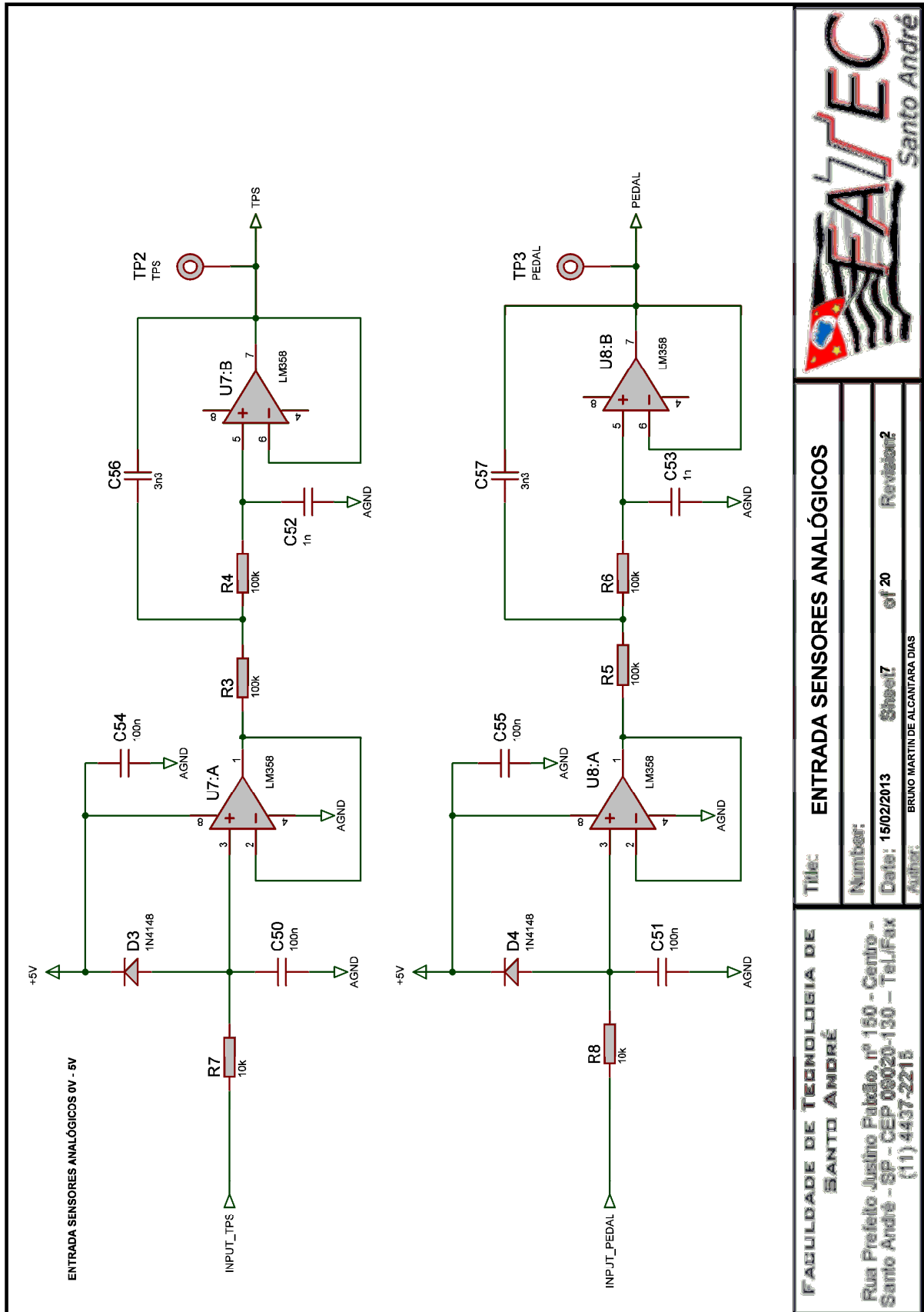


Figura 72 - Entrada sensores analógicos [DIAS, 2013].

<p>FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SANTO ANDRÉ Rua Prefeito Justino Pabão, nº 150 - Centro - Santo André - SP - CEP 09020-130 - Tel/Fax (11) 4437-2215</p>	<p>Título: ENTRADA SENSORES ANALÓGICOS</p>
	<p>Number:</p>
	<p>Date: 15/02/2013 Sheet: 7 of 20 Revision: 2</p>
	<p>Author: BRUNO MARTIN DE ALCANTARA DIAS</p>



Santo André

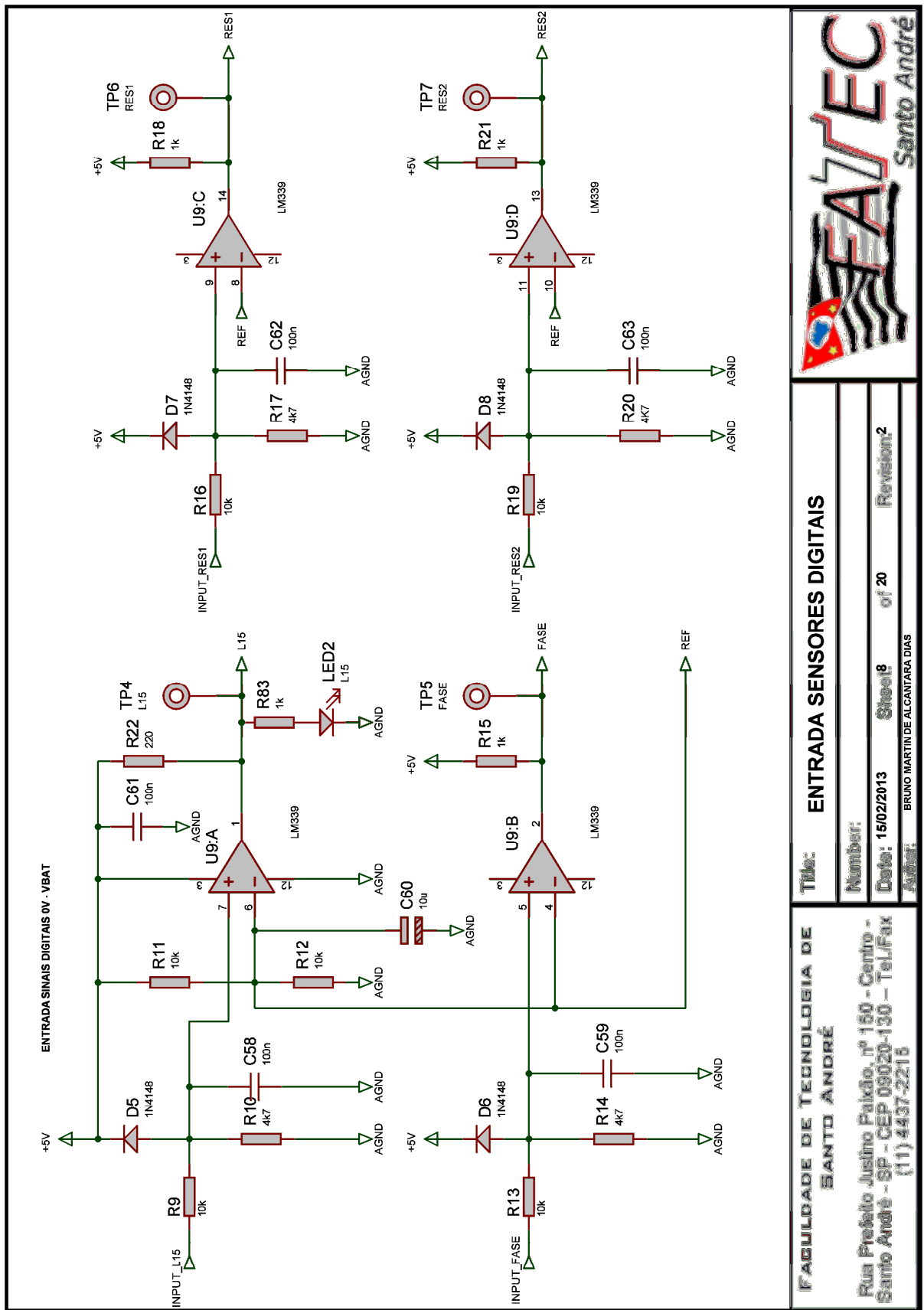


Figura 73 - Entrada sensores digitais [DIAS, 2013].

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SANTO ANDRÉ		ENTRADA SENSORES DIGITAIS	
Rua Prefeito Justino Pação, nº 150 - Centro - Santo André - SP - CEP 09020-130 - Tel/Fax (11) 4437-2215		Number: _____	
BRUNO MARTIN DE ALCANTARA DIAS		Date: 15/02/2013	
Sheet 8		Revision: 2	
of 20		Santo André	
FEATEC		Santo André	

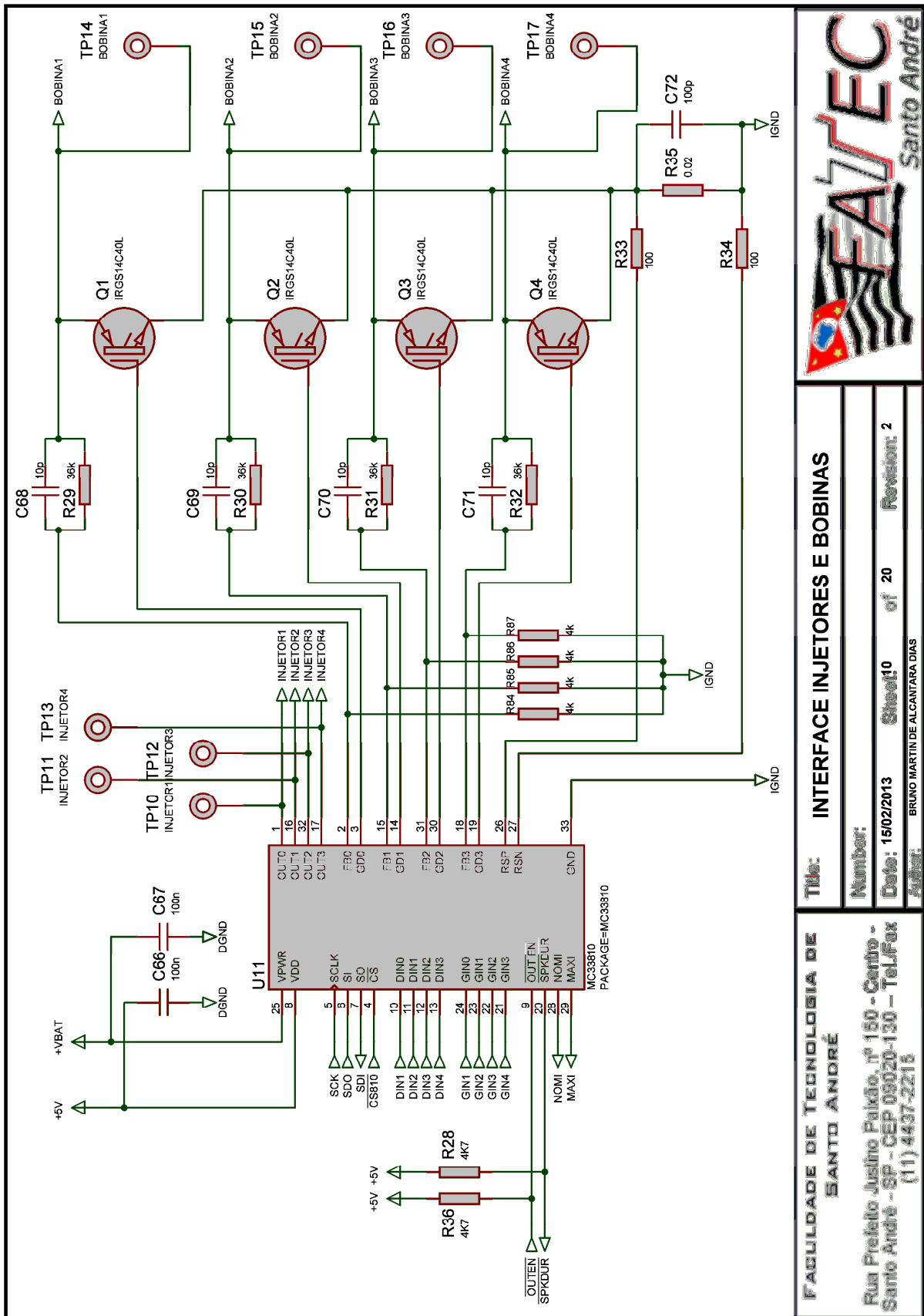


Figura 75 - Interface injetores e bobinas [DIAS, 2013].

