

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

ALBINO SERGIO DE SOUZA

SIMULADOR DE SINAIS DE SENSORES PARA
TESTAR ECUS EEC-IV

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

ALBINO SERGIO DE SOUZA

**SIMULADOR DE SINAIS DE SENSORES PARA
TESTAR ECUS EEC-IV**

Monografia apresentada ao Curso Superior
de Tecnologia em Eletrônica Automotiva
da FATEC Santo André, como requisito
parcial obtenção do título de Tecnólogo em
Eletrônica Automotiva.

Orientador: Prof. Dr. Edson Caoru Kitan

Santo André – São Paulo
2013

Faculdade de Tecnologia de Santo André

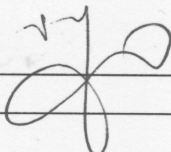
LISTA DE PRESENÇA
SANTO ANDRÉ, 06 DE JULHO DE 2013.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO TRABALHO DE
CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA "SIMULADOR DE SINAIS DE
SENSORES PARA TESTAR ECU'S EEC – IV" DOS ALUNOS DO 6º
SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

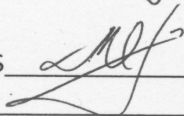
PRESIDENTE:

PROF.DR. EDSON CAORU KITANI

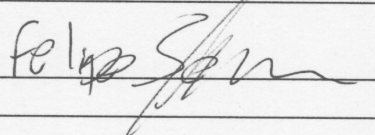


MEMBROS:

PROF. MARCO AURÉLIO FRÓES

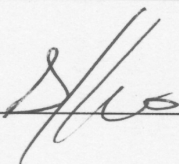


TECNÓLOGO FELIPE SERAFIM ALBALADEJO



ALUNOS:

ALBINO SERGIO DE SOUZA



Dedico este trabalho a minha família e aos
meus amigos que sempre estiveram próximos
durante esta jornada

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família que ajudar a suportar todo esse caminho percorrido e a minha esposa Wilma, pela sua dedicação e paciência. Sem ela, nada disso seria possível.

Agradeço ao Prof. Edson Caoru Kitani, orientador deste trabalho que orientou e incentivou este trabalho.

Ao Prof. Wagner Massarope pelo incentivo e tenacidade. Ao meu amigo Francisco Varela pelo incentivo e ajuda.

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

*“O que é real ?
Como você define o real ?
Se você está falando do que consegui sentir...
Do que pode cheirar, provar, ver ...
Então real são simplesmente sinais elétricos
interpretados pelo seu cérebro.”*

Morpheus
Matrix

*“A perfeição não é alcançada quando já não
há mais nada para adicionar, mas quando já
não há mais nada que se possa retirar.”*

Antoine de Saint-Exupéry

RESUMO

A simulação é um termo muito amplo e, basicamente, pode ser entendido como uma imitação de uma operação ou de um processo do mundo real e a condução de experimentos com a finalidade de entender o comportamento de um sistema ou avaliar a sua operação.

Este trabalho visa construir um simulador de sinais dos sensores de um motor de combustão com materiais de baixo custo e de fácil manipulação. Sua aplicação será de forma didática tanto na compreensão do funcionamento das unidades de controle eletrônico comerciais quanto em projetos educacionais.

Palavras chaves: Motor, Simulação de Sensores, ECU ECC-IV.

ABSTRACT

Simulation is a very broad term and can basically be understood as an imitation of an operation of a real-world process and conducting experiments with the purpose of understanding the behavior of a system or assessing your operation.

This work aims to build simulated sensor signals of a combustion engine with materials of low cost and easy handling. Your application will be didactically both in understanding the operation of the electronic control units in commercial and educational projects.

Keywords: Engine, Sensors Simulation, ECU ECC-IV.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- As quatro etapas do ciclo Otto (Adaptado de Wildner 2006).....	18
Figura 2 - Diagrama simplificado de um controle de motor combustão (Adaptado Ribbens, 1998).....	20
Figura 3 - O coeficiente de ar λ e a influencia na emissão de poluentes e torque do motor (Bosch, 2005).....	20
Figura 4 - Sensor de rotação tipo Relutância Magnética (Extraída de Bosch, 2005).....	22
Figura 5 - Princípio do efeito Hall (Extraído de Milhor, 2002).....	23
Figura 6 - Circuito básico usando sensor Hall (Adaptado Bonnick 2001).....	23
Figura 7 - Aplicação do sensor Hall num distribuidor veicular (Extraído de Bonnick, 2001).....	24
Figura 8- Sinal gerado pelo sensor de efeito Hall (Extraído Bonnick 2001).....	24
Figura 9 - O Princípio de funcionamento do sensor MAP tipo capacitivo (Extraído de Bonnick, 2001).....	24
Figura 10 - O Padrões de frequência para um sensor MAP em plena carga e sem carga (Extraído de Bonnick, 2001).....	25
Figura 11 - Curva da variação da resistência em função da temperatura de um termistor (Extraído de Bonnick, 2001).....	26
Figura 12 - Visão simplificada do sensor do corpo de borboleta adaptado (Extraído de Bonnick, 2001).....	27
Figura 13 - Sensor de oxigênio EGO de dióxido de zircônio (Extraído de Braga 2007).....	27
Figura 14 - Curvas características dos sensores de oxigênio EGO, UEGO e a concentração de oxigênio na exaustão (Extraído de Braga 2007).....	28
Figura 15 - Sinal de saída sensor EGO estequiométrico (Extraído de Braga 2007).....	29
Figura 16 - Vista em corte de uma válvula de injeção (Extraído de Bosch 2005).....	29
Figura 17 - Curva de resposta dos atuadores com em solenóides (Extraído de Denton, 2004).....	30
Figura 18 - Diagrama do sistema de alimentação de combustível (Extraído de Thomson, 2012).....	31
Figura 19 - Conector do chicote elétrico que conecta ECU ECC-IV os sensores e atuadores do Gol.....	32
Figura 20 - Painel de conexão.....	35
Figura 21 - Cabos de conexão entre ECU e o simulador.....	35
Figura 22 - Sensor de chave +30 e +15 e seus sinalizadores	36
Figura 23 - Figura 23 - Ligação do potenciômetro como sensor TPS e o mesmo montado no painel.....	37
Figura 24 - Circuito de simulação ACT e ECT.....	37
Figura 25 - Diagrama de bloco LM555 (FAIRCHILD, 2011).....	38
Figura 26 - Esquema circuito de um oscilador astável com LM555.....	38
Figura 27 - Fator de correção em malha fechada (Extraído de Ribbens, 1998).....	39
Figura 28 - Sinal gerado na saída de um simulador de sonda lâmbda fabricado pela Tury.....	40
Figura 29 - Esquema de um oscilador com frequência fixa ciclo de trabalho variável.....	40
Figura 30 - Esquema do simulador do sinal EGO.....	41
Figura 31 - Os simuladores dos atuadores.....	41
Figura 32 - Diagrama elétrico do modelo válvula injetora.....	42
Figura 33 - Diagrama eletrônico da fonte de alimentação ajustável para a ECU.....	43
Figura 34 - Diagrama de bloco do cronômetro.....	44

Figura 35 - Esquema eletrônica do contador de passos do motor de marcha lenta.....	45
Figura 36 - Circuito eletrônico do conversor DC – DC de 18V para 8,25V.....	46
Figura 37 - Confeção da placa de circuito impresso.....	46
Figura 38 - Vista frontal do Simulador de Sensores e Atuadores para ECUs-EEC-IV...	47
Figura 39 – Regimes de sincronização da abertura válvula injetora com sinal de rotação (PIP).....	48
Figura 40 - O gráfico de tempo injeção em função tensão de alimentação.....	49
Figura 41 - O gráfico de Tempo injeção em função da temperatura do ar.....	50
Figura 42 - O gráfico de tempo injeção em função da temperatura do motor.....	52
Figura 43 - O gráfico do tempo injeção em função da pressão absoluta	54
Figura 44 - O gráfico do tempo injeção em função do tempo empobrecimento da mistura ar/combustível.....	55
Figura 45 - O gráfico do tempo injeção em função da frequência de PIP.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Os pinos do conector C60 e suas funções	33
Tabela 2 - Os pinos de alimentação.....	34
Tabela 3 - Os pinos dos sinais dos sensores	34
Tabela 4 - Os pinos dos sinais de diagnostico.....	34
Tabela 5 – Os pinos dos sinais dos atuadores.....	34
Tabela 6 – Valores fixos para teste variação de tensão de alimentação.....	49
Tabela 7 –Tempo de injeção versus tensão de alimentação.....	49
Tabela 8 - Valores fixos para teste variação de tensão de <i>ACT</i>	49
Tabela 9 –Tempo de injeção versus tensão do sensor de temperatura do ar (<i>ACT</i>).....	50
Tabela 10 -Valores fixos para teste variação de tensão do <i>ECT</i>	51
Tabela 11 –Tempo de injeção versus tensão do sensor de temperatura do motor (<i>ECT</i>)	51
Tabela 12 -Valores fixos para teste variação de frequência do <i>MAP</i>	53
Tabela 13 –Tempo de injeção versus frequência do sensor de pressão absoluta(<i>MAP</i>).53	
Tabela 14 -Valores fixos para teste variação do ciclo de trabalho do <i>EGO</i>	54
Tabela 15 –Tempo de injeção versus empobrecimento da mistura.....	55
Tabela 16-Valores fixos para teste variação de frequência do <i>PIP</i>	56
Tabela 17 –Tempo de injeção versus função da frequência do <i>PIP</i>	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACC	<i>Air Conditioner Clutch</i> – Embragem do ar condicionado
ACT	<i>Air Charge Temperature</i> – Sensor de temperatura do ar;
CAD	<i>Computer-Aided Design</i> – Desenho assistido por computador;
CCS	<i>Custom Computer Services</i> – Serviços de computador personalizados;
CO	Monóxido de carbono;
CO ₂	Dióxido de Carbono;
DC-DC	<i>Direct Current to Direct Current</i> – Corrente Contínua para Corrente Contínua
ECT	<i>Engine Coolant Temperature</i> – Sensor de temperatura do líquido de arrefecimento;
ECU	<i>Electronic Control Unit</i> – Unidade eletrônica de controle;
EEC-IV	<i>Electronic Engine Control Fourth Generation</i> – Controle eletrônico do motor de 4 ^a geração;
EGO	<i>Exhaust Gas Oxygen</i> – Oxigênio no gás de escape;
EGR	<i>Exhaust Gas Recirculation</i> – Recirculação dos gases de exaustão;
EVAP	<i>Evaporative emission control</i> - Válvula de controle das emissões evaporativas;
FPM	<i>Fuel Pump Monitor</i> – Monitor de Bomba de Combustível
HC	Hidrocarboneto;
Hz	Hertz é a unidade de frequência;
IDM	<i>Ignition Diagnostic Module</i> – Retorno da ignição para diagnóstico;
kHz	10 ³ x Hertz
LED	<i>Light Emitting Diode</i> – Diodo emissor de luz;
MAP	<i>Manifold Absolute Pressure</i> – Sensor de pressão absoluta do motor;
mmHg	Milímetro de mercúrio;
mV	Milivolts;
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i> – Coeficiente Negativo de Temperatura;
NO _x	NO _x é um termo genérico para os óxidos de nitrogênio;
PMI	Ponto Morto Inferior;
PMS	Ponto Morto Superior;
PIC	<i>Programmable Interface Controller</i> – Controlador de Interface Programável;
PIP	<i>Profile Ignition Pickup</i> – Sinal de controle de tempo de ignição;
PSPS	<i>Power Steering Pressure Switch</i> – Interruptor de pressão da direção;
PTC	<i>Positive Temperature Coefficient</i> – Coeficiente Positivo de Temperatura;

SPOUT *Spark Output Signal* – Sinal de disparo de ignição;
STI *Self-test Input* – Entrada de auto-teste;
STO *Self-test Output* – Saída de auto-teste;
TPS *Throttle Position* Sensor – Sensor de posição da borboleta de aceleração;
UEGO *Universal Exhaust Gas Oxygen* – Oxigênio no gás de escape universal;
 μ s Microsegundos
V Volts
Vpp Voltagem pico a pico
VSS *Vehicle Speed Sensor* – Sensor de velocidade do veículo;

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Objetivos e Motivação.....	16
1.2 Conteúdo.....	16
1.3 Metodologia.....	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 Os motores de Combustão Interna.....	18
2.1.1 Os Motores de Ciclo Otto.....	18
2.2 Monitoramento Eletrônico do Motor de Ciclo Otto.....	19
2.3 Sensores e Atuadores.....	21
2.3.1 Sensor de Rotação e Sincronização do Motor.....	22
2.3.2 Sensor de Pressão do Ar.....	24
2.3.3 Sensor de Temperatura.....	25
2.3.4 Sensor da Posição da Borboleta de Aceleração (TPS).....	26
2.3.5 Sensor EGO.....	27
2.3.6 Válvula de Injetora de Combustível.....	29
2.3.7 Motor de Passo da Marcha Lenta.....	30
2.3.8 Bomba de Combustível.....	31
2.4 Conclusão.....	31
3 METODOLOGIA.....	32
3.1 Definições do Projeto.....	32
3.1.1 Os Sensores de Comutação.....	36
3.1.2 Os Sensores Analógicos.....	36
3.1.3 Os Sensores com Saída Oscilatória.....	38
3.1.4 Atuadores de Acionamento Indireto.....	41
3.1.5 Atuadores de Acionamento Direto.....	42
3.1.6 Fonte de Alimentação para ECU.....	42
3.1.7 Cronômetro para Medir o Tempo de Abertura da Válvula Injetora.....	43
3.1.8 Contador de Passos.....	44
3.2 Outros Elementos do Projeto.....	45
3.2.1 Fonte de Alimentação.....	45
3.2.2 Confeção das Placas Circuito Impresso.....	46
3.2.3 Ferramentas de Programação.....	46
3.2.4 Pannel de Conexão e Instrumentos.....	47
4 ANALISE DOS RESULTADOS.....	48
4.1 Variando a Tensão de Alimentação da ECU.....	48
4.2 Variando a Tensão do Sensor de Temperatura do Ar (ACT).....	50
4.3 Variando a Tensão do Sensor de Temperatura do Motor (ECT).....	51
4.4 Variando a Frequência do Sensor de Pressão Absoluta (MAP).....	52
4.5 Variando o Ciclo de Trabalho do EGO.....	54
4.6 Variando a Frequência do Sensor de Rotação (PIP).....	56
4.7 Variando os Sinais dos Sensores TPS, VSS, ACC, PSPS.....	57
4.8 Conclusão.....	57