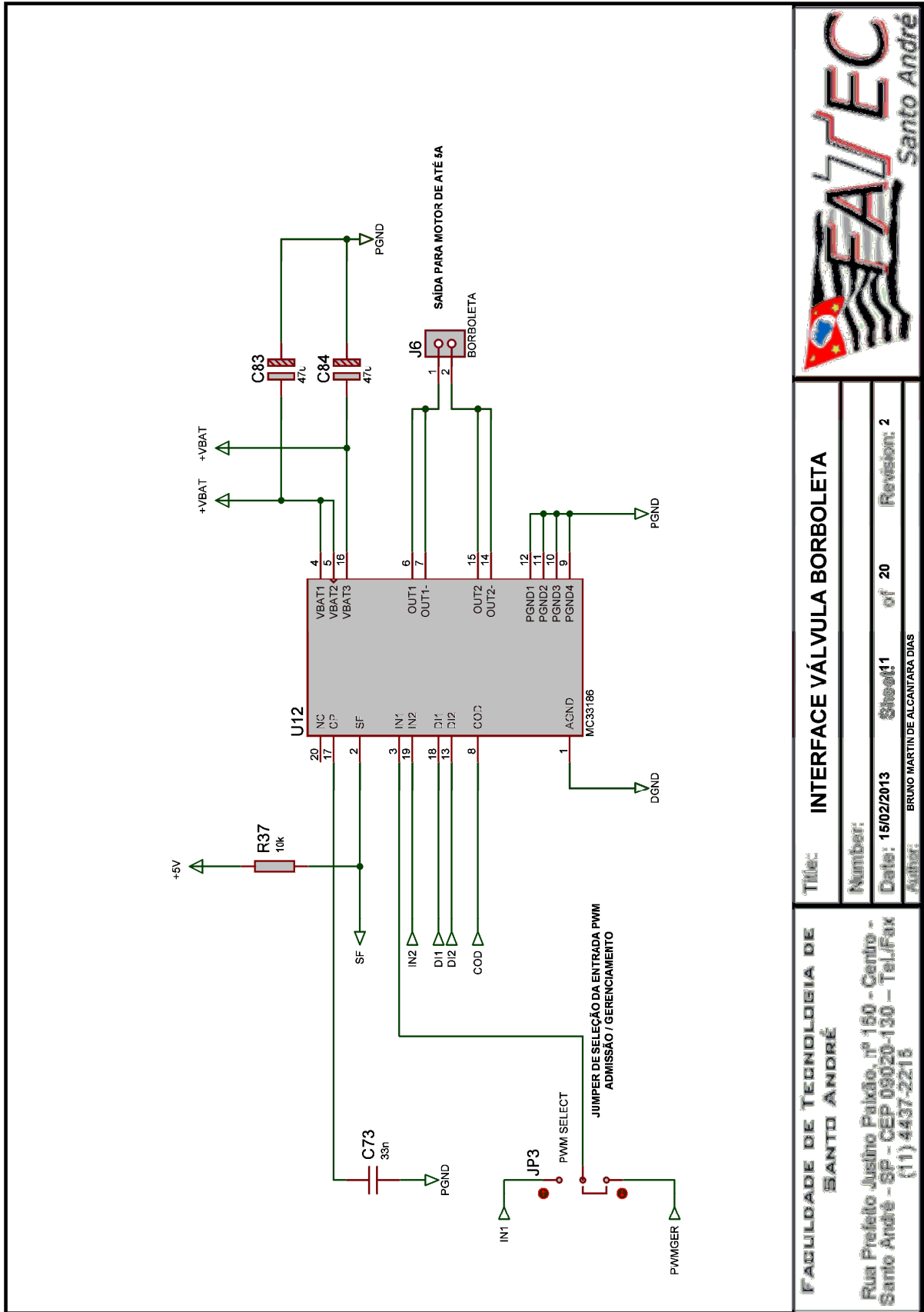


Figura 76 - Interface válvula borboleta [DIAS, 2013].



Título: INTERFACE VÁLVULA BORBOLETA		
Number:		
Date: 15/02/2013	Sheet: 11	of 20
Revision: 2		
Author: BRUNO MARTIN DE ALCANTARA DIAS		

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SANTO ANDRÉ
 Rua Prefeito Justino Paixão, nº 160 - Centro - Santo André - SP - CEP 09020-130 - Tel./Fax (11) 4437-2216

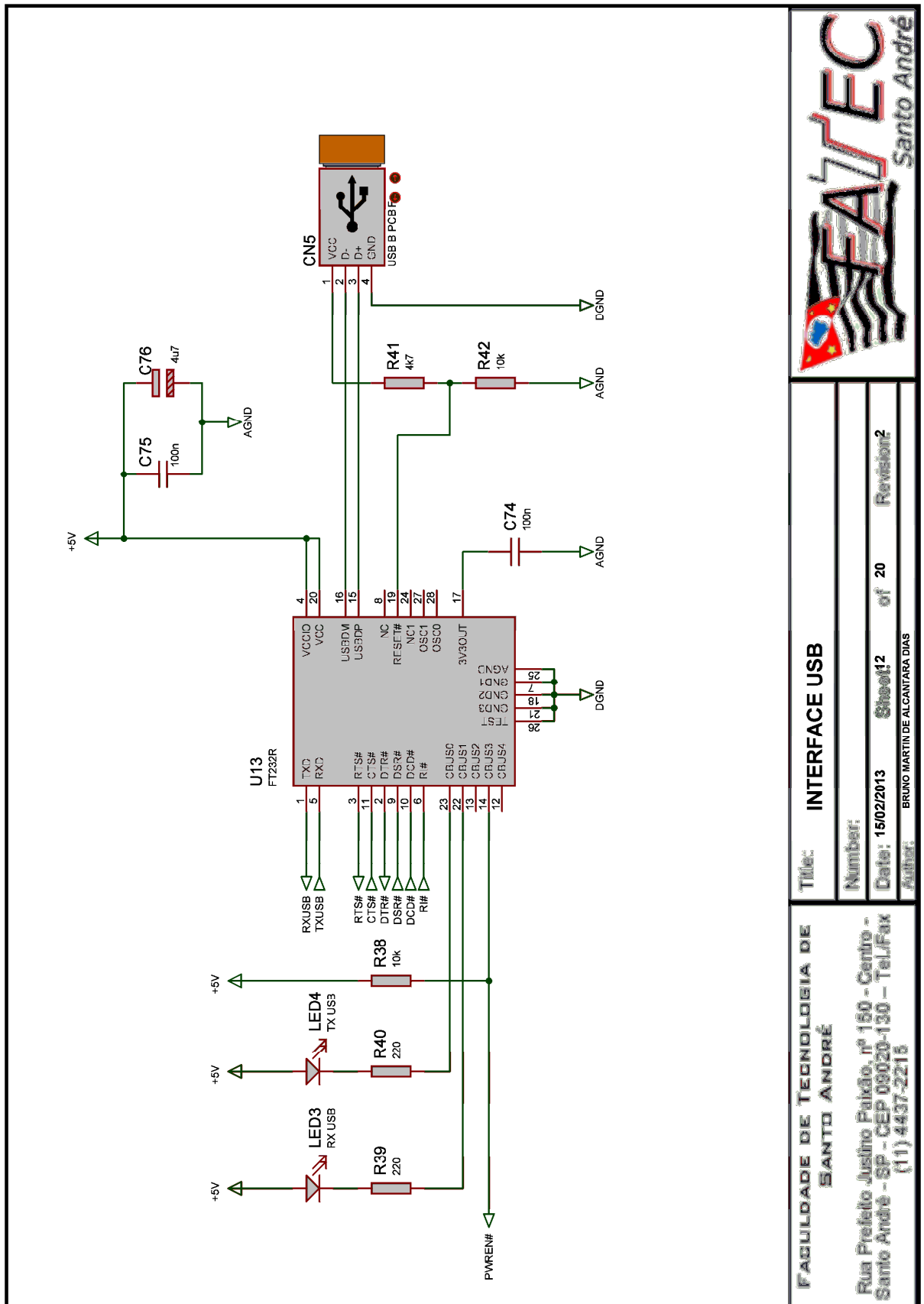


Figura 77 - Interface USB [DIAS, 2013].