5 CONCLUSÕES.....	58
5.1 Sugestões de Propostas Futuras.....	58
6 REFERÊNCIAS.....	60
7 APÊNDICE.....	62
7.1 Esquema do Painel.....	62
7.2 Contador de Passos.....	63
7.2.1 Hardware.....	63
7.2.2 Firmware.....	64
7.3 Esquema do Cronômetro.....	67
7.3.1 Entrada, Contador e Fonte.....	67
7.3.2 Relógio, Divisor e Controle.....	68
7.4 Esquema da Fonte Ajustável.....	69
7.5 Fontes fixas de 18V e 9V.....	70
7.6 Placa dos Atuadores.....	71
7.6 Placa dos osciladores.....	72
7.6.1 Fonte.....	72
7.6.2 VSS.....	72
7.6.3 PIP.....	73
7.6.4 MAP.....	73
7.6.5 EGO.....	74
7.7 Lista dos cabos das conexões entre a ECU e o simulador.....	75
7.8 Painel de conexão do simulador.....	76
7.9 Painel do simulador.....	77

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho visa construir um simulador de sinais de sensores e atuadores, principalmente pelas suas vantagens, que é imitar somente os aspectos importantes do comportamento de um sistema real, e assim economizar recursos e tempo. Para fazer uma simulação é necessário criar um modelo, que nada mais é representação simplificada de um sistema. Nesse processo de criação ou modelagem é necessário a observação do comportamento do sistema sob determinadas condições, para então poder reproduzir seu comportamento e criar uma história sintética que copie atuação do sistema.

1.1 Objetivos e motivação

O objetivo deste trabalho é construir, um modelo de simulação de sensores de um motor Otto com matéria de simples aquisição que controlará pontualmente, os parâmetros dos vários sensores de um motor de combustão. De forma que se possa observar, sua atuação através da variação do tempo de injeção. Este modelo de simulação será construído, com base nas informações dos sensores do veículo fabricado pela Volkswagen, modelo Gol, ano de fabricação 1995, que utiliza como unidade de controle eletrônico EEC-IV.

A motivação deste projeto foi ocasionada pela falta de um ambiente de simulação para teste das unidades de controle eletrônico do motor de combustão no curso Tecnologia em Eletrônica Automotiva. Onde os alunos deste mesmo curso se viam obrigados a demonstrar seus conhecimentos de gerenciamento de motores a combustão interna de forma direta no automóvel. Foi observada grande dificuldade de controle deste ambiente sempre havendo algum empecilho, como por exemplo: falta de combustível, bateria descarregada, etc. Além do ambiente insalubre ocasionado por geração de gases e ruídos nocivos à saúde. O automóvel é um equipamento que contém peças moveis em alta rotação e alto torque, gerador de altas tensões e altas temperaturas com elevado grau de probabilidade de provocar acidentes. Sendo que em muitas vezes, o que se buscava, nada mais era que um simples teste de tempo injeção ou sincronização entre sinais o que pode ser simulado com este modelo.

1.2 Conteúdo

Este trabalho está assim dividido: o capítulo 2 discorre sobre uma revisão bibliográfica, princípios básicos, motor Otto e informações sobre os sensores e os sinais gerados, como também o que compõem os atuadores assim tendo base para simulá-los; no capítulo 3 detalhou-se todo o processo de confecção do modelo para simulação abordando os principais componentes utilizados e suas respectivas funções na execução do sistema, no capítulo 4 se-

rão detalhados os ensaios e os resultados obtidos. Finalmente, no capítulo 5, descrever os resultados e as conclusões e propor futuras pesquisas nesta área.

1.3 Metodologia

A metodologia empregada neste trabalho constituiu-se de três etapas. Inicialmente foi realizado um estudo dos sensores e dos atuadores encontrados no veículo fabricado pela Volkswagen, modelo Gol, ano de fabricação 1995, que utiliza uma ECU (Electronic *Control Unit*) da Ford denominada EEC-IV. Durante esse período foi consolidado todo o conhecimento teórico e prático necessário para iniciar o desenvolvimento do projeto.

A segunda etapa consistiu em aplicar o conhecimento adquirido na primeira etapa, para se construir circuitos eletrônicos que simulem os sinais elétricos específicos para cada sensor e atuador, testá-los e depois uni-los, assim formando modelo final.

Finalmente a terceira e última etapa, trataram de extrair os resultados e verificar se a hipótese levantada neste trabalho foi comprovada, consolidando o tema e abrindo novos campos de pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Como é mencionado por Bishop (2008, p.9.2) “[...] na modelagem de qualquer sistema físico é preciso definir o limite do sistema e identificar os componentes básicos que podem ser divididos e depois colocados juntos.”

Neste trabalho o sistema físico é o motor de combustão interna de ciclo Otto do automóvel modelo Gol fabricado em 1995 pela Volkswagen, e que utiliza uma ECU EEC-IV para ler todas as informações dos sensores para gerenciar o motor através dos atuadores para obter os resultados desejados.

2.1 Motor de Combustão Interna

O motor de combustão interna é máquina térmica com conjunto de peças fixas e móveis que transforma energia química do combustível em energia térmica, e que por sua vez transforma a energia térmica em energia mecânica (BOSCH, 2005).

2.1.1 Os Motores de Ciclo Otto

Nos motores de ciclo Otto os quatro ciclos ocorrem com o movimento de subida e descida do pistão. Podemos identificar dois pontos onde o pistão tem velocidade nula (zero): PMS (Ponto Morto Superior) ponto mais alto e o PMI (Ponto Morto Inferior) no ponto mais baixo. Os quatros ciclos são: admissão, compressão, expansão, exaustão e estão ilustrados na figura 1.

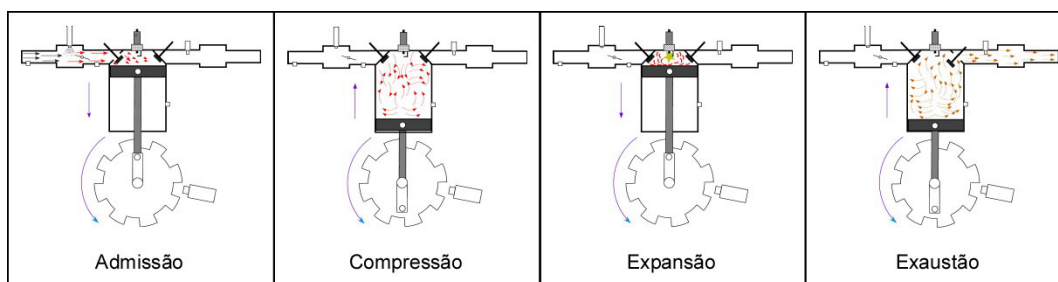


Figura 1 – As quatro etapas do ciclo Otto (Adaptado de Wildner, 2006).

No primeiro ciclo, o de admissão, o pistão inicia no PMS (Ponto Morto Superior). Durante o movimento de descida, abre-se a válvula de admissão para aspiração da mistura ar/combustível para dentro da câmara de combustão. Quando o pistão atinge o PMI (Ponto Morto Inferior) a válvula de admissão é fechada.

No segundo ciclo, o de compressão, o pistão começa a subir do PMI ao PMS impulsionado pelo sistema da árvore de manivelas e que não está representado na figura 1. Nesse momento, ambas as válvulas de admissão e escape estão fechadas. A compressão dos gases

no cilindro ocorre nesse momento, no espaço entre a cabeça do pistão e o cabeçote. Esse espaço é também conhecido como câmara de combustão.

No terceiro ciclo, o de expansão, é o momento em que os gases estão fortemente comprimidos na câmara de combustão. Nesse ponto a expansão dos gases é provocada pela combustão dentro desta câmara que é iniciada pela centelha na vela de ignição. A força de expansão dos gases durante a combustão impele o pistão para parte inferior juntamente com a biela e a árvore de manivelas.

No quarto e último ciclo, o de exaustão, o pistão sobe novamente impulsionado pela inércia do sistema da árvore de manivelas e a válvula de escape se abre, descartando os gases resultantes da combustão e preparando o sistema para reiniciar um novo ciclo de admissão.

2.2 Monitoramento Eletrônico do Motor de Ciclo Otto

Durante muito tempo o carburador foi o sistema utilizado para misturar ar e combustível na alimentação do motor. Mas devido a maiores exigências de controle em relação à emissão de poluentes houve a necessidade de implementar um sistema de gerenciamento eletrônico em busca de uma maior eficiência no controle emissões gases poluentes. Assim, temos a ECU (*Electronic Control Unit*) que monitora e controla certas grandezas físicas, durante o funcionamento do motor, com o objetivo de regular a mistura ar/combustível e outros parâmetros. Praticamente todos os veículos modernos com motores de combustão interna em circulação utilizam o catalisador de três vias em conjunto com um sistema de controle de injeção eletrônica para satisfazer as restrições de emissão de poluentes. Podemos ter uma idéia do modelo simplificado dos vários elementos da gestão do sistema de controle eletrônico de um motor de combustão interna na figura 2 (Ribbens, 1998).

Um dos pontos mais importantes desse sistema é manter a mistura ar/combustível o mais próximo da estequiometria, onde se produz os menores índices de emissões de hidrocarbonetos (HC) e monóxido de carbono (CO), como pode ser visto no gráfico da figura 3. Observa-se pelo gráfico que (CO, NO_x, HC) representam a composição dos gases de escape, (M) o torque e (b) o consumo de combustível. Os valores valem para a faixa de cargas parciais de um motor Otto com rotação média e enchimento constantes (no motor do veículo são trabalhados valores de λ de aproximadamente 0,85 a 1,15), dependendo do ponto de funcionamento (Bosch, 2005).

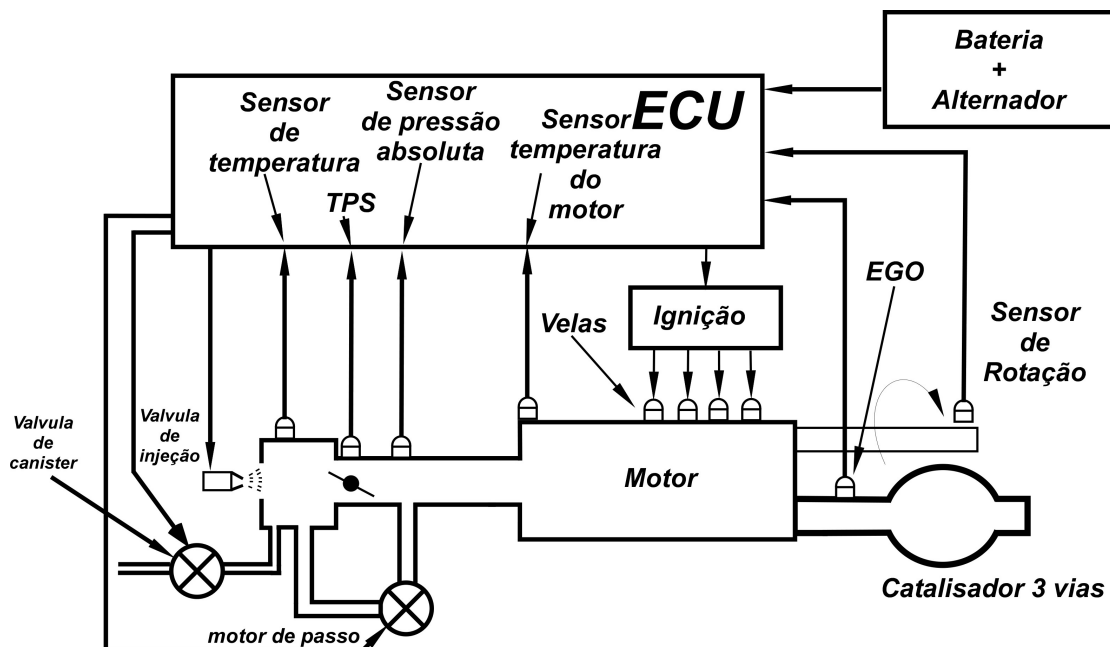


Figura 2 - Diagrama simplificado de um sistema de controle de motor combustão (Adaptado de Ribbens, 1998).

A mistura estequiométrica nada mais é do que ter oxigênio suficiente para oxidar totalmente o combustível. Essa mistura é controlada pelo ECU, que é baseado em um microprocessador com um programa de controle, e que contém tabelas de calibração para calcular o tempo de injeção de combustível a partir das informações obtidas pelos sensores (Ribbens, 1998).