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SANTO ANDRÉ Rua Prefeito Justino Patão, nº 150 - Centro - Santo André - SP - CEP 09020-130 - Tel/Fax (11) 4437-2215		FEATEC Santo André	
Title: INTERFACE USB			
Number:			
Date: 15/02/2013		Sheet 12 of 20	
Author: BRUNO MARTINI DE ALCANTARA DIAS		Revision: 2	

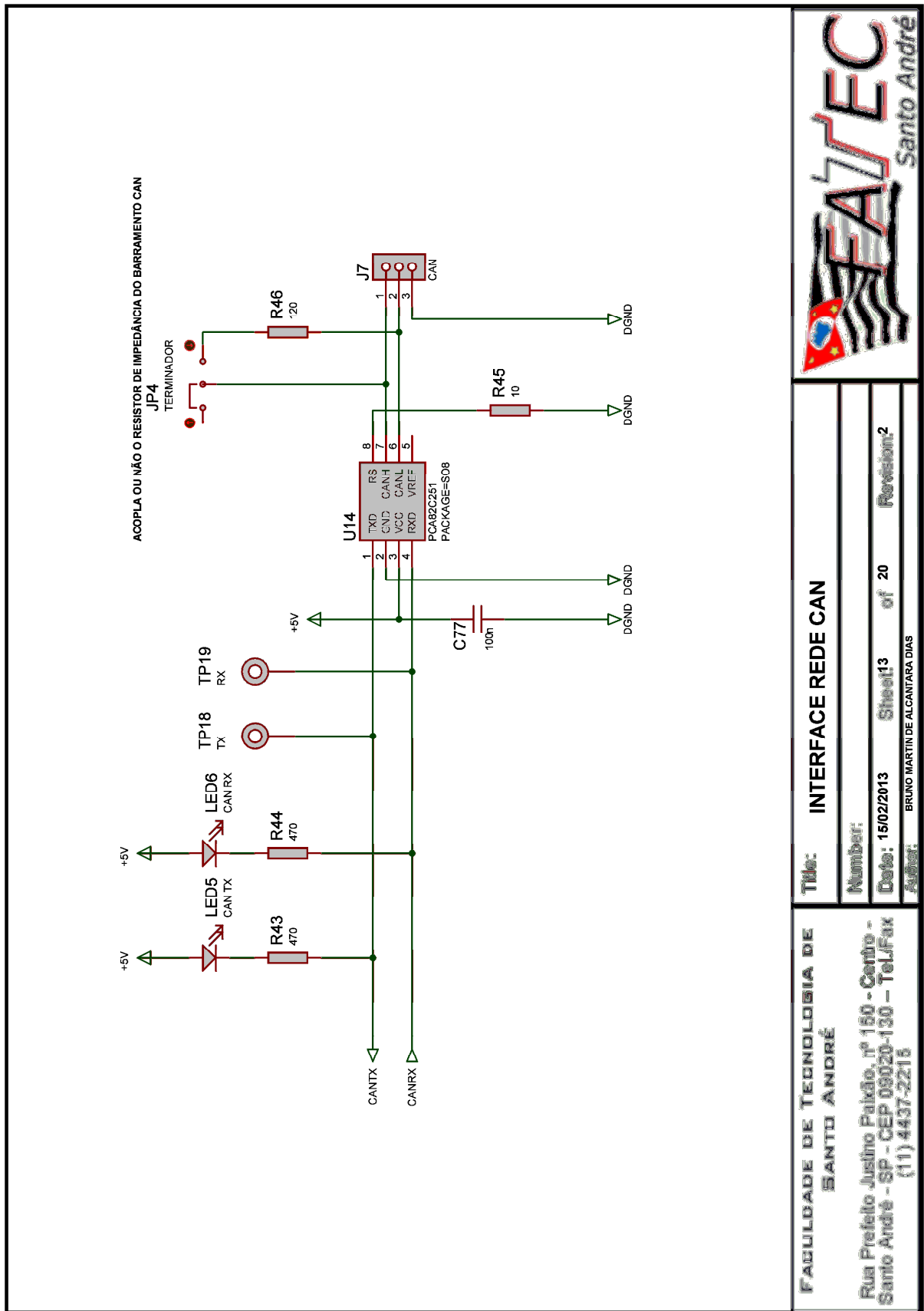
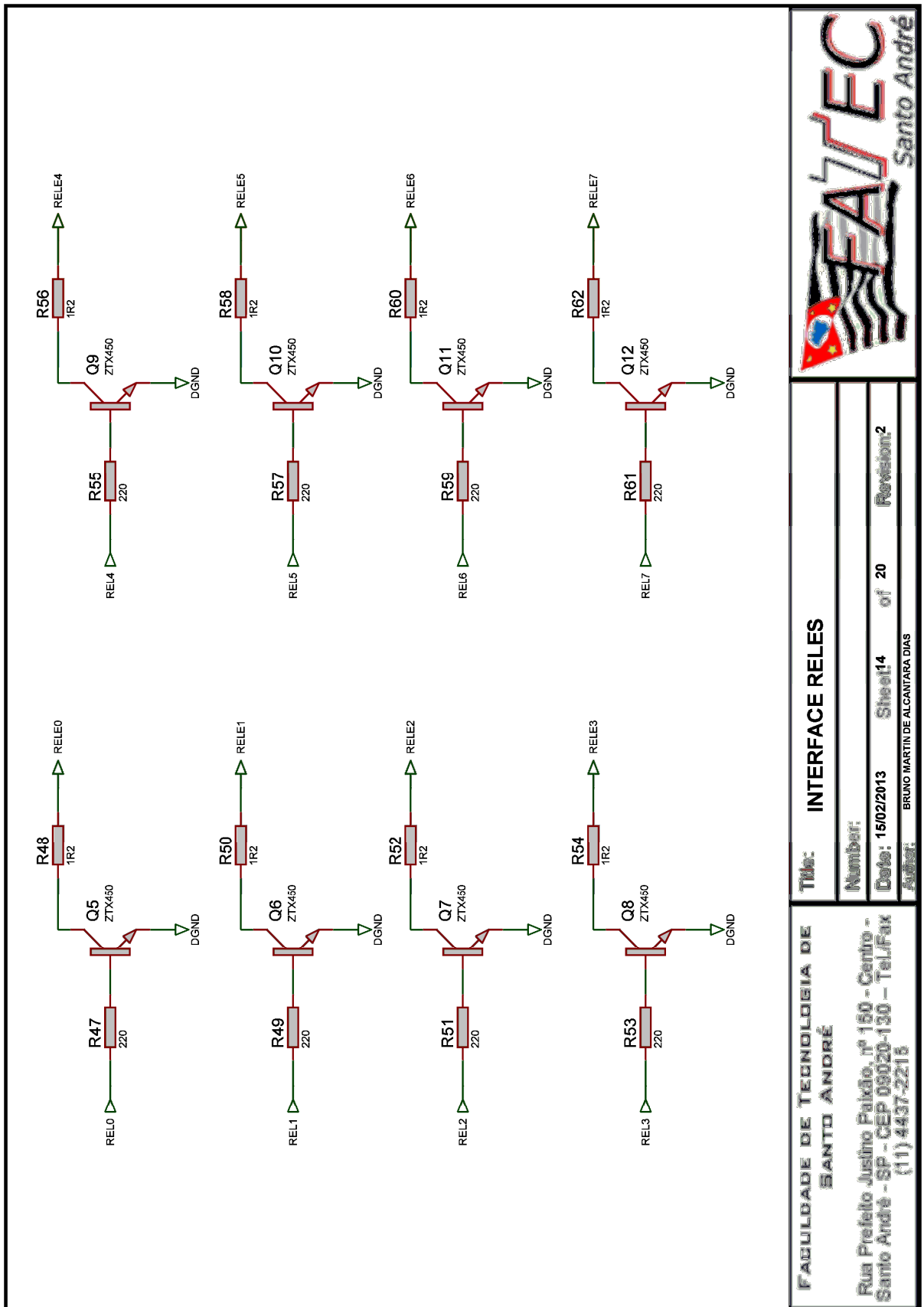


Figura 78 - Interface rede CAN [DIAS, 2013].



FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SANTO ANDRÉ Rua Prefeito Justino Paixão, nº 160 - Centro - Santo André - SP - CEP 09020-130 - Tel./Fax (11) 4437-2218	FEATEC Santo André		
	Título: INTERFACE RELES		
	Number:		
	Date: 15/02/2013 Sheet 14 of 20 Revision: 2 Author: BRUNO MARTIN DE ALCANTARA DIAS		

Figura 79 - Interface relés [DIAS, 2013].

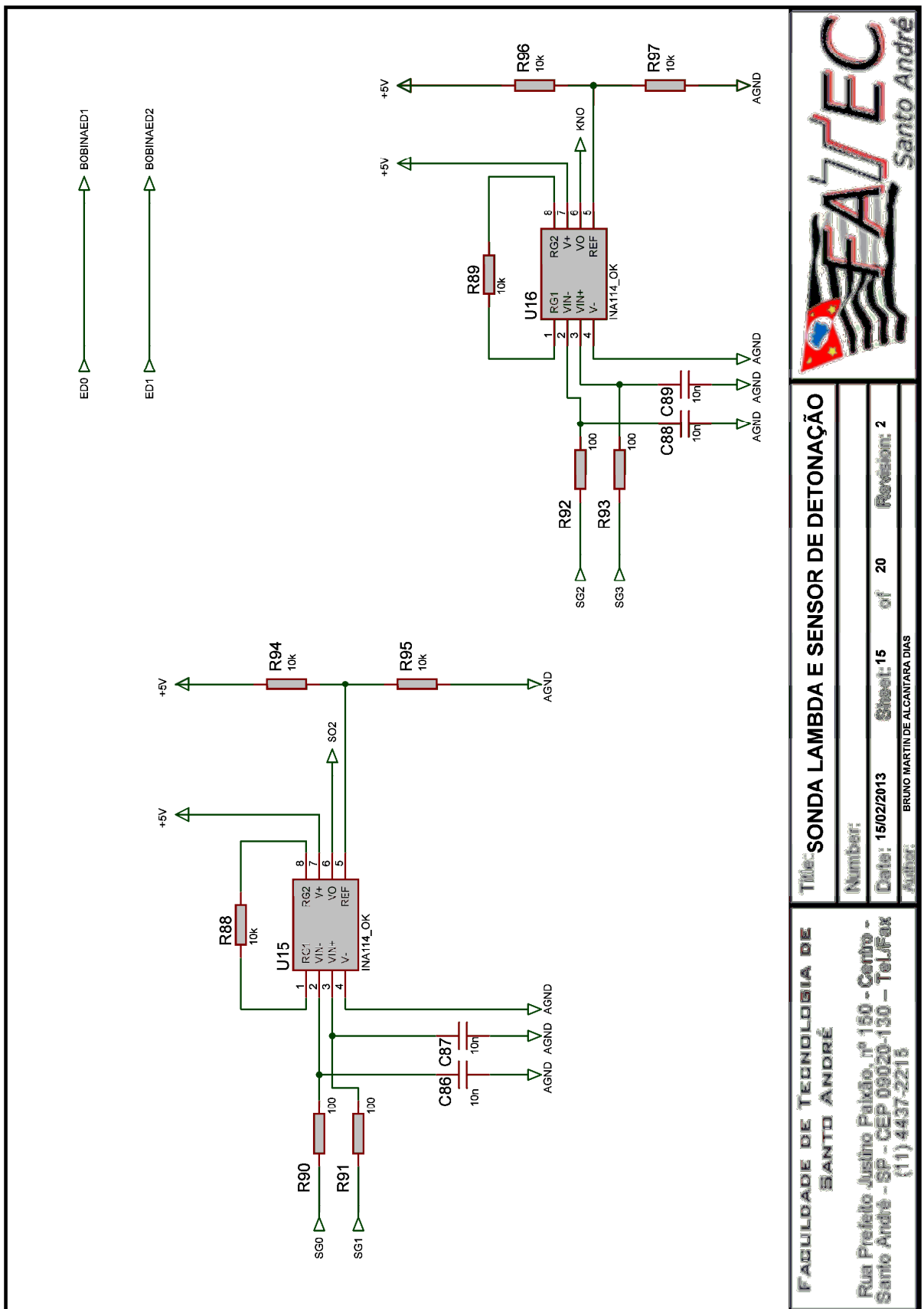


Figura 80 - Circuitos condicionadores sonda lambda e sensor de detonação [DIAS, 2013].