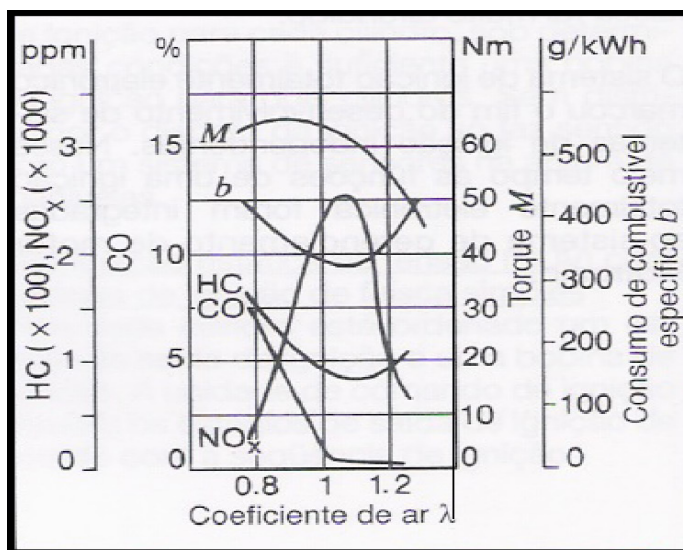


Figura 3 - O coeficiente de ar λ e a influencia na emissão de poluentes e torque do motor (Bosch, 2005).

2.3 Sensores e Atuadores

A ECU monitora as condições do motor através de sinais elétricos enviados pelos sensores que transformam uma grandeza física em elétrica. Os sinais de atuação são enviados através de elementos também conhecidos como transdutores.

De acordo com Bishop (2008 p. 8-11), “Transdutores são dispositivos capazes de converter um tipo de energia em outro. Se a energia de saída for trabalho mecânico chamamos o transdutor de atuador. O resto dos transdutores são chamados de sensores, embora na maioria dos casos, um transdutor mecânico também pode ser um sensor e vice-versa”.

Também podemos dizer que os sensores são dispositivos que, quando expostos a um fenômeno físico (deslocamento, temperatura, força, etc.), produzem um sinal de saída proporcional (elétricos, mecânicos, magnéticos, etc.). Já os atuadores são basicamente os “músculos” por trás de um sistema que aceita um comando de controle (a maioria sob a forma de um sinal elétrico) e produz uma ação física tais como: movimento linear ou rotativo, fluxo de calor, e assim por diante (Bishop, 2008; GUIMARÃES, 2007).

No sistema de controle de um motor de combustão interna nós podemos encontrar vários sensores e atuadores, mas basicamente podemos listar os seguintes sensores e atuadores:

- Sensor de rotação e sincronização do motor
- Sensor de pressão
- Sensor de temperatura
- Sensor da posição da borboleta de aceleração (TPS)
- Sensor EGO

Atuadores:

- Válvula de injetora de combustível
- Motor de passo da marcha lenta
- Válvula de Canister
- Bomba de combustível

2.3.1 Sensor de Rotação e Sincronização do Motor

Os sensores eletromagnéticos são frequentemente usados para detectar a velocidade ou posição angular de um objeto em rotação, e essas informações servem para sincronizar os vários atuadores como a válvula injetora de combustível e a bobina de ignição. Existem dois tipos de sensores eletromagnéticos que são amplamente utilizados em veículos, são eles: de relutância variável e sensores do tipo Hall (Bonnick, 2001).

Os sensores de relutância magnética são construídos com ímã permanente e um enrolamento de cobre (indutor), como pode ser visto na figura 4. O seu princípio de funcionamento esta baseada na força eletromotriz (f.e.m.) gerado pela variação do fluxo magnético no indutor provocada pela passagem dos dentes e cavidade da roda dentada. A tensão gerada pelo indutor é proporcional ao campo magnético e rotação da roda dentada (BOSCH, 2005) (Milhor, 2002).

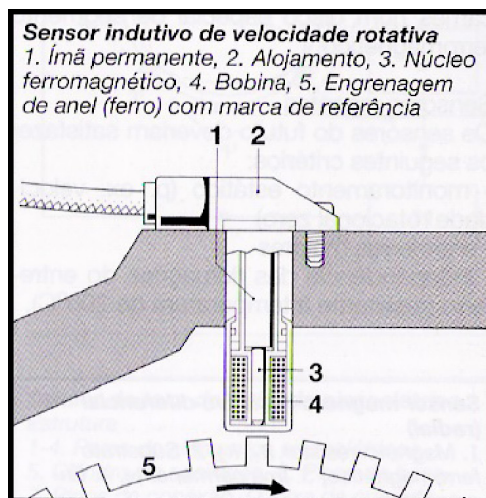


Figura 4 - Sensor de rotação tipo Relutância Magnética (Extraída de Bosch, 2005).

Outro tipo de sensor é o de efeito Hall, que ser visto na figura 5. O efeito Hall é gerado quando um campo magnético transversal B atravessa uma placa condutora, normalmente construída de uma lamina semicondutora de espessura d , é percorrido por uma corrente I . Esse campo magnético produz um desvio da corrente elétrica para um dos lados da placa, gerando uma diferença de potencial V_H (tensão Hall) em direção perpendicular, tanto da corrente I quanto ao campo magnético (BOSCH, 2005) (Milhor, 2002).

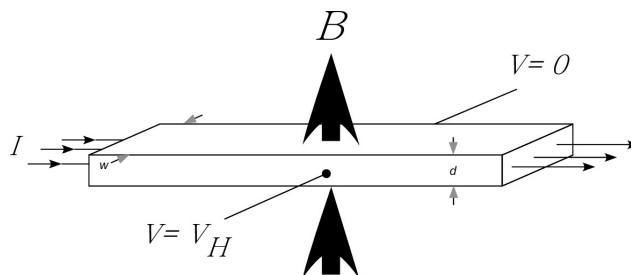


Figura 5 – Princípio do efeito Hall (Extraído de Milhor, 2002).

Podemos ver na figura 6 uma aplicação do sensor de efeito Hall que é mergulhado no campo magnético produzido por um ímã permanente. Uma tensão externa irá produzir uma corrente I . Uma placa de metal ferromagnético produzirá o efeito de magnetização e desmag-

netização do sensor de efeito *Hall* por meio um desvio do campo magnético e, assim produzindo uma diferença de potencial perpendicular à corrente I , que é medido pelo voltímetro (Milhor, 2002) (Bonnick, 2001).

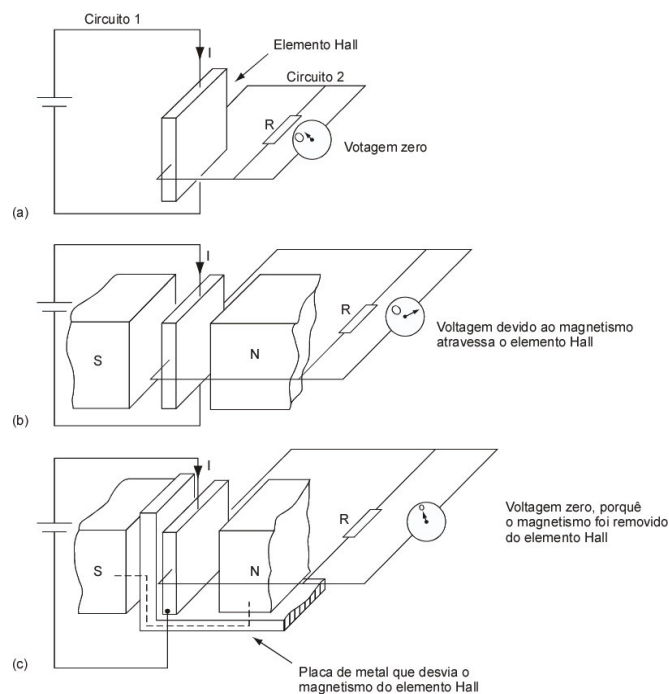


Figura 6 - Circuito básico usando sensor Hall (Adaptado de Bonnick, 2001).

A aplicação do sensor Hall num veículo pode ser vista de forma mais concreta na figura 7, onde um sensor de efeito Hall está montado em um conjunto mecânico junto com um ímã permanente e acoplado ao eixo do distribuidor, de forma a ficar sincronizado com a rotação do motor (Bonnick, 2001) (Milhor, 2002).

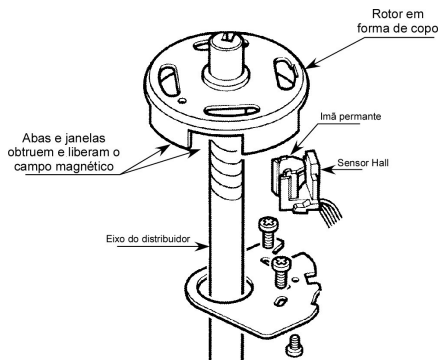


Figura 7 - Aplicação do sensor Hall num distribuidor veicular (Extraído de Bonnick, 2001).

O sinal gerado por esse dispositivo pode ser visto na figura 8, sendo que a sua frequência é linearmente proporcional à rotação do motor. O ciclo de trabalho é fixo e determinado pelo espaço entre as laminas de bloqueio. O V_{pp} é tensão pico a pico na saída do ampli-

ficador de saída do circuito condicionador da tensão Hall, e é próxima à tensão de alimentação do dispositivo (12V).

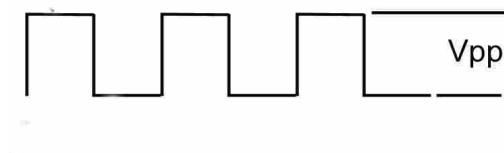


Figura 8 - Sinal gerado pelo sensor de efeito Hall (Extraído Bonnick, 2001).

2.3.2 Sensor de Pressão do Ar

Há varias técnicas de construção de sensores de pressão do ar. Uma delas muito usada em veículos comerciais é sensor de pressão de capacitância variável que é utilizado para medir a pressão na admissão. Esse sensor também é conhecido como MAP(*Manifold Absolute Pressure*). Seu princípio de funcionamento básico é mostrado na figura 9.

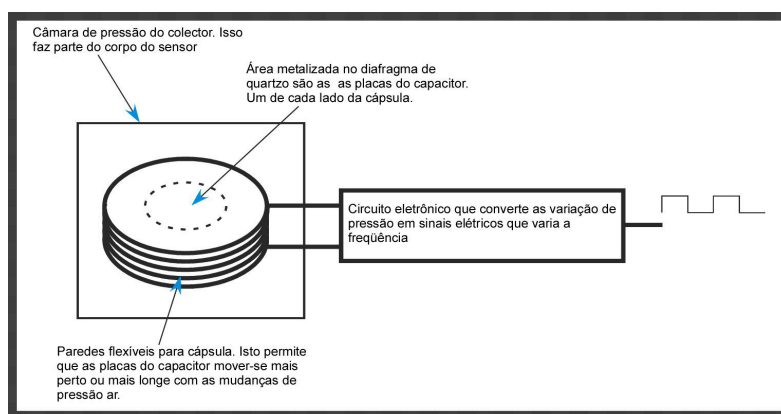


Figura 9 - Princípio de funcionamento do sensor MAP tipo capacitivo (Extraído de Bonnick, 2001).

As placas metalizadas do capacitor são colocadas em cada lado da cápsula hermética. Essa cápsula é montada de forma que os lados possam variar a distância entre eles em função da pressão atmosférica. A mudança na distância entre as placas do capacitor provoca a mudança no valor da capacitância. O capacitor é conectado em um circuito eletrônico que converte alterações da capacitância em uma variação de frequência, gerada pelo circuito eletrônico. O valor da capacitância pode ser obtido através fórmula (1), onde C = capacitância, ϵ_0 = permissividade no vácuo, A = área das placas metalizadas e d = a distância entre essas placas.

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (1)$$

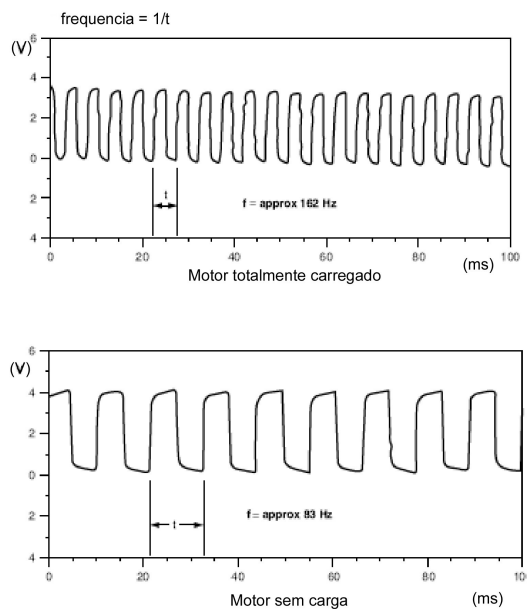


Figura 10 - O Padrões de frequência para um sensor MAP em plena carga e sem carga (Extraído de Bonnick, 2001).

O sinal gerado por este sensor pode ser visto na figura 10 e observamos os valores máximos e mínimos da frequência. Essa informação é usada para o cálculo da massa de ar e, por consequência, da quantidade de combustível a ser injetada.

2.3.3 Sensor de Temperatura

O dispositivo comumente usado para a detecção da temperatura é o termistor. O termistor pode ser tanto de coeficiente positivo de temperatura *PTC* (*Positive Temperature Sensor*) ou de coeficiente negativo de temperatura *NTC* (*Negative Temperature Sensor*). O coeficiente define como varia a resistência do termistor em função da temperatura. Assim, na utilização do termistor de coeficiente negativo quanto maior for a temperatura menor será o valor da sua resistência ôhmica. Podemos ter uma ideia do funcionamento observando a curva da figura 11, que representa a variação da resistência elétrica do sensor em função da temperatura (Bonnick, 2001) (Ribbens, 1998) (Milhor, 2002).

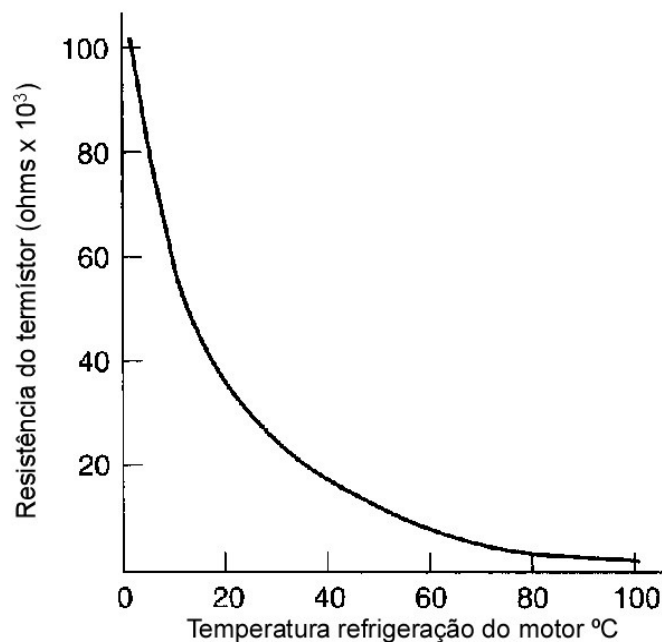


Figura 11 – Curva da variação da resistência em função da temperatura de um termistor (Extraído de Bonnick, 2001).

Esse sensor é utilizado em dois dispositivos no veículo, o *ACT* (*Air Charge Temperature*) que mede a temperatura do ar para calcular a massa de combustível e o *ECT* (*Engine Coolant Temperature sensor*) que mede a temperatura do motor para definir certas condições de operação.

2.3.4. Sensor da Posição da Borboleta de Aceleração (*TPS*)

Sensor da posição da borboleta de aceleração mede a posição angular da borboleta de aceleração. O sensor *TPS* (*Throttle Position Sensor*) é um potenciômetro fixado ao eixo de rotação da borboleta de aceleração. O potenciômetro forma um circuito divisor de tensão que varia de acordo com o ângulo de deflexão da borboleta. A variação da posição do cursor pela posição da válvula borboleta está representada na figura 12 (Bonnick, 2001) (Milhor, 2002).

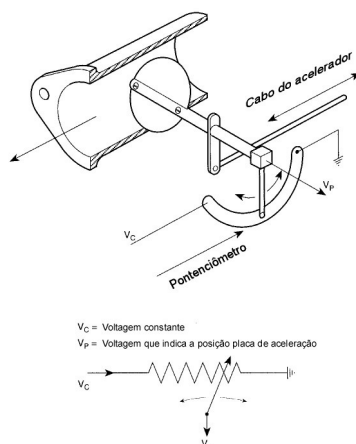


Figura 12 - Visão simplificada do sensor do corpo de borboleta (Extraído de Bonnick, 2001).

2.3.5 Sensor *EGO*

Sensor *EGO*, mais conhecido como sonda lambda (λ), é o dispositivo que mede a diferença entre quantidade de oxigênio do ar atmosférico e a quantidade de oxigênio nos gases de exaustão do motor. Assim, com esta informação é possível estimar o valor real λ (Bonnick, 2001).

Esse dispositivo, ilustrado na figura 13, é construído com uma camada de cerâmica porosa que contém dois eletrodos de platina e que lhes conferem propriedades catalíticas. Um deles está em contato com os gases de exaustão e outro em contato com o ar atmosférico (referência). Entre eles fica situada uma peça de cerâmica especial que contém dióxido de zircônio que tem a capacidade de transferir íons de oxigênio, formando uma célula eletroquímica que produz uma tensão elétrica entre os eletrodos. Quando esse conjunto é submetido à altas temperaturas, a diferença na quantidade de oxigênio entre os eletrodos produz uma variação na tensão entre os eletrodos. Essa diferença de potencial varia de acordo com a concentração de oxigênio nos gases de exaustão (Gonçalves, 2004) (Braga, 2007).

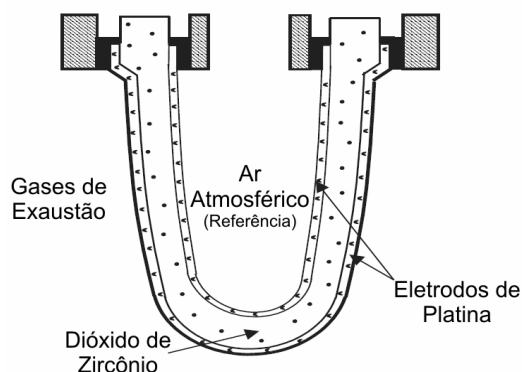


Figura 13 - Sensor de oxigênio *EGO* de dióxido de zircônio (Extraído de Braga 2007).

Quando a mistura ar/combustível está rica há uma baixa concentração de oxigênio nos gases de exaustão e uma grande diferença em relação o ar atmosférico. Com isso, o *EGO* gera uma tensão em torno 900 mV entre os eletrodos. Já no caso da mistura pobre essa diferença cai em torno de 100 mV. Para uma condição estequiométrica a tensão entre os eletrodos deve estar em torno 450 mV, mas essa tensão pode variar rapidamente quando a mistura se torna rica ou pobre. Podemos observar a curva característica na figura 14. O sinal gerado pelo *EGO* é útil apenas para valores próximos ao estequiométrico, o que é satisfatório para os sistemas convencionais (Braga, 2007).

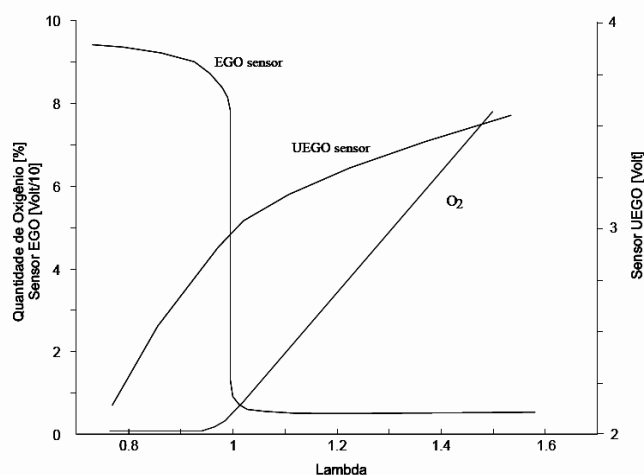


Figura 14 - Curvas características dos sensores de oxigênio *EGO* e *UEGO* e concentração de oxigênio na exaustão (Extraído de Braga 2007).

Outro tipo de sensor é o *UEGO*, também chamado de sonda lambda linear. Com esse sensor é possível medir o valor exato de λ , o que possibilita também o controle da mistura fora da região estequiométrica. Como seu custo é muito elevado não é usado com frequência em veículos convencionais.

Estes sensores trabalham em temperaturas acima dos 400° C para que suas medições sejam válidas. Desse modo, boa parte dos sensores atuais são pré-aquecidos para que temperatura de trabalho possa ser rapidamente atingida.

Uma das limitações destes sensores é sua latência que está em torno de 100 ms, somada a isto temos o atraso entre a injeção no coletor de combustível e a medição da concentração de oxigênio no duto de exaustão, dificultando o controle em malha fechada. Outro fator que dificulta o controle é a curva característica do *EGO*. O *EGO* é capaz de informar apenas se a mistura está rica ou pobre, sendo incapaz de medir o valor do erro em relação à mistura estequiométrica. Devido a isto o sistema oscila quando na condição de mistura estequiométrica ou próxima a ela, como podemos ver na figura 15.

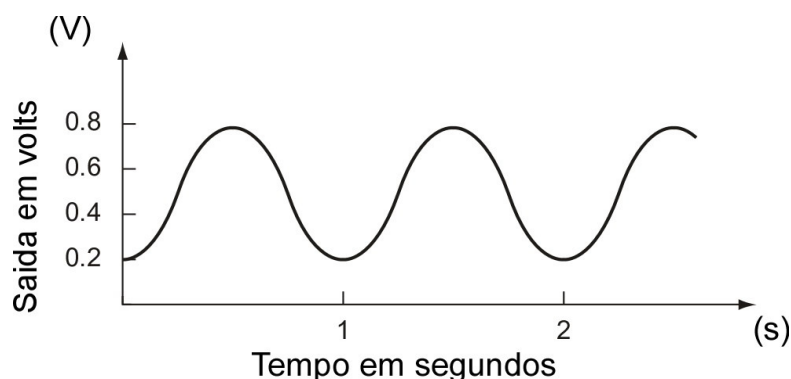


Figura 15 – Sinal de saída sensor *EGO* estequiométrico (Extraído de Bonnick, 2001).

2.3.6 Válvula Injetora de Combustível

As válvulas injetoras são válvulas eletromagnéticas ou solenóides pelas quais passa o combustível pressurizado (Andreoli, 2009). A pressão do combustível é controlada por um regulador de pressão e a quantidade de combustível injetada é determinada pelo período de tempo em que válvula está aberta (Bonnick, 2001). A válvula é operada eletronicamente obtendo-se uma precisão na quantidade de combustível fornecida para a mistura.

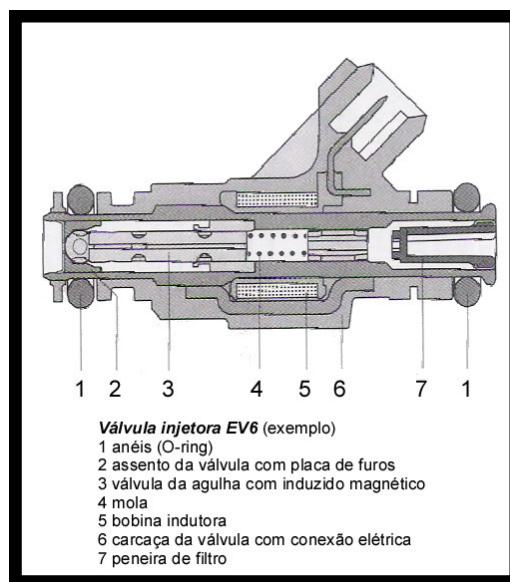


Figura 16 – Vista em corte de uma válvula de injeção (Extraído de Bosch 2005).

Esses injetores são fabricados com elevada precisão. Como podemos ver na figura 16, uma válvula injetora é formada por um corpo que tem no seu interior uma agulha presa a um induzido magnético. Essa mesma agulha do outro lado obtura um pequeno orifício. Quando a bobina indutora, que está no interior do invólucro, é energizada o induzido magnético é atraído e a válvula se abre comprimindo uma mola de retorno. O combustível sob pressão é apli-

cado na entrada da válvula e que permanece fechada até que o curso do induzido seja iniciado, produzindo um fino spray na abertura de sua saída (Denton, 2004) (Gonçalves, 2006).

Como já citado anteriormente, as válvulas injetoras são solenóides e sendo assim, sua operação é muito simples. Quando a válvula injetora é acionada, o seu curso de abertura está em torno de 0,1mm. O período em que uma válvula injetora permanece aberta é muito pequeno, entre 1,5 ms a 10 ms, tipicamente. O tempo de reação de um dispositivo acionado por um solenóide, como válvula injetora, depende muito da indutância do enrolamento. A figura 17 mostra um gráfico de vários elementos que determinam ação dos atuadores acionados por solenóides.

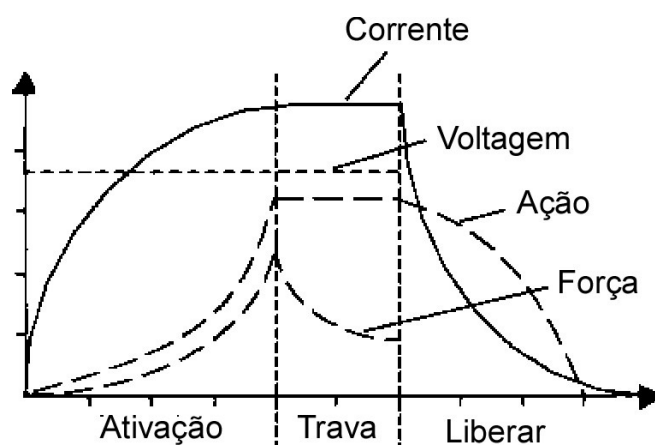


Figura 17 - Curva de resposta dos atuadores formado por solenóides (Extraído de Denton, 2004).

A fórmula(15) mostra a relação da corrente em função da indutância e resistência da bobina e a corrente máxima dada por V/R .

$$i = \frac{V}{R}(1 - e^{-Rt/L}) \quad (2)$$

i = corrente instantânea no enrolamento

V = a tensão de alimentação

R = resistência total do circuito

L = indutância do enrolamento da válvula injetora

t = tempo da corrente

2.3.7 Motor de Passo da Marcha Lenta

Os motores de passos são muito utilizados onde há necessidade de movimentação precisa, como é o caso da marcha lenta, e podem ser classificados em três grupos diferentes: os de relutância variável, ímã permanente e o híbrido.