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SANTO ANDRÉ
 Rua Prefeito Justino Paixão, nº 160 - Centro - Santo André - SP - CEP 09020-130 - Tel/Fax (11) 4437-2216

FEATEC
 Santo André

Título: SONDA LAMBDA E SENSOR DE DETONAÇÃO	
Number:	Revision: 2
Date: 15/02/2013	Sheet: 15 of 20
Author: BRUNO MARTINI DE ALCANTARA DIAS	

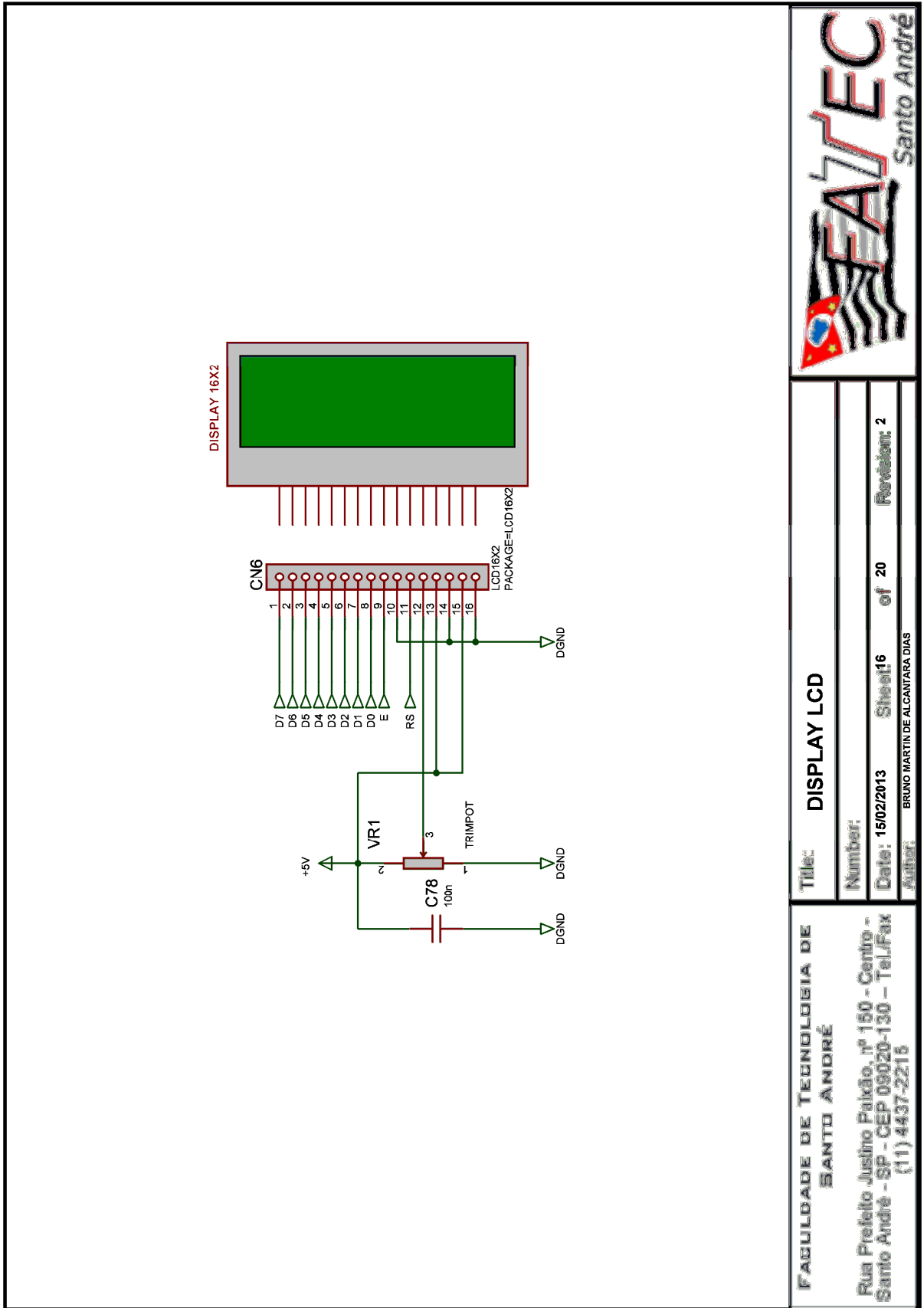


Figura 81 - Display LCD [DIAS, 2013].

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SANTO ANDRÉ Rua Prefeito Justino Paixão, nº 150 - Centro - Santo André - SP - CEP 09020-130 - Tel./Fax (11) 4437-2215	DISPLAY LCD		 Santo André	
	Título:			
	Número:			
	Data: 15/02/2013			Sheet: 16 of 20
Autor:		BRUNO MARTIN DE ALCANTARA DIAS		
Revisão:		2		

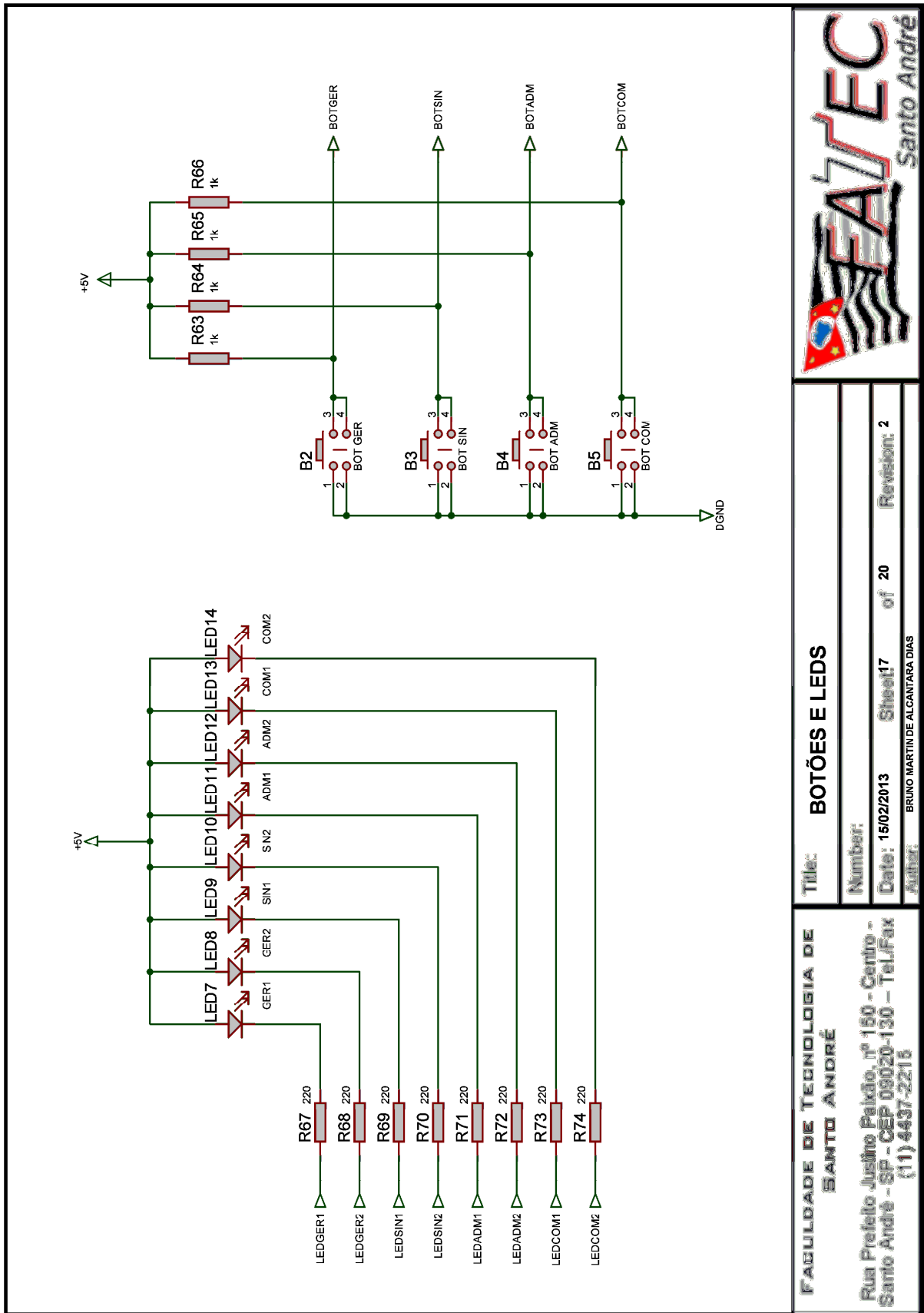


Figura 82 - Botões e LED's [DIAS, 2013].

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SANTO ANDRÉ Rua Prefeito Justino Paixão, nº 160 - Centro - Santo André - SP - CEP 09020-130 - Tel./Fax (11) 4437-2215		Título: BOTÕES E LEDS	
		Número:	Revisão: 2
Date: 15/02/2013		Sheet: 17	of: 20
Author: BRUNO MARTIN DE ALCANTARA DIAS			

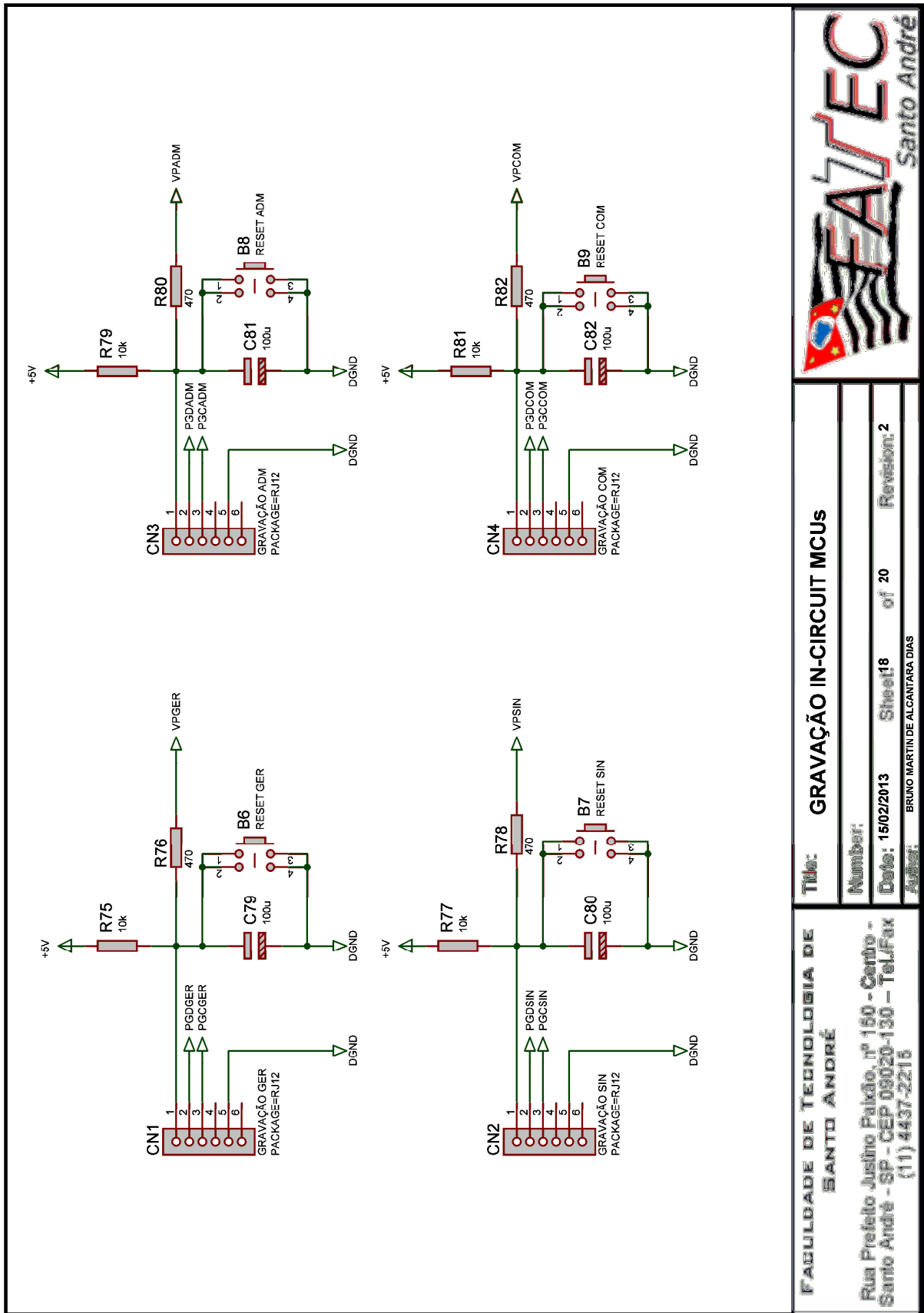


Figura 83 - Gravação In-circuit MCUs [DIAS, 2013].