Esses motores giram, como o próprio nome diz, através de passos. O ângulo de passo pode ser calculado simplesmente dividindo-se 360 graus pelo número de pólos do estator. A direção de rotação é determinada pela ordem em que os enrolamentos são ligados ou desligados (Denton, 2004).

2.3.8 Bomba de Combustível

A bomba de combustível tem a função de criar pressão de combustível necessária para funcionamento do sistema de injeção no motor. A pressão é controlada por uma válvula mecânica sendo que o combustível excedente retorna ao tanque, como podemos ver figura 18. Seu acionamento é feito através do relé auxiliar devido à alta corrente necessária para seu funcionamento (Denton, 2004) (Gonçalves, 2004).

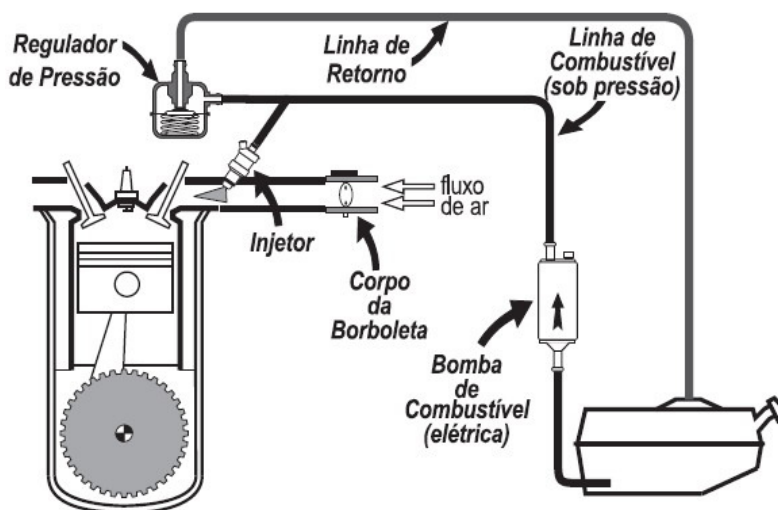


Figura 18 – Diagrama do sistema de alimentação de combustível (Extraído de Thomson, 2012).

2.4 Conclusão

Neste capítulo foram abordados os princípios básicos do funcionamento do motor e dos seus sensores e atuadores também foram discutidos os sinais de saída gerados pelos principais sensores e sua função no controle do motor.

3 METODOLOGIA

Complexidade e insalubridade do ambiente automotivo dificultam os testes dos equipamentos de forma direta nos veículos. Assim, como já foi dito anteriormente, este projeto tem como objetivo desenvolver um simulador dos sinais dos sensores de um motor de combustão interna, como também dos atuadores controlados pela ECU, de modo que, ao conectar a ECU no simulador ela se comporte como se estivesse instalada no motor do veículo.

3.1 Definições do Projeto

Os dados de construção deste simulador foram baseados nas informações do veículo fabricado pela Volkswagen, modelo Gol monoponto, ano de fabricação 1995 que utiliza uma ECU EEC-IV da Ford. A ECU EEC-IV recebe sinais do motor através de vários sensores e interage com o motor através de atuadores. Pelos pinos do conector podemos listar todas as funções existentes nessa ECU ECC-IV. Como se pode ver na figura 19, um conector de 60 pinos liga o chicote elétrico do veículo à *ECU ECC-IV*. Porém, nem todos os pinos são usados. Na tabela 1 temos uma lista dos pinos usados e suas respectivas funções. Esse conector também é conhecido como conector C60.

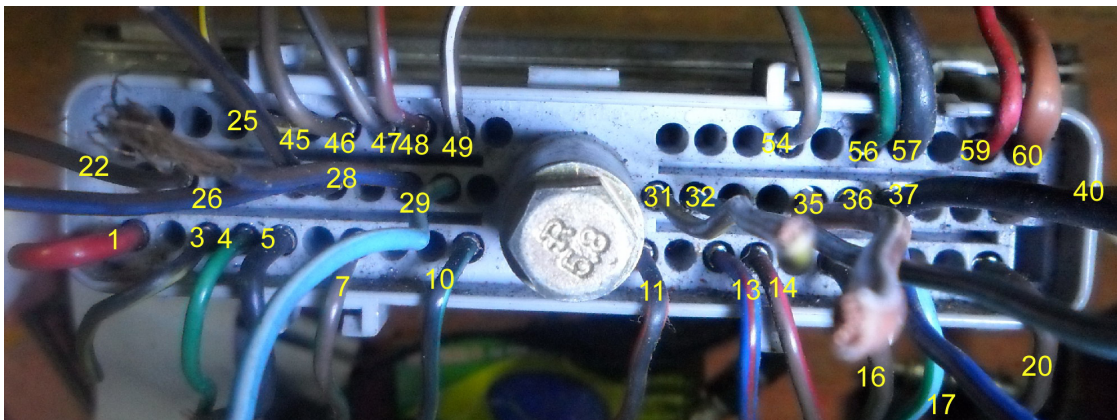


Figura 19 - Conector do chicote elétrico que conecta ECU ECC-IV os sensores e atuadores do Gol.

Pinos	Funções dos pinos
Pino 1	Linha 30
Pino 3	Entrada do sensor velocidade (VSS)
Pino 4	Retorno da ignição (IDM)
Pino 5	Linha 15
Pino 7	Entrada do sensor de temperatura da água (ECT)
Pino 10	Chave do pressostato (ACC)
Pino 11	Monitor do relê da bomba de combustível (FPM)
Pino 13	Saída fase 1 bobina 1 do motor de passo
Pino 14	Saída fase 1 bobina 2 do motor de passo
Pino 16	Terra sensor de rotação e modulo de ignição
Pino 17	Pino 4 do conector ALDL (STO)
Pino 20	Terra
Pino 22	Acionamento rele da bomba de combustível (FP)
Pino 25	Sensor de temperatura de ar (ACT)
Pino 26	Saída de +5V
Pino 28	Interruptor da direção hidráulica (PSPS)
Pino 29	Entrada do sinal do EGO (sonda Lambda)
Pino 31	Saída fase 2 bobina 2 do motor de passo
Pino 32	Saída fase 2 bobina 1 do motor de passo
Pino 35	Saída relê da válvula do canister
Pino 36	Saída do avanço da ignição (SPOUT)
Pino 37	Retorno do relê da injeção
Pino 40	Terra
Pino 45	Entrada MAP
Pino 46	Terra dos sensores
Pino 47	Entrada do TPS
Pino 48	Pino 5 conector ALDL (STI)
Pino 49	Terra do EGO (sonda lambda)
Pino 54	Saída de acionamento do relê para plena potência
Pino 56	Entrada do sensor de rotação (PIP)
Pino 57	Retorno do relê da injeção (paralelo com o pino 37)
Pino 59	Saída do acionador da válvula injetora
Pino 60	Terra

Tabela 1 - Os pinos do conector C60 e suas funções.

Assim, podemos agrupar os pinos pelas suas funções obtendo-se as seguintes tabelas:

Função	Numero do pino	Função	Numero do pino
Terra geral	Pino 60, 40, 20	Linha 30 (+12V)	Pino 1, 37, 57
Terra do <i>PIP</i>	Pino 16	Linha 15 (+12V)	Pino 5
Terra dos sensores	Pino 46	+5V	Pino 26
Terra da sonda <i>EGO</i>	Pino 49		

Tabela 2 – Os pinos de alimentação.

Função	Pinos
<i>VSS</i>	Pino 3
<i>IDM</i>	Pino 4
<i>ECT</i>	Pino 7
<i>ACC</i>	Pino 10
<i>FPM</i>	Pino 11
<i>ACT</i>	Pino 25
<i>PSPS</i>	Pino 28
<i>EGO</i>	Pino 29
<i>SPOUT</i>	Pino 36
<i>MAP</i>	Pino 45
<i>TPS</i>	Pino 47
<i>PIP</i>	Pino 56

Tabela 3 – Os pinos dos sinais dos sensores.

Função	Pinos
<i>STO</i>	Pino 17
<i>STI</i>	Pino 48

Tabela 4 - Os pinos dos sinais de diagnostico.

Função	Pinos
Motor de Passo A1	Pino 13
Motor de Passo B1	Pino 14
Motor de Passo A2	Pino 31
Motor de Passo B2	Pino 32
Rele da bomba	Pino 22
Rele da válvula de canister	Pino 35
Rele de plena potência	Pino 54
Válvula injetora	Pino 59

Tabela 5 - Os pinos dos sinais dos atuadores.

Na tabela 2 temos os pinos de alimentação que estão separados em duas cores, cinza e vermelho, representando o polo negativo e positivo respectivamente. O polo negativo é o terra da bateria e também é comum a todas as fontes. O polo positivo contém a tensão de 12 V e está ligado na linha 15 após a chave de ignição. A linha 30 é a ligação direta do polo positivo da bateria. Temos também uma fonte 5 V. vinda da ECU para alimentar alguns sensores.

Os pinos 57 e 37 são alimentados pela linha 30 de forma indireta pelo rele da injeção que aciona pela linha 15. Para simplificação do projeto serão todos alimentados diretamente pela linha 30.

Na tabela 4 encontram-se os pinos de diagnostico da ECU que podem ser utilizados para “ler” os erros ocorridos e armazenados na memória. Com base nas tabelas 2, 3, 4 e 5 podemos construir um painel de conexão, como ilustrado na figura 20. A disposição dos bornes segue aquelas definidas nas tabelas acima. O cabo de conexão entre ECU e o painel do simulador pode ser visto na figura 21.

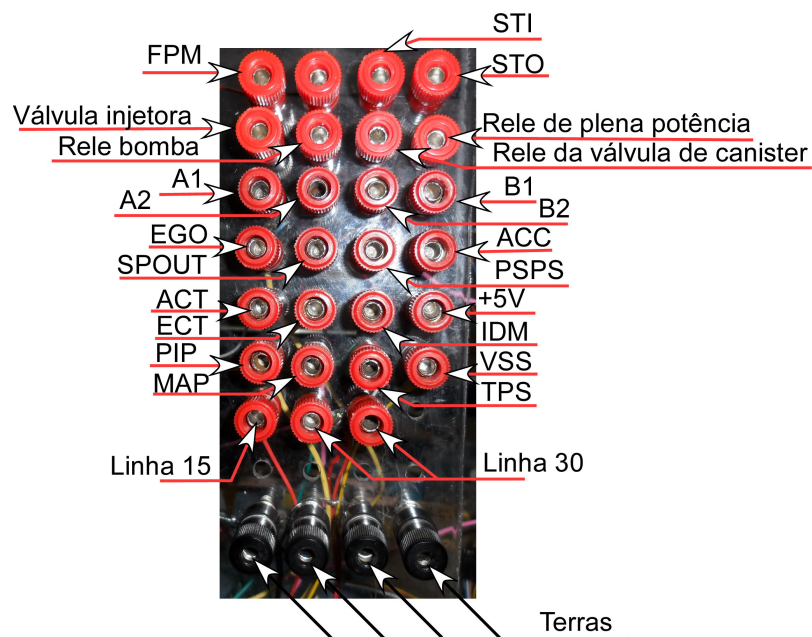


Figura 20 - Painel de conexão.

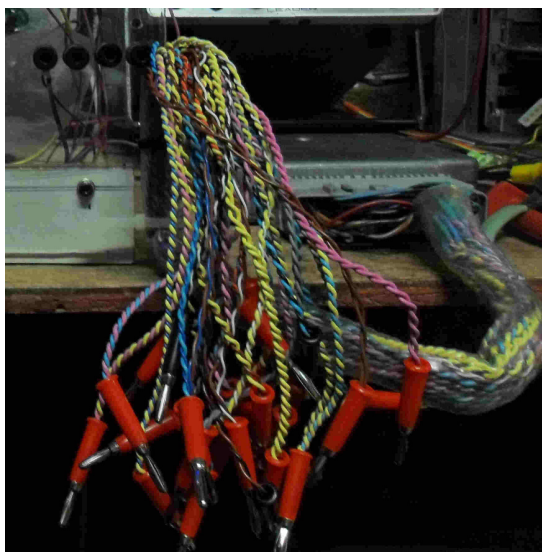


Figura 21 – Cabos de conexão entre ECU e o simulador.

Com o painel de conexão pronto (figura 20) e as tabelas 3 e 5 de sensores e atuadores temos todos os elementos necessários para definir a montagem do simulador. Podemos dividir

esses elementos a partir do grau de dificuldade do seu comportamento, assim podemos ter os seguintes grupos: os sensores de comutação, os sensores analógicos e sensores com saída oscilatória. Os atuadores de maneira geral são motores ou solenóides e podem ser divididos em dois grupos: os de acionamento direto e os de acionamento indireto. Além desses elementos temos dispositivos auxiliares como: fonte de alimentação, cronômetro para medir tempo de abertura, válvula injetora e contador de passo para contar os passos do motor de passos da marcha lenta.

3.1.1 Os Sensores de Comutação

Estes sensores são chaves eletromecânicas que definem duas ou mais condições digitais. Em nosso caso todos eles definem somente duas condições ligado ou desligado. Temos as seguintes chaves: linha 30, linha 15, condicionador de ar e interruptor da direção hidráulica. Todas as chaves ligam ou desligam sinais de 12 V na entrada da ECU. Na figura 22 temos a montagem de dois desses sensores, chave linha 30 e linha 15, junto com seus respectivos sinalizadores (LED).

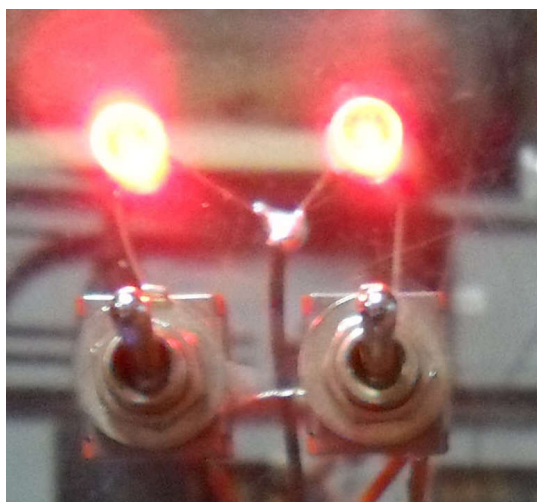


Figura 22 - Sensor de chave +15 e +30 e seus sinalizadores.

3.1.2 Os Sensores Analógicos

Os sensores analógicos variam sua tensão na sua saída de acordo com a variação de uma grandeza física. Existem três sensores em nosso sistema: sensor da posição da borboleta de aceleração TPS, sensor de temperatura do motor ECT e sensor de temperatura do ar ACT. Esses três sensores são simulados por potenciômetros e resistores de forma a criar circuitos divisores de tensão. A tensão de saída varia de acordo com a posição do eixo do potenciômetro.

O sensor *TPS* é um potenciômetro propriamente dito e sua ligação pode ser vista na figura 23, juntamente com o controle montado no painel.

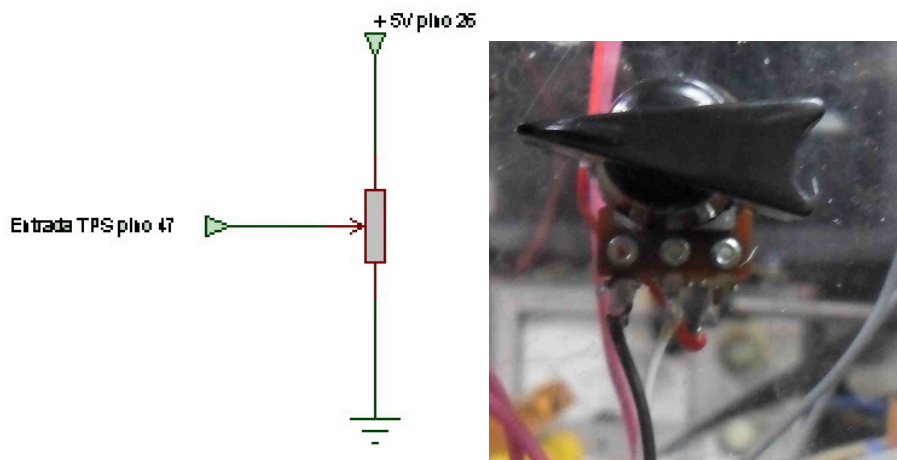


Figura 23 - Ligação do potenciômetro como sensor *TPS* e o mesmo montado no painel.

Tanto o ACT como o ECT são resistores que variam em função da temperatura (termístores) e podem ser substituídos por um potenciômetro e um resistor em série como ilustrado figura 24. Como a simulação é de um termístor tipo *NTC*, (*Negative Temperature Sensor*) o valor resistor fixo é definido pela menor resistência ôhmica do termístor na máxima temperatura medida no sistema. Já a mínima temperatura provoca a maior resistência ôhmica. Que é simulada pela soma dos valores do resistor fixo mais a do potenciômetro.

A variação do eixo do potenciômetro varia a tensão de saída, simulando a variação de temperatura do ar e do motor. Os valores para o sensor ACT e ECT são resistor 2K Ohms 100°C potenciômetro 57K (59K Ohms 10°C) (SIMPLO, 2009).

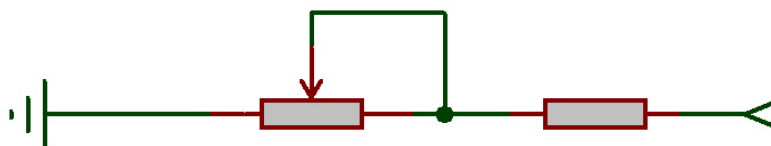


Figura 24 - Circuito de simulação ACT e ECT.

3.1.3 Os Sensores com Saída Oscilatória

Os sensores com saída oscilatória em nosso sistema são: sensor de pressão absoluta MAP, o sensor de velocidade do veículo VSS, sensor de rotação do motor e sincronização PIP e o sensor de oxigênio EGO.

Podemos construir circuitos que geram sinais similares com os osciladores eletrônicos, cuja frequência varia em função dos valores dos capacitores e resistores. No nosso projeto

do o valor médio 1,61Hz por kilometro e que foi obtido através da leitura simultânea do velocímetro do veículo e de um frequencímetro acoplado a sinal de VSS.

Apesar da sonda EGO não ter em sua saída um sinal com o formato retangular, sua operação é semelhante a chave de comutação de duas posições: liga e desliga que gera duas informações: mistura rica $\lambda < 1$ com a tensão em torno 900mV ou mistura pobre $\lambda > 1$ com a tensão em torno 100mV. Outro detalhe importante é a frequência do sinal do sensor, que depende de vários fatores tais como: velocidade com que os gases são expelidos, percurso que os gases percorrem até chegar ao EGO, latência do EGO e tudo mais que aumente o atraso na resposta do sistema de compensação. Assim, a frequência gerada não é crítica, o que é levado em consideração é o ciclo de trabalho desta frequência e podemos melhor entender analisando a figura 27.

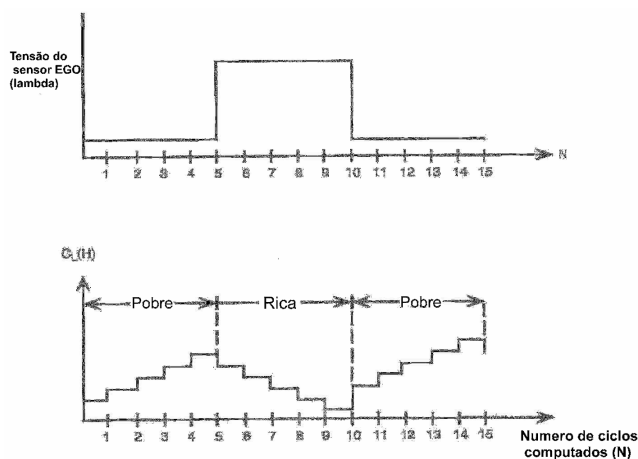


Figura 27 - Fator de correção em malha fechada (Extraído de Ribbens, 1998).

Quando EGO indica uma mistura ar/combustível pobre, a ECU irá enriquecer a mistura incrementando o valor do tempo de abertura da válvula injetora a cada ciclo de injeção, até que o EGO indique uma condição mistura rica. Nessa nova condição a ECU empobrecerá a mistura decrementando o valor do tempo de abertura da válvula injetora cada ciclo de injeção, até que o EGO mude de condição reiniciando um novo ciclo. Se os valores do tempo dos ciclos de trabalho (enriquecimento e empobrecimento) forem iguais, o resulta que o valor de tempo final é igual a inicial. Se houver uma diferença entre eles gera um resíduo tempo que será somado ao próximo ciclo.

Essa técnica de controle da mistura é usada no simulador comercial do EGO fabricado pela Tury do Brasil modelo T64. Podemos ver na figura 28 um gráfico do sinal de saída do simulador em função do controle do ciclo de trabalho.

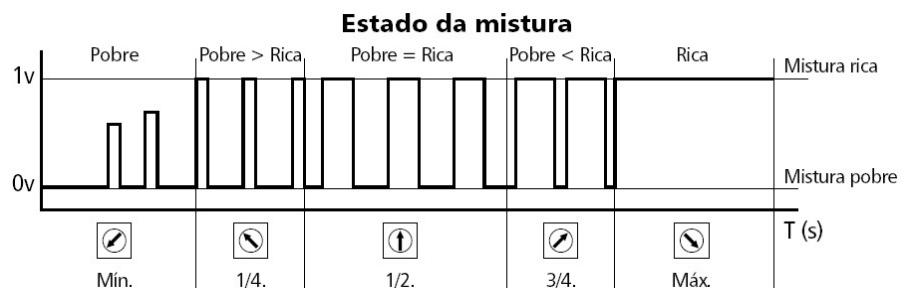


Figura 28 – Gráfico sinal de saída de um simulador *EGO* modelo T64 fabricado pela Tury.

Podemos gerar um sinal semelhante utilizando um oscilador com 555, como ilustrado no circuito da figura 29. O circuito é semelhante ao anterior, mas foi acrescentado dois diodos de chaveamento de modo criar dois caminhos, um para corrente de carga e outro para a corrente de descarga. O ciclo de trabalho depende da posição do cursor do potenciômetro RV1. Podemos utilizar a formula (16) para calcular a frequência aproximada, onde R é igual à metade do valor do potenciômetro RV1 mais o valor de R1 e C igual C1. O calculo não é preciso por causa da inserção dos dois diodos em serie. A frequência de operação esta em torno de 1,0 Hz a 0,25 Hz.

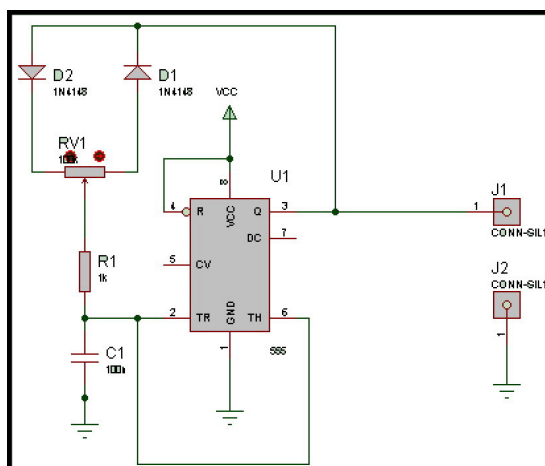


Figura 29 - Esquema de um oscilador com frequência fixa ciclo de trabalho variável.

Na figura 30 temos o circuito final e na sua saída podemos ver um condicionador de sinal. O resistor variável RV2 é ajustado para simular uma tensão de pico a pico em torno 800 mV do sensor EGO. Já o RV1 ajustado para simular o componente de tensão continua de 100 mV.

3.1.5 Atuadores de Acionamento Direto.

A ECU aciona diretamente estes atuadores e condiciona os sinais desses atuadores de forma de obter resultados desejados. Em nosso projeto temos dois atuadores desse grupo: válvula injetora e motor de passo de marcha lenta.

A válvula injetora pode ser simulada pelas suas características elétricas, indutiva e resistiva. Como podemos ver no diagrama elétrico na figura 32 na figura 31 temos este simulador da válvula injetora montada junto com os relés.

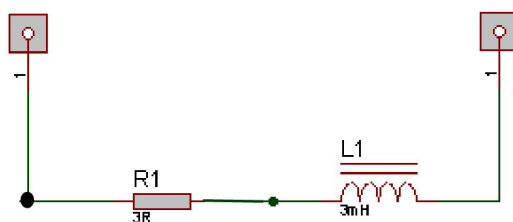


Figura 32 - Diagrama elétrico do simulador da válvula injetora.

O motor de passo da marcha lenta, da mesma forma que os relés, são de fácil aquisição e manipulação não havendo necessidade de uma simulação. Pode se usar um motor de passo no lugar o que torna possível a visualização dos efeitos de sua atuação.

3.1.6 Fonte de Alimentação para ECU

Outro item importante é a fonte de alimentação para ECU. A fonte terá que simular o comportamento do sistema de alimentação automotivo. Durante o funcionamento do sistema de alimentação automotivo de energia elétrica é provido pelo alternador que é capaz de manter uma tensão estável em quase todos os regimes de funcionamento, mas em certas situações que o circuito depende da bateria como, por exemplo, iluminação noturna ocorre a perda na qualidade da regulação de tensão do alternador. O momento mais crítico é o da partida do motor, e a única fonte de alimentação é a bateria. O motor de arranque drena uma alta corrente para iniciar a partida do motor e faz com que a tensão do circuito, que é alimentado pela bateria, chegar a menos 9 Volts em alguns casos. Dessa forma, essa variação de tensão afeta o tempo de abertura da válvula injetora. Assim, a ECU tem que compensar esse tempo de variação quando aciona a válvula injetora.