Título: GRAVAÇÃO IN-CIRCUIT MCUs	
Number:	
Data: 15/02/2013	Sheet: 18 of 20
Author: BRUNO MARTIN DE ALCANTARA DIAS	Revision: 2

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE
SANTO ANDRÉ
Rua Prefeito Justino Paixão, nº 160 - Centro -
Santo André - SP - CEP 09020-130 - Tel./Fax
(11) 4437-2215

Apêndice B - Firmware

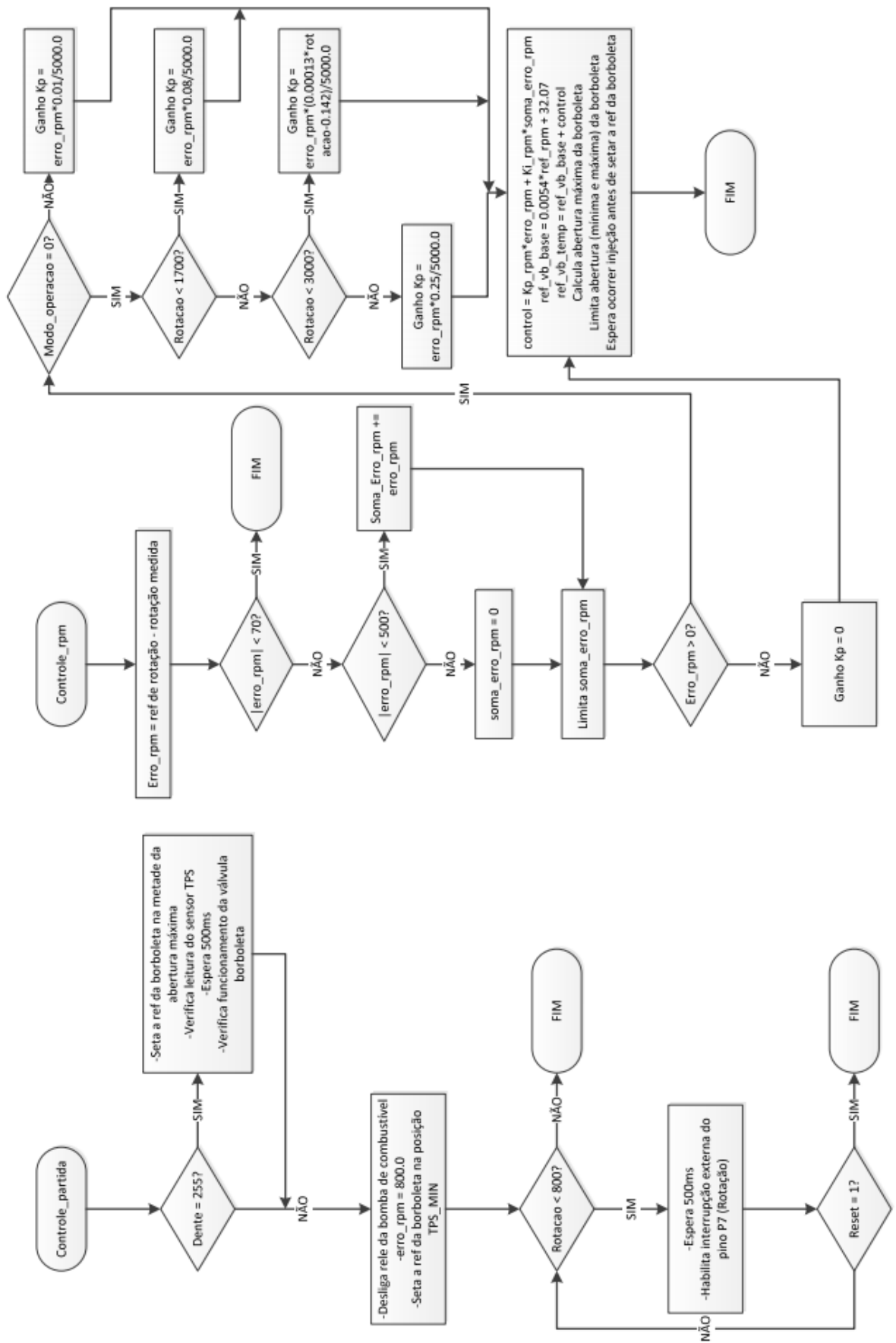


Figura 84 - Fluxograma do firmware implementado no uC de Gerenciamento [PEREIRA, 2013].

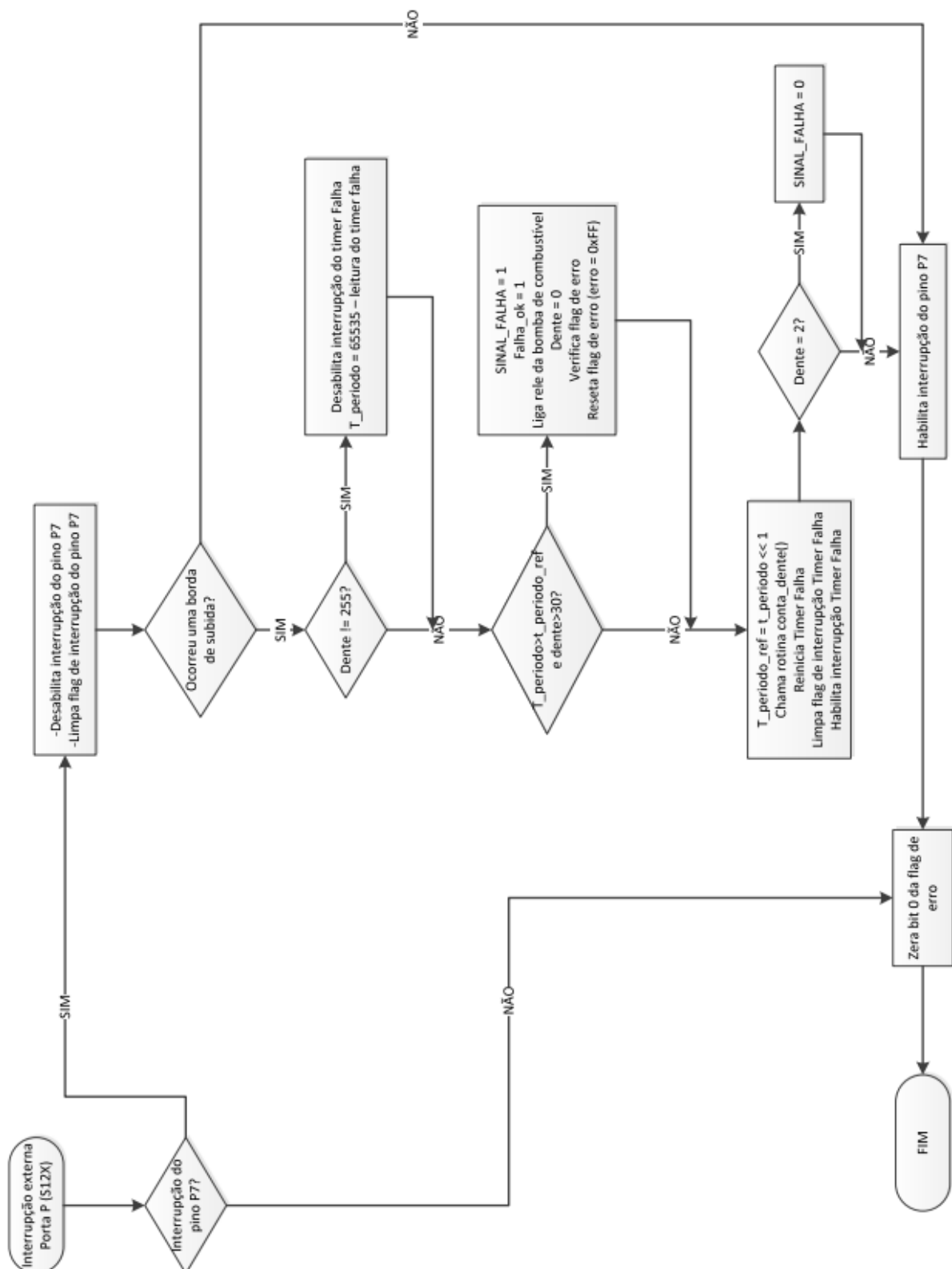


Figura 85 - Fluxograma do firmware implementado no uC de Gerenciamento [PEREIRA, 2013].