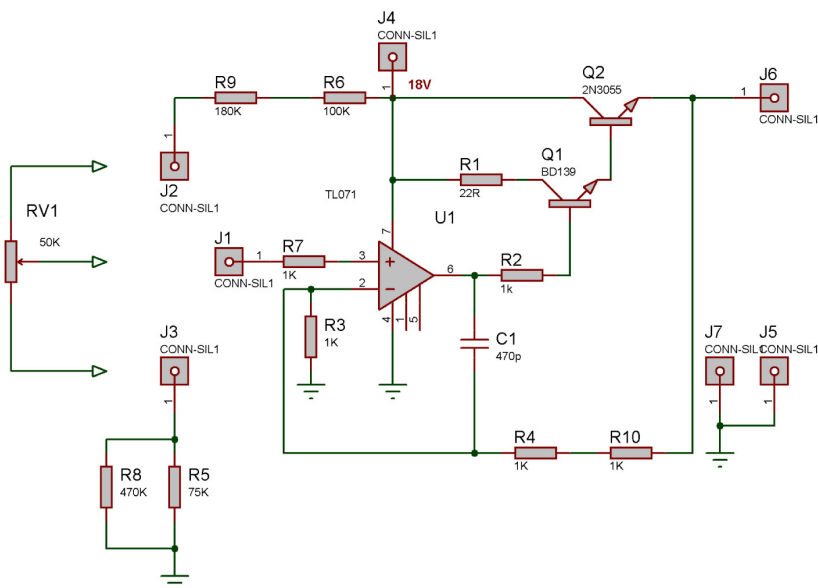


Figura 33 - Diagrama eletrônico da fonte de alimentação ajustável para a ECU.

Para podermos criar está situação, foi construída uma fonte de alimentação ajustável em serie em malha fechada baseado no circuito operacional TL071, como podemos ver na figura 33. O amplificador operacional compara a tensão do potenciômetro RV1 com a saída da fonte e se houver uma diferença gera uma tensão de erro que excita o par *Darlington* Q1 e Q2, que irá compensar a diferença mantendo a tensão estável. A malha de realimentação é dada pelos resistores R3 e R4 e calculada para um ganho 3. Assim, a tensão do potenciômetro varia entre 3 V e 5 V obtendo se na saída da fonte entre 9 V a 15 V. Essa fonte de alimentação ajustável irá alimentar a ECU. Ela recebe uma tensão de 18 V na entrada o que garante uma boa regulação da fonte ajustável.

3.1.7 Cronômetro para Medir o Tempo de Abertura da Válvula Injetora

Este cronômetro foi construído com função de medir o tempo de abertura da válvula injetora e se baseia na contagem de pulsos que tem intervalo entre eles de 100 μ s durante o período de abertura da válvula injetora. Para podermos compreender melhor seu funcionamento, o circuito do cronômetro foi dividido em quatro blocos: controle, contador, gerador de pulsos e *display*, como podemos ver na figura 34.

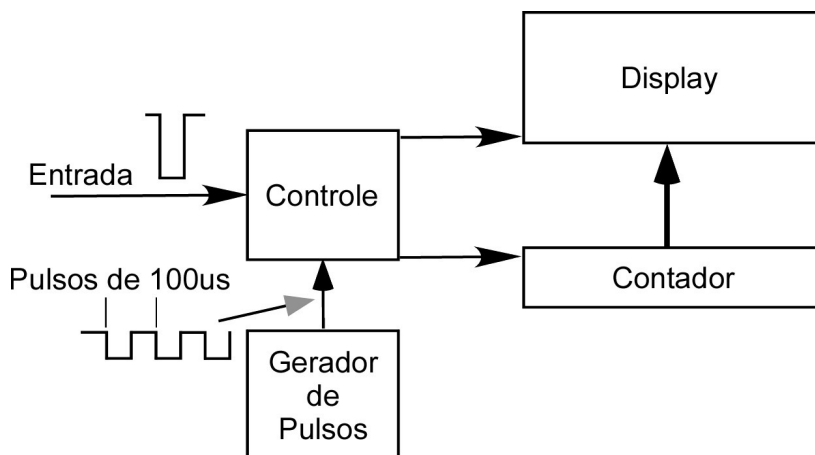


Figura 34 - Diagrama de bloco do cronômetro.

O gerador de pulsos é constituído por um oscilador à cristal de 4 MHz e essa frequência é dividida por 400, obtendo-se pulsos com intervalos entre eles de 100 μ s.

O controle quando recebe o sinal da abertura da válvula injetora e libera a contagem dos pulsos vinda do gerador de pulsos para contador. Assim que recebe sinal de fechamento da válvula injetora inibe o envio dos pulsos para contagem e transfere o valor contado do contador para o *display*. Logo após, zera o contador deixando preparado para uma nova contagem.

O contador é formado por quatro contadores BCD (*Binary Coded Decimal*) e é capaz de contar até 9999 pulsos. O *display* armazena o valor da contagem vinda dos contadores BCD, liberando o contador para uma nova contagem e decodifica estes valores binários para serem visualizados em *display* de LEDs de 7 segmentos.

3.1.8 Contador de Passos.

A figura 35 mostra o circuito de eletrônico do contador de passos do motor de marcha lenta que montado no simulador para facilitar a visualização de sua atuação. Este circuito se baseia em um microcontrolador PIC16F84A fabricado pela Microchip. Em sua memória foi gravado um programa que é capaz de distinguir as variações das tensões geradas pela ECU para acionamento do motor de passo da marcha lenta geram valores que são mostrados no *display*.

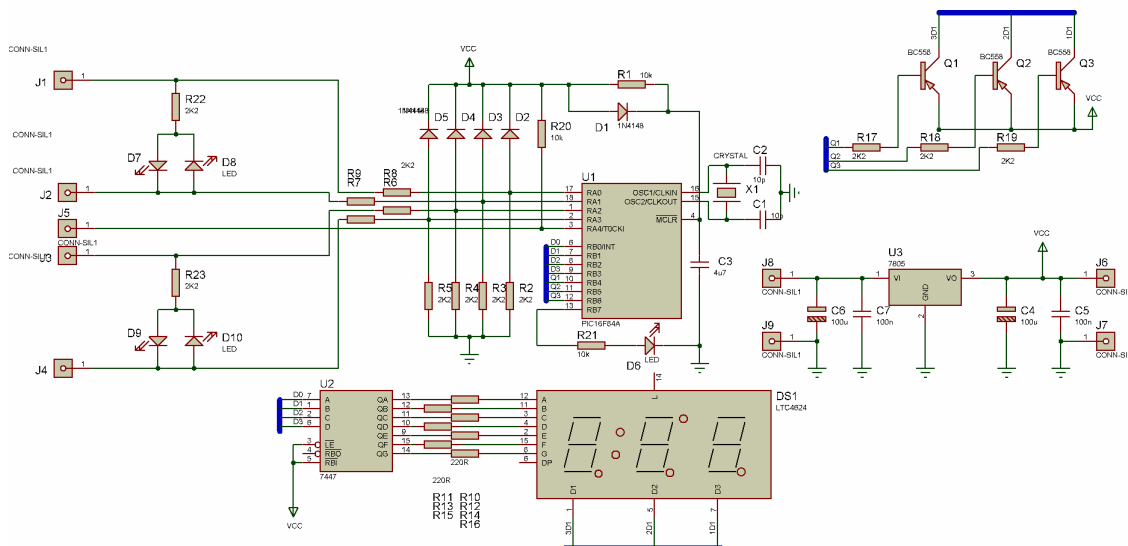


Figura 35 - Esquema eletrônico do contador de passos do motor de marcha lenta.

3.2 Outros Elementos do Projeto

O projeto do modelo para simulação de sensores baseia-se em vários osciladores, potenciômetros, chaves, bornes de conexão, montados em um painel de acrílico fixado a uma base de madeira de uma forma simples e de fácil construção. No painel foram fixados os potenciômetros, sinalizadores por LEDs, chave, bornes de conexão e os instrumentos de medida (cronômetro e contador de passos). Na base de madeira temos fixado a fonte de alimentação, fonte ajustável, placa com osciladores e a placa com modelo de simulação dos atuadores.

3.2.1 Fonte de Alimentação

A fonte de alimentação utilizada tem uma tensão nominal de 18 V. Ela é adequada para alimentar fonte ajustável que alimenta a ECU, mas a tensão é demasiada alta para alimentar outros circuitos e que poderiam ser danificados. Desse modo, foi utilizado um conversor DC – DC com base no circuito integrado LM2596-ADJ regulador chaveado *step-down* que usa poucos componentes externos e é de alta eficiência e fácil implementação. Como podemos ver na figura 36, a tensão de saída pode ser calculada pela fórmula 17. A tensão de referência é igual 1,25 V e calculando-se os valores chegamos a valor 8,25 V na saída, o que torna a fonte totalmente adequada para alimentação dos circuitos.

$$\text{Tensão de saída} = V_{REF} \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \quad (4)$$

3.2.3 Ferramentas de Programação

O programa do contador de passos foi desenvolvido na plataforma de programação CCS, usando um ambiente de desenvolvimento PCWHD que é ferramenta completa para desenvolvimento e depuração de aplicações para microcontroladores PIC. Ele contém o editor de linguagem C e o compilador da CCS. Para gravação do código gerado pelo compilador CCS para o microcontrolador PIC16F84A foi utilizada plataforma de desenvolvimento MPLAB IDE versão 8.30 produzida pela Microchip Technology Incorporated, fabricante também do microcontrolador e do programador MPLAB ICD 2.

3.2.4 Painel de Conexões e Instrumentos

O painel de conexões e de instrumentos foi confeccionado em acrílico, e que também serviu como suporte de fixação mecânica aos diversos componentes. Nele foram fixadas as chaves eletromecânicas, potenciômetros, os sinalizadores de indicação de estado, o cronômetro e o contador de passos. A montagem final pode ser vista na figura 38. Além disso, temos uma barra de conexão formada pelos bornes que serão usados para interligar a ECU sob teste.

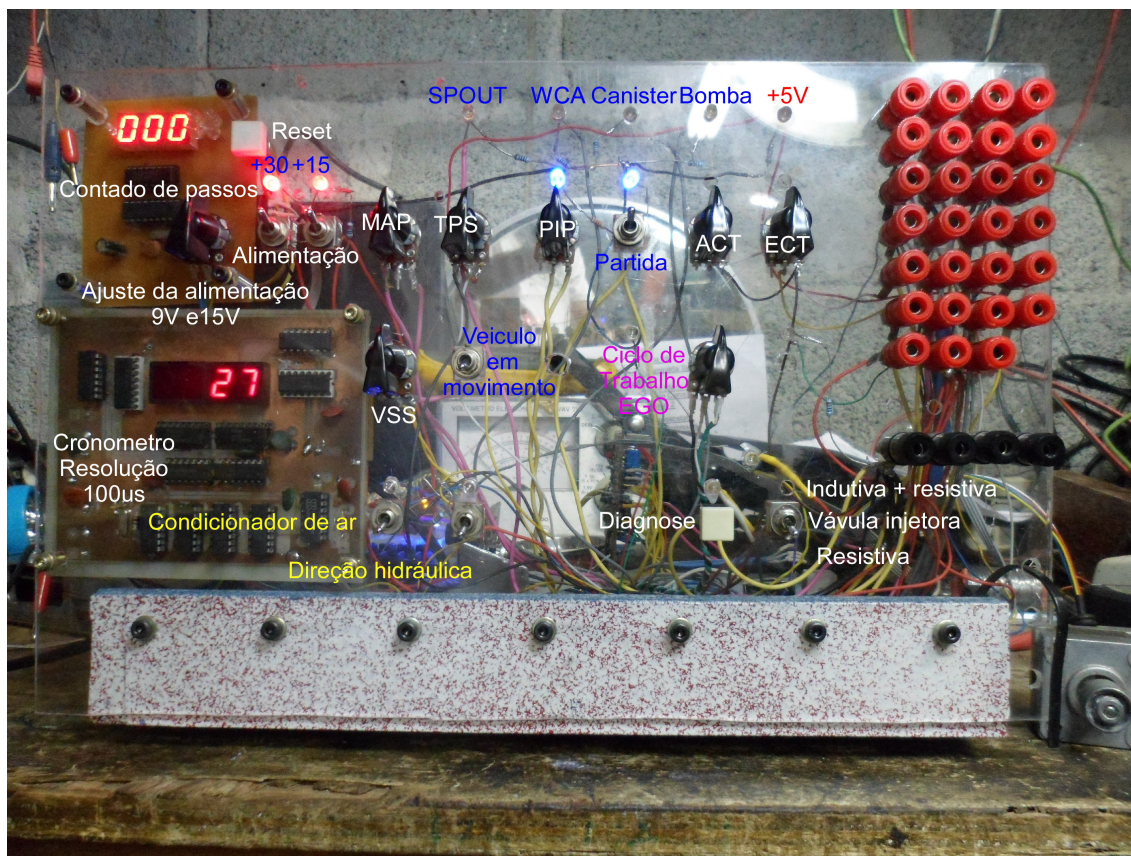


Figura 38 – Vista frontal do Simulador de Sensores e Atuadores para ECUs-EEC-IV.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após o planejamento e o desenvolvimento teórico e prático para construção do Circuito de Simulação dos sensores do motor de combustão interna, visto no capítulo 3, serão apresentados neste capítulo vários ensaios com o Circuito de Simulação e os resultados obtidos pela variação pontual dos parâmetros dos sensores, bem como a sua influencia no tempo de abertura válvula injetora.

A partir das medições foram criadas várias tabelas e gráficos e que tornam bem claras a discussão entre as relações da variação do tempo de abertura da válvula injetora em função da variação dos valores medidos nos sensores. Em alguns casos foram necessárias algumas adaptações, já que foi constatado que o tempo na abertura válvula injetora não é o único modo de controle na quantidade de combustível injetado, mas também os regimes de sincronização que são abertos em função do sinal do sensor de rotação PIP. Assim, foram encontrados três formas de sincronização: o primeiro a válvula injetora é aberta cada dois pulsos de rotação, o segundo cada pulso de rotação e o terceiro a válvula é aberta duas vezes cada pulso, como podemos observar na figura 39.