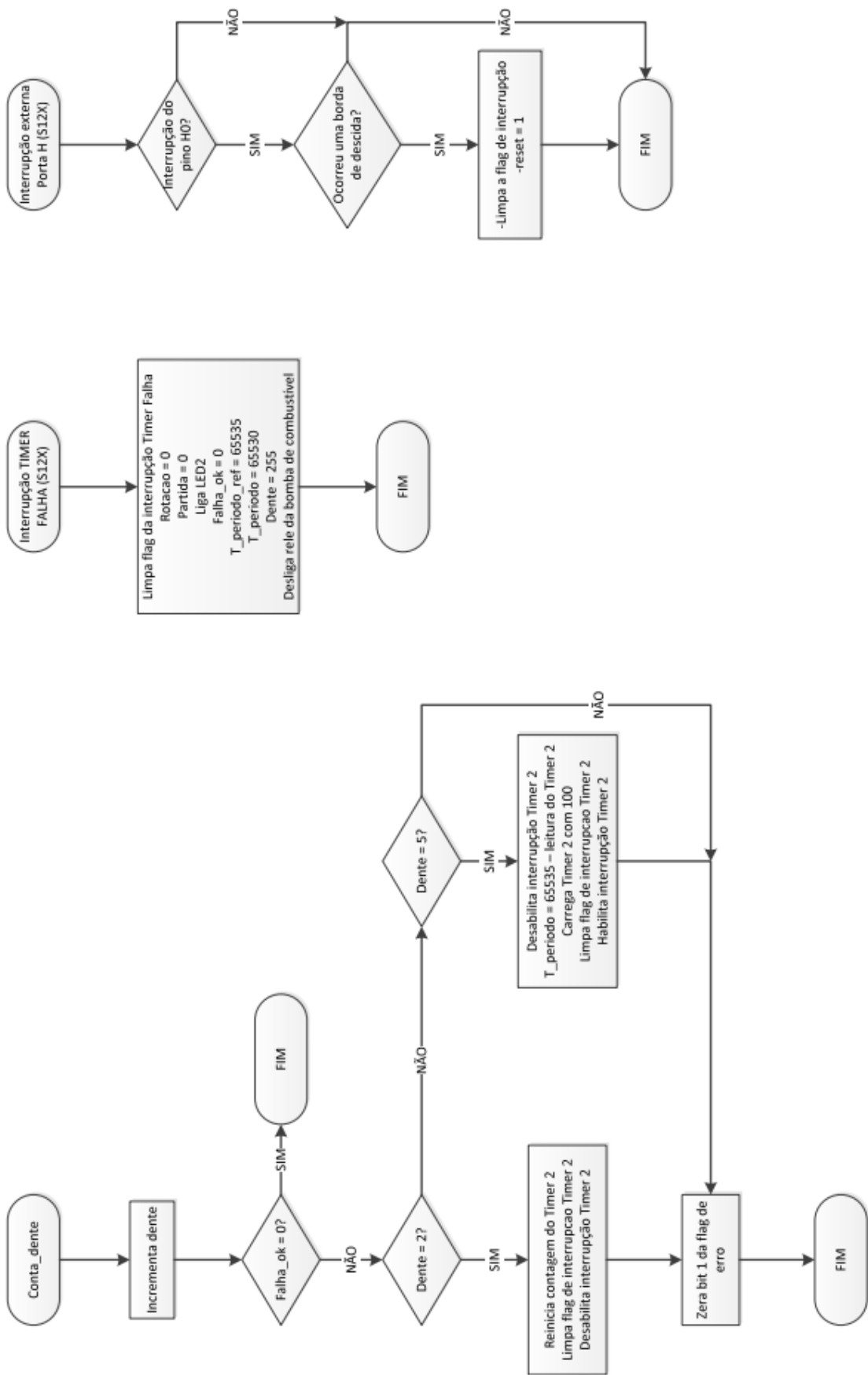


Figura 86 - Fluxograma do firmware implementado no uC de Gerenciamento [PEREIRA, 2013].

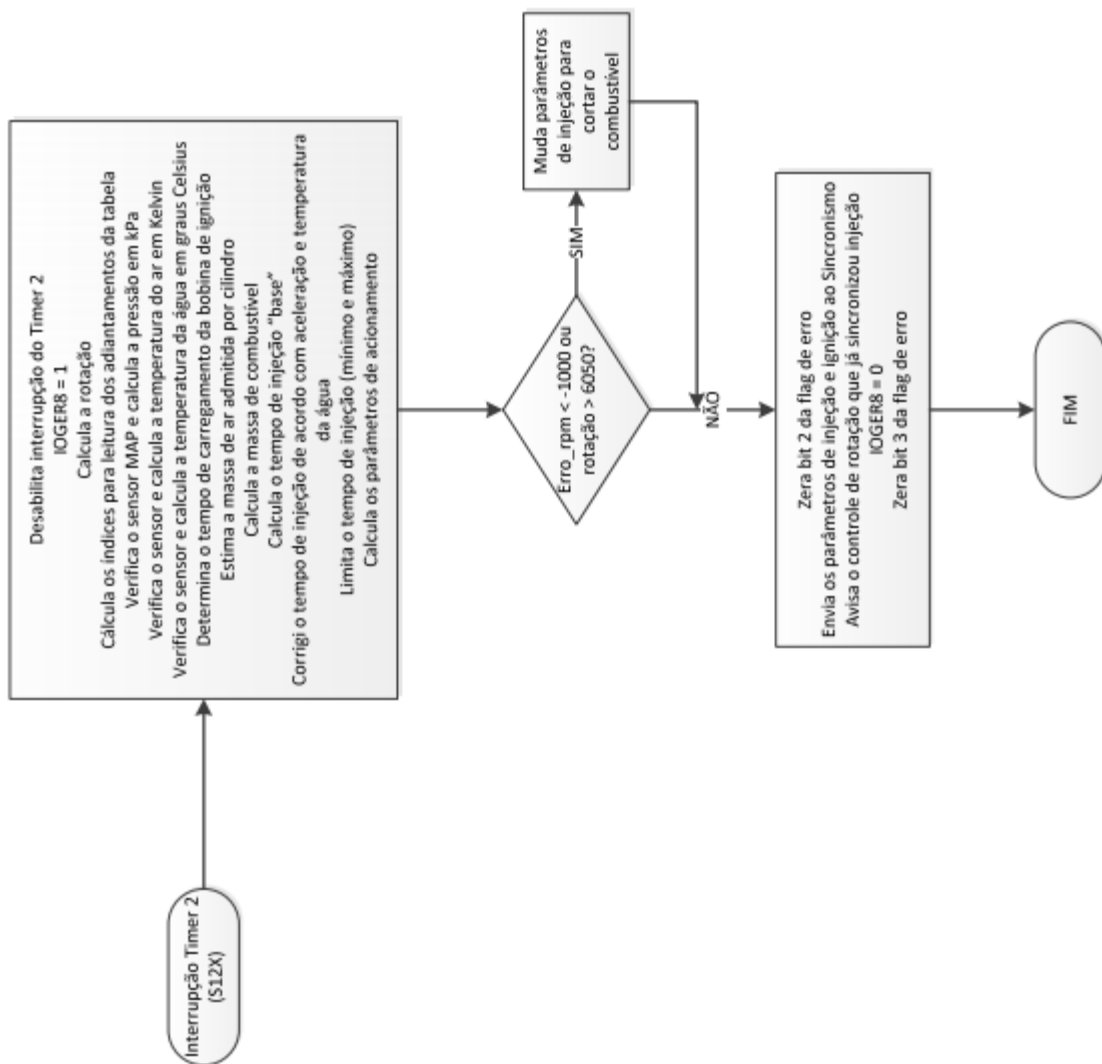


Figura 87 - Fluxograma do firmware implementado no uC de Gerenciamento [PEREIRA, 2013].

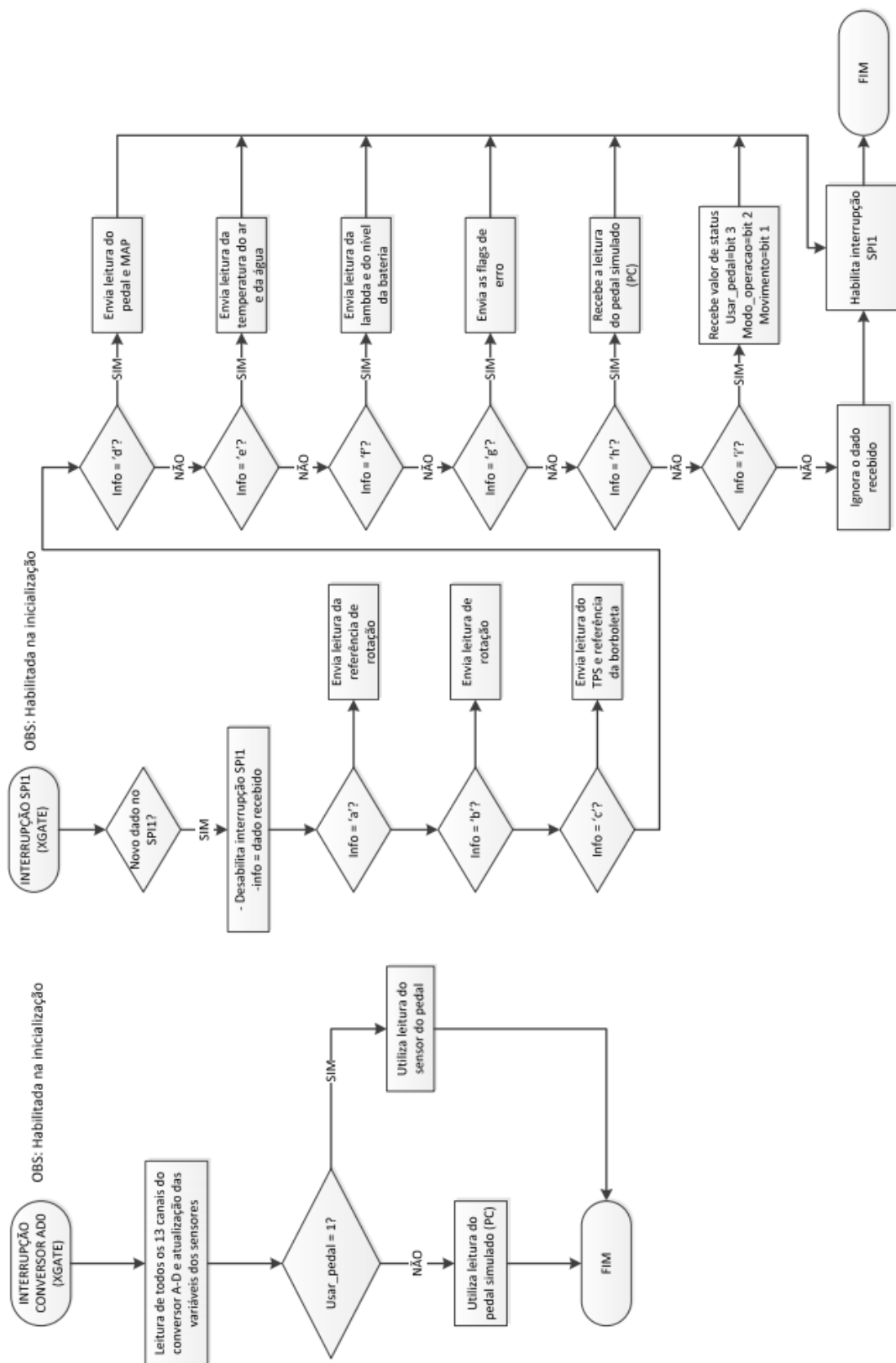


Figura 88 - Fluxograma do firmware implementado no uC de Gerenciamento [PEREIRA, 2013].

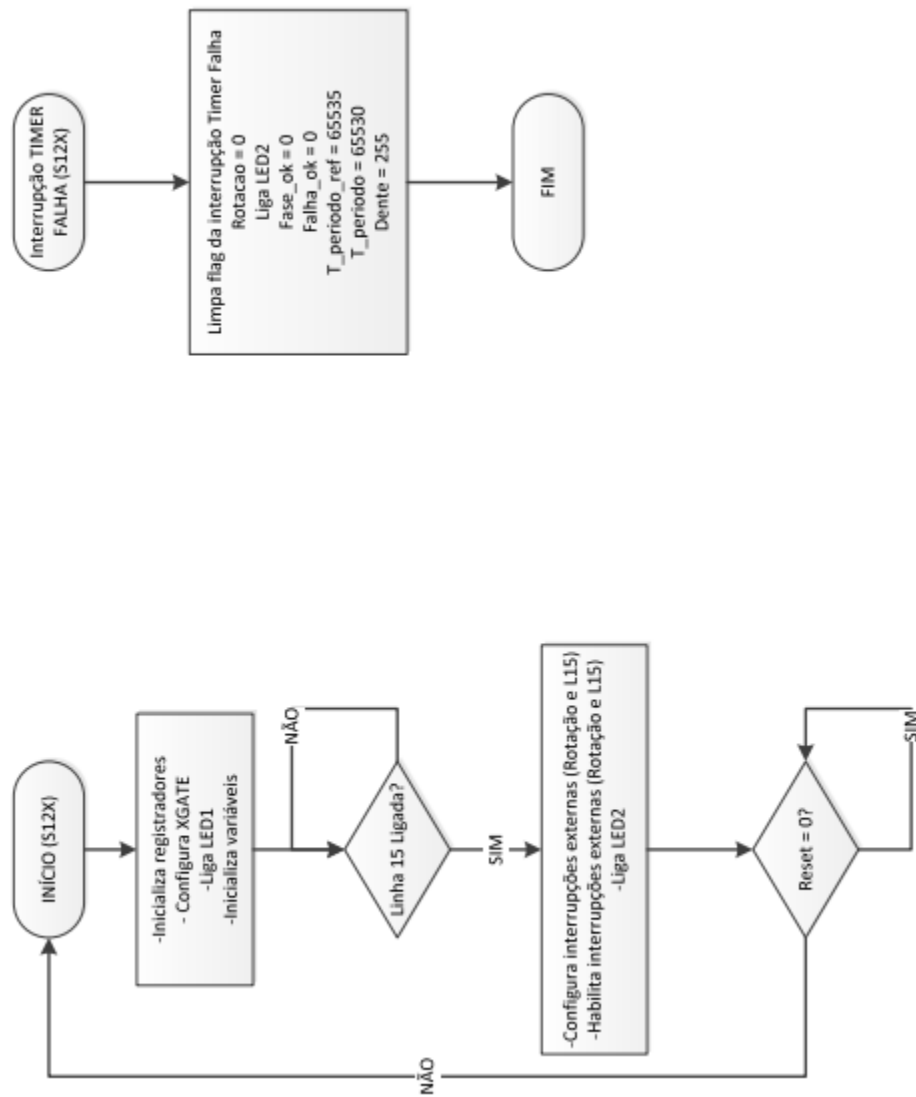


Figura 90 - Fluxograma do firmware implementado no uC de Sincronismo [PEREIRA, 2013].

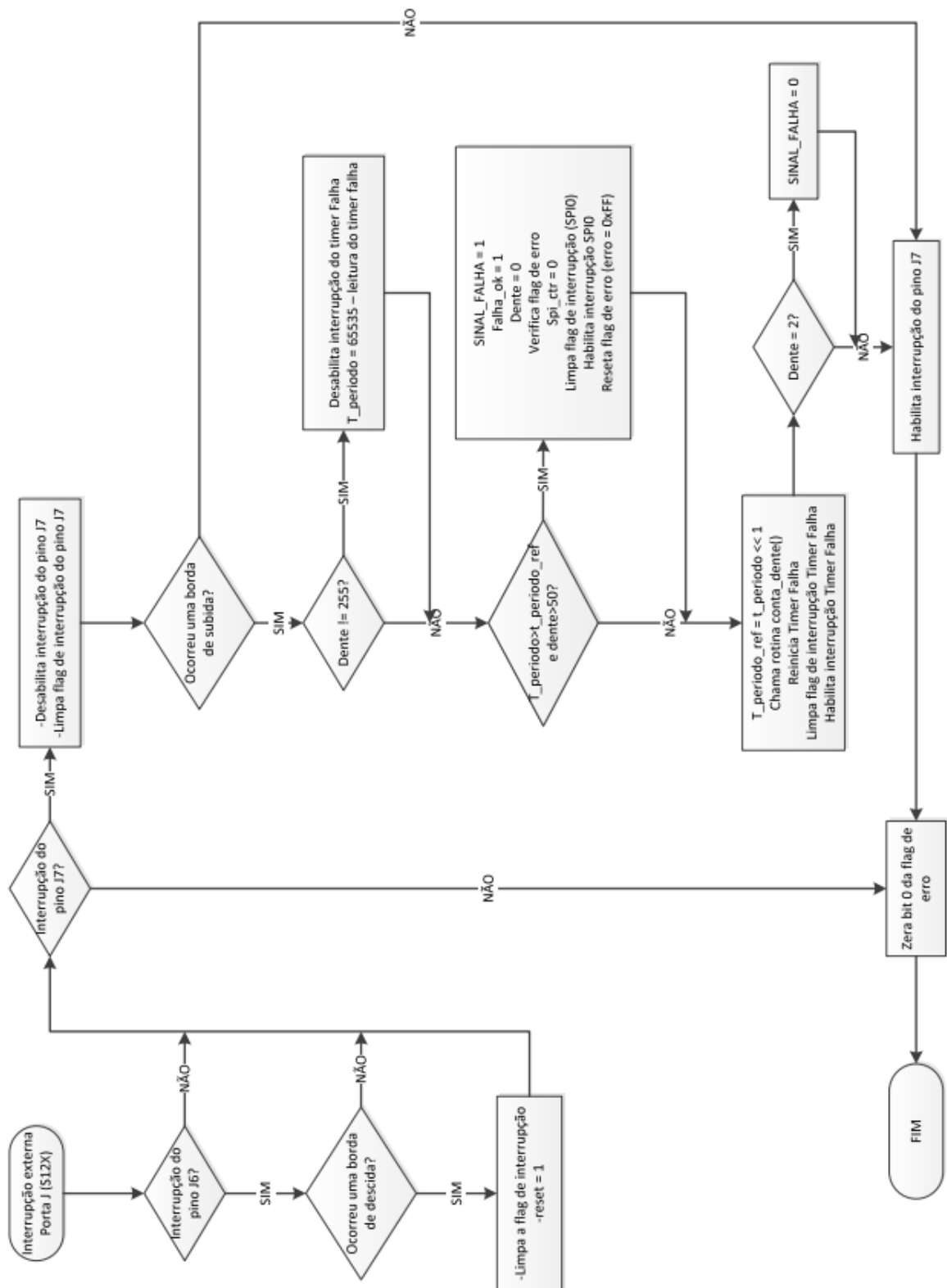


Figura 91 - Fluxograma do firmware implementado no uC de Sincronismo [PEREIRA, 2013].

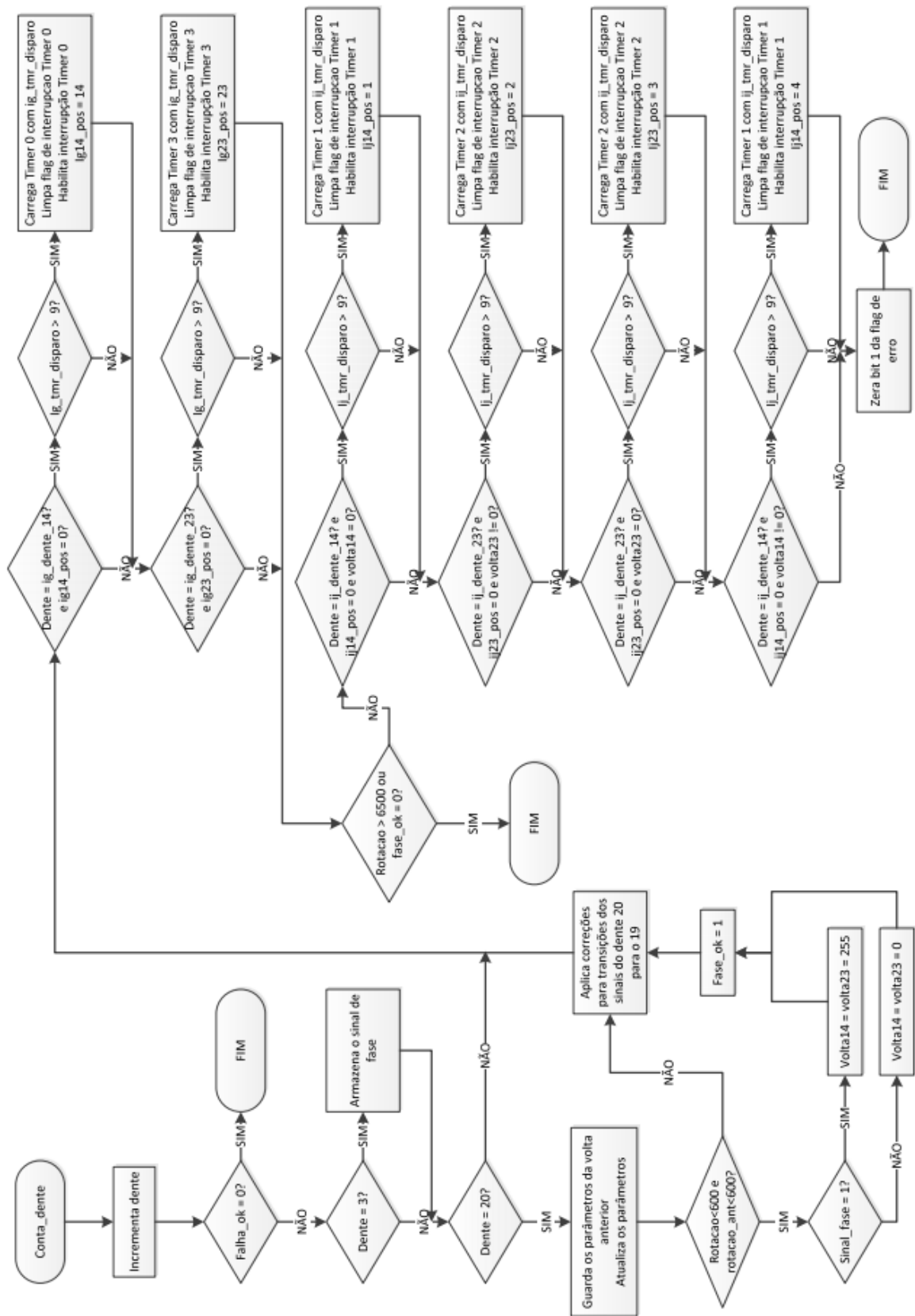


Figura 92 - Fluxograma do firmware implementado no uC de Sincronismo [PEREIRA, 2013].

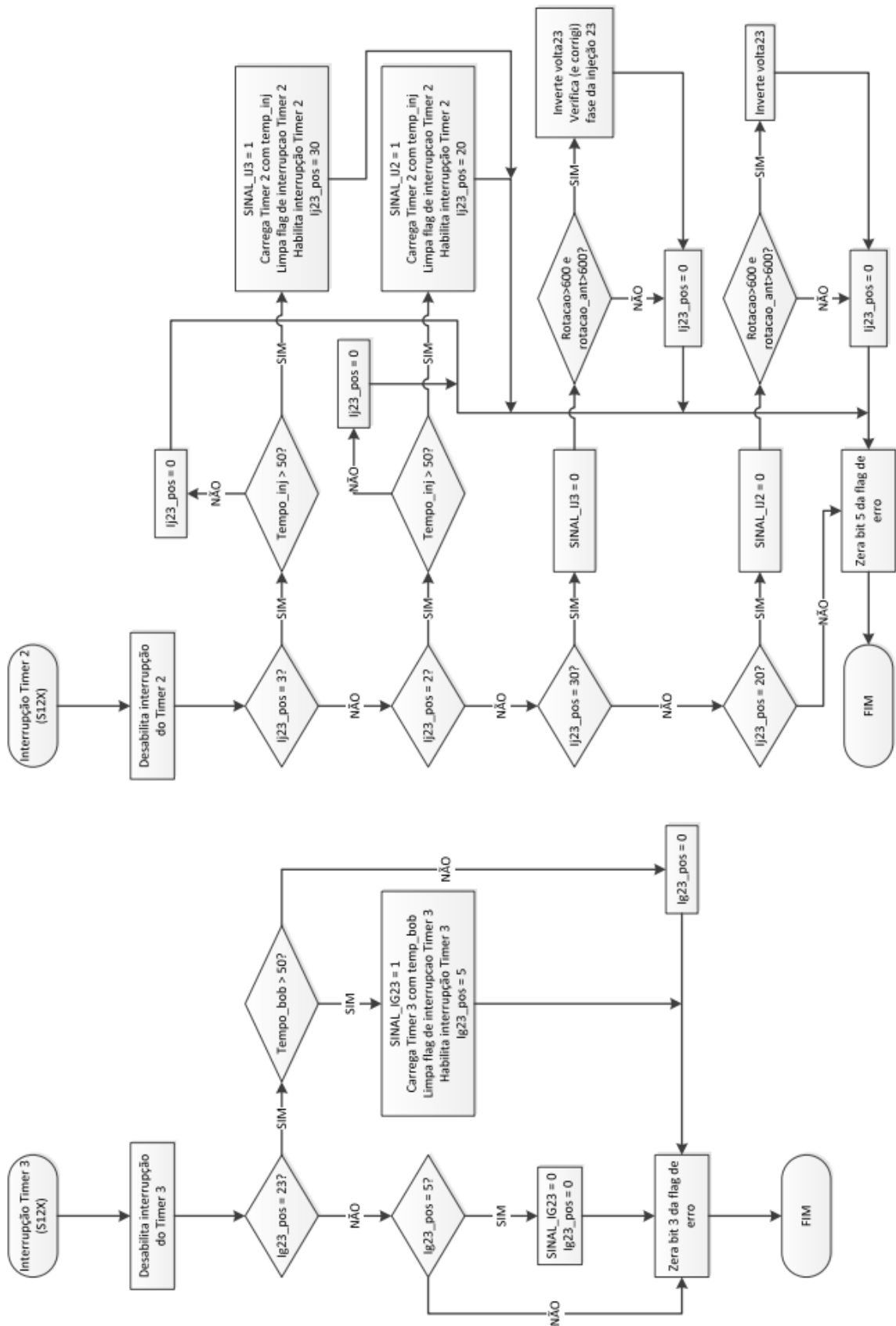


Figura 94 - Fluxograma do firmware implementado no uC de Sincronismo [PEREIRA, 2013].

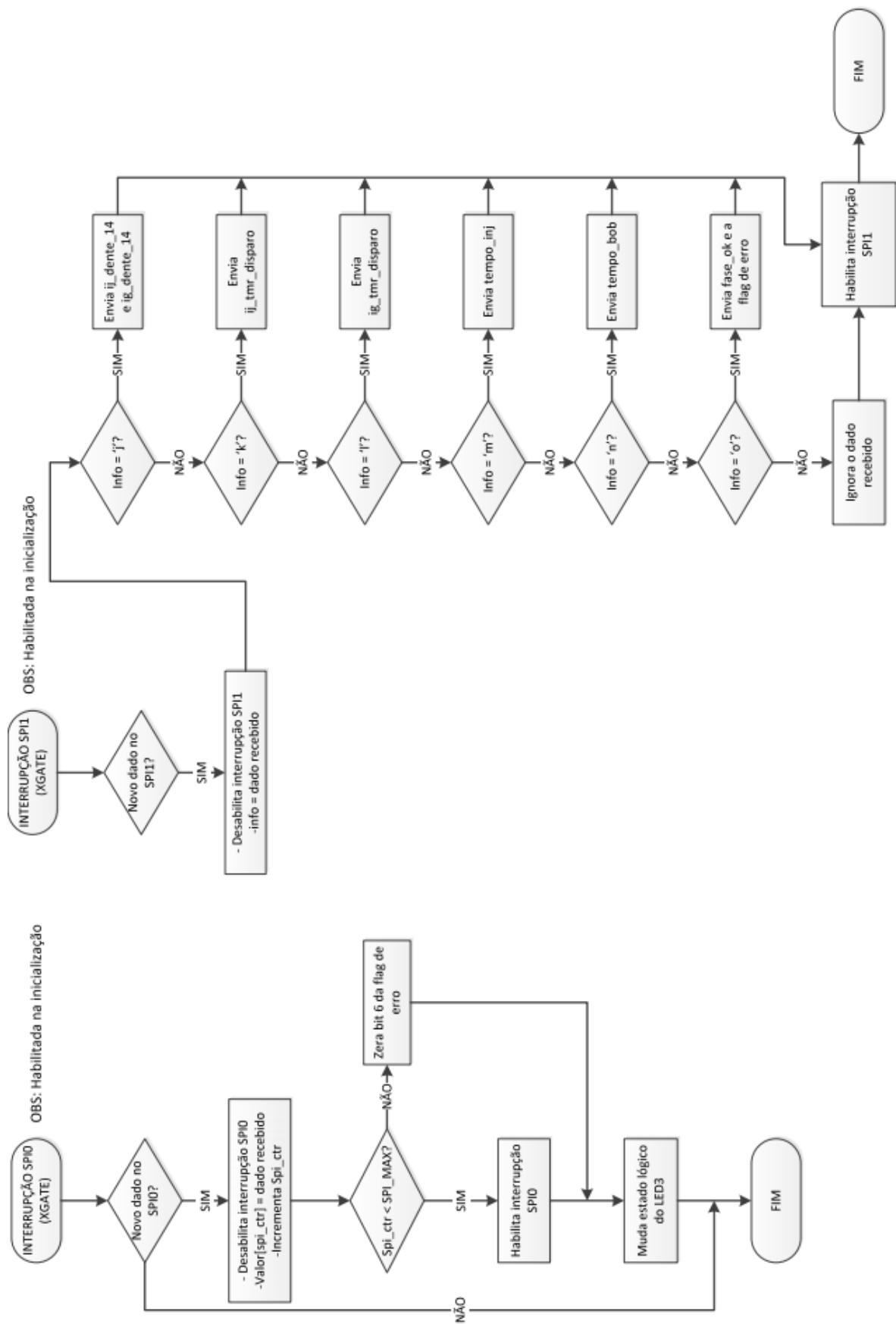


Figura 95 - Fluxograma do firmware implementado no uC de Sincronismo [PEREIRA, 2013].

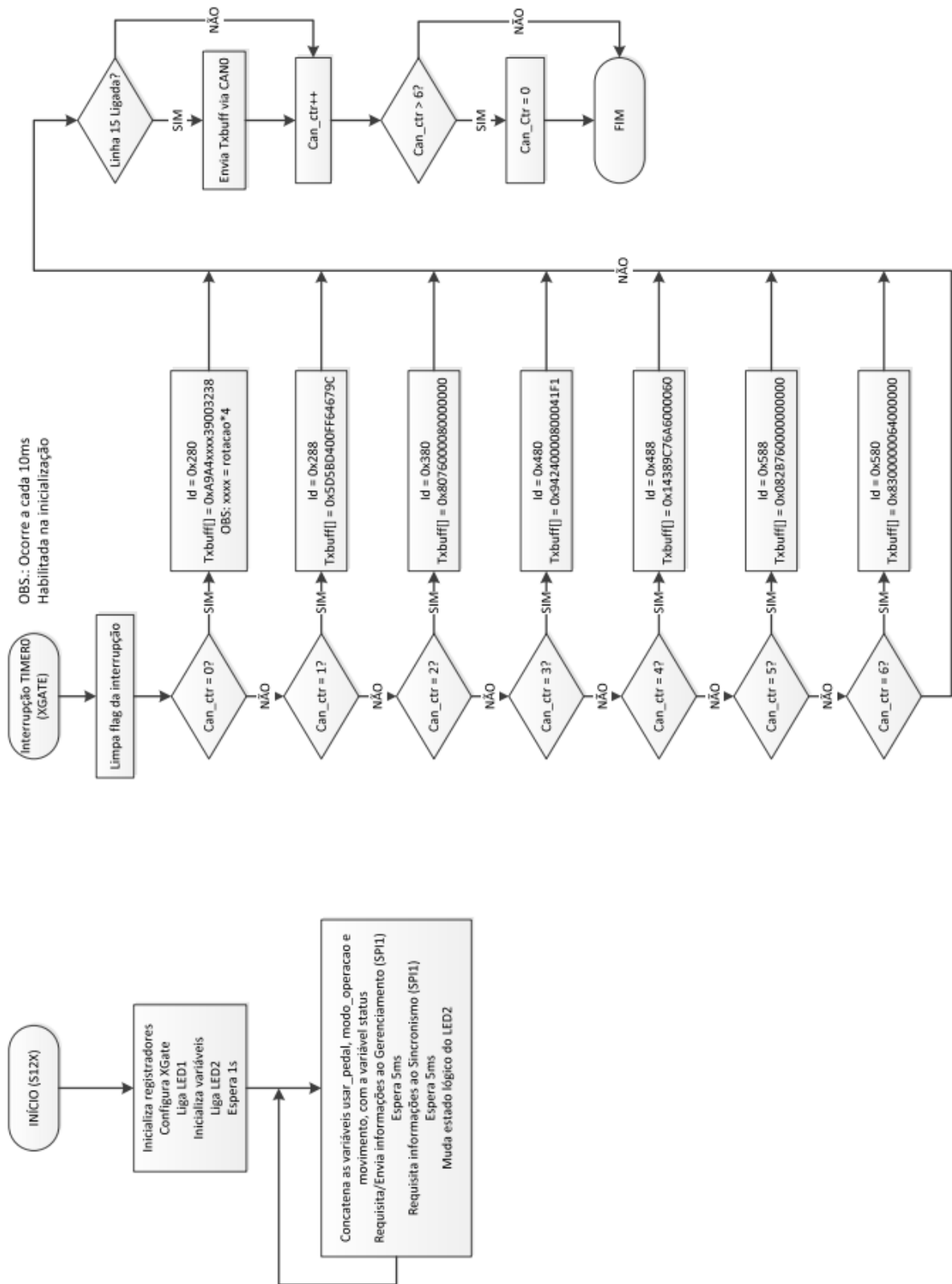


Figura 96 - Fluxograma do firmware implementado no uC de Comunicação [PEREIRA, 2013].