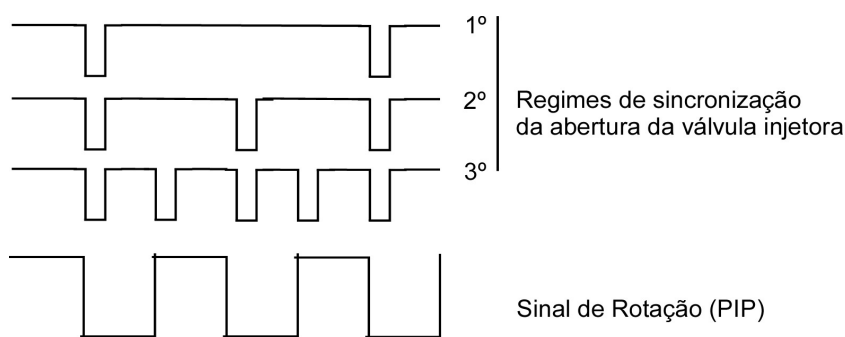


Figura 39 – Regimes de sincronização da abertura válvula injetora com sinal de rotação (PIP).

Os valores tanto de pressão quanto de temperatura foram convertidos com base nas tabelas do manual de injeção eletrônica da *SIMPLO DVD Plus versão 2009* como também pelas tabelas publicadas no sitio da *OldFuelInjection.com*.

4.1 Variando a Tensão de Alimentação da ECU

Na figura 40 temos o gráfico da variação do tempo de injeção, em função da variação da tensão de alimentação da ECU construído com base na tabela 7 e que reproduz os dados coletados durante o experimento da variação da tensão de alimentação da ECU. A tabela 6 indica os valores fixos para o experimento.

Observamos no gráfico da figura 40 o tempo injeção em função da tensão de alimentação. Nota-se que nas tensões mais baixas o tempo de injeção é maior. Isso acontece porque o tempo em que válvula injetora leva para abrir depende da corrente de acionamento, que por sua vez depende da tensão de alimentação. Assim, a ECU compensa essa variação pela aumentando ou diminuindo o tempo em que válvula fica aberta.

PIP	TPS	MAP	ECT	ACT
10 Hz (300 RPM)	2,25 V	117 Hz (15inHg)	1,02 V (70°C)	2,75 V (+33°C)

Tabela 6 - Valores fixos para teste variação de tensão de alimentação.

Tensão de alimentação (V)	Tempo de injeção (ms)
9,17	2,9
9,51	2,8
9,77	2,7
10,46	2,6
10,79	2,5
11,14	2,4
12,4	2,3
13,86	2,2
14,68	2,1
15,43	2

Tabela 7 – Tempo de injeção versus tensão de alimentação

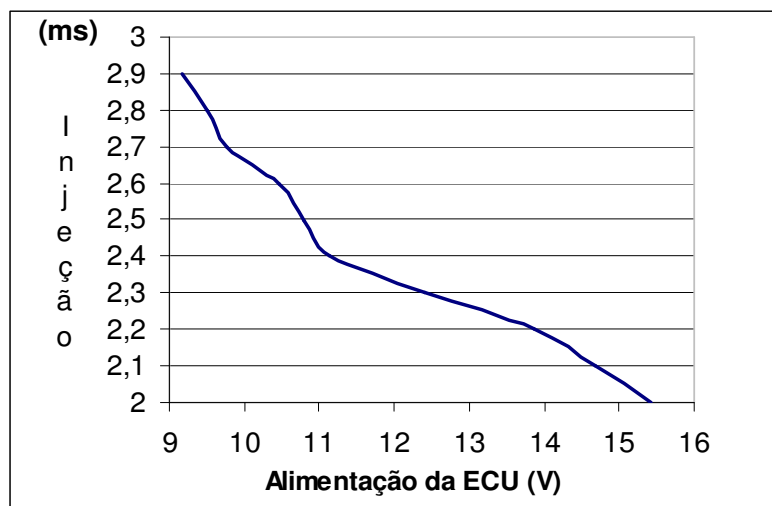


Figura 40 - O gráfico de tempo injeção em função da tensão de alimentação.

4.2 Variando a Tensão do Sensor de Temperatura do Ar (ACT)

Na figura 41 temos o gráfico da variação do tempo de abertura da válvula injetora, em função da temperatura. Para construção deste gráfico foram utilizados os valores da tabela 9, que foi obtida durante o experimento da conversão da tensão do sensor em graus Celsius, comparando com as tabelas publicadas pelo sitio da *internet OldFuelInjection.com*. A tabela 8 indica os valores fixos para os experimentos.

PIP	TPS	MAP	ECT	Tensão de alimentação
10 Hz (300 RPM)	2,25 V	117 Hz (15inHg)	1,02 V (70°C)	13 V

Tabela 8 - Valores fixos para teste variação de tensão do ACT.

Voltagem ACT (V)	ACT (°C)	Tempo de injeção (ms)
4,62	-14,44	2,8
4,52	-12,22	2,7
4,42	-10	2,6
4,25	-6,22	2,5
3,92	0	2,4
3,24	17,2	2,3
2,68	30	2,2
0	160	2,1

Tabela 9 – Tempo de injeção versus tensão do sensor de temperatura do ar (ACT).

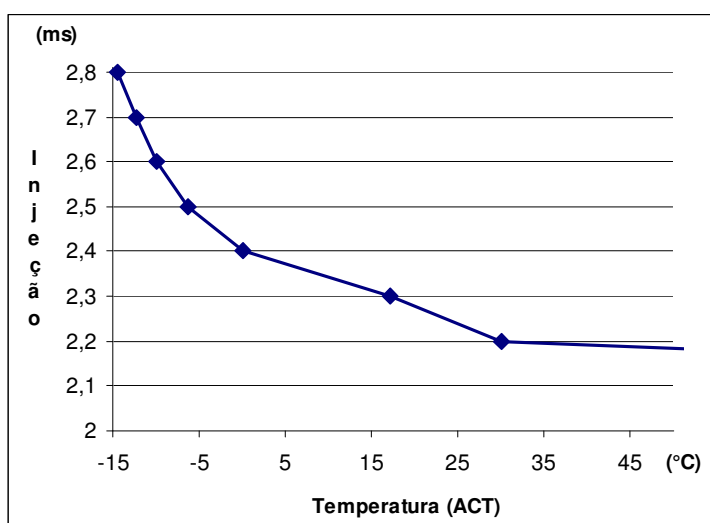


Figura 41 - O gráfico de tempo injeção em função da temperatura do ar.

Observamos na figura 41 o gráfico do tempo injeção em função da temperatura do ar. Sabemos que a temperatura do ar é um dos parâmetros para cálculo da massa de ar admitida. Como podemos observar, quanto maior a temperatura ar menor é a massa de ar admitida, então menor o tempo de injeção.

4.3 Variando a Tensão do Sensor de Temperatura do Motor (ECT)

Na figura 42 temos o gráfico que mostra a variação do tempo de abertura válvula injetora em função da temperatura do líquido de arrefecimento do motor. Para construção desse gráfico foram utilizados os valores da tabela 11, obtidas durante o experimento, e para conversão da tensão do sensor em graus Celsius foram utilizados as tabelas publicadas pelo sítio *OldFuelInjection.com*. A tabela 10 indica os valores fixos para os experimentos.

Observamos na figura 42 o gráfico da variação do tempo de injeção em função da temperatura do líquido de arrefecimento do motor. Assim, de forma indireta mede-se a temperatura do motor e cujo parâmetro (temperatura do motor) controla a estratégia de aquecimento. Quando o motor está frio a mistura ar/combustível não é eficiente. A baixa temperatura provoca diminuição da vaporização do combustível e a uma condensação nas paredes do coletor de admissão. Assim a ECU enriquece a mistura de maneira a minimizar estes efeitos.

PIP	TPS	MAP	ACT	Tensão de alimentação
10 Hz (300 RPM)	2,25 V	117 Hz (15inHg)	2,75 V (28°C)	13 V

Tabela 10 - Valores fixos para teste variação de tensão do motor (ECT).

Voltagem ECT (V)	Temperatura ECT (°C)	Tempo de injeção (ms)
0,5	100	2,1
0,75	97	2,2
1,73	50	2,3
2,82	34,5	2,4
3,49	26,7	2,4
3,89	17	2,5
3,8	13,7	2,6
4	-0,6	2,7
4,08	-2,4	2,8

Tabela 11 – Tempo de injeção versus da tensão do sensor de temperatura do motor (ECT).

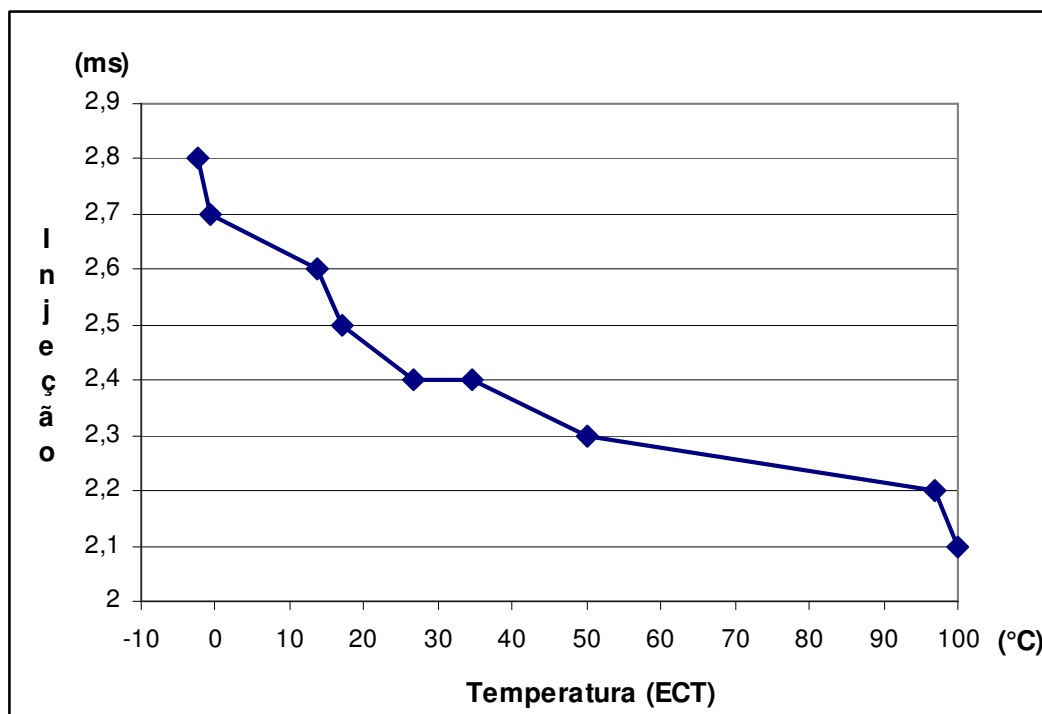


Figura 42 - O gráfico de tempo injeção em função da temperatura do motor.

4.4 Variando a Frequência do Sensor de Pressão Absoluta (MAP)

Na figura 43, temos um gráfico do tempo de injeção em função da pressão no coletor de admissão. Ela foi concebida através da tabela 13, e como dito anteriormente, o tempo de abertura da válvula de injeção não é único modo de controlar a quantidade de combustível injetada. Na tabela 13 há uma coluna denominada regime de injeção em que podemos ver a mudança da pulsação da válvula injetora em função do sinal do PIP. De forma a simplificar a observação da variação tempo de injeção em função da pressão do coletor de admissão, foi escolhido somente o segundo modo do regime de injeção, em que a válvula injetora aciona a cada pulso do sinal do PIP. A tabela 12 indica os valores fixos para os experimentos.

Esta é a situação mais difícil de acontecer em condições reais, uma variação da pressão do coletor de admissão sem variação na rotação motor e nem da posição do TPS, mas totalmente admissível em uma simulação em que se podem criar situações inadmissíveis no mundo real. Os resultados obtidos podem ser vistos na figura 43. O gráfico mostra a proporcionalidade entre a variação de pressão no coletor de admissão e o tempo de injeção. Deve-se observar também que os valores de pressão indicam a diferença de uma pressão negativa em relação para a atmosférica, ou seja, quanto maior o valor da pressão indicada maior é o vácuo dentro do coletor de admissão ou menor a massa de ar.

PIP	TPS	ECT	ACT	Tensão de alimentação
10 Hz (300 RPM)	2,25 V	1,02 V (70°C)	2,75 V (28°C)	13 V

Tabela 12 - Valores fixos para teste variação de frequência do MAP.

Regime de injeção	Tempo de injeção (ms)	MAP (Hz)	MAP (inHg)
1°	2	96	23,5
1°	2,1	100	21,4
1°	2,2	102	21
1°	2,1	104	20
1°	2,2	106	19,33
1°	2,3	107	19
1°	2,4	109	18
1°	2,5	110	17,5
2°	2	112	16,67
2°	2,1	114	16
2°	2,2	116	15,33
2°	2,3	117	15
2°	2,4	119	14
2°	2,5	121	13
2°	2,6	123	12,5
2°	2,7	125	12
2°	2,8	126	11
2°	2,9	128	10,43
2°	3	129	10,14
3°	2	133	9
3°	2,1	139	6,57
3°	2,2	143	5,6
3°	2,3	147	4,5
3°	2,4	150	3
3°	2,5	154	1,67
3°	2,6	159	0
3°	4,6	161	0

Tabela 13 – Tempo de injeção versus frequência do sensor de pressão absoluta(MAP).

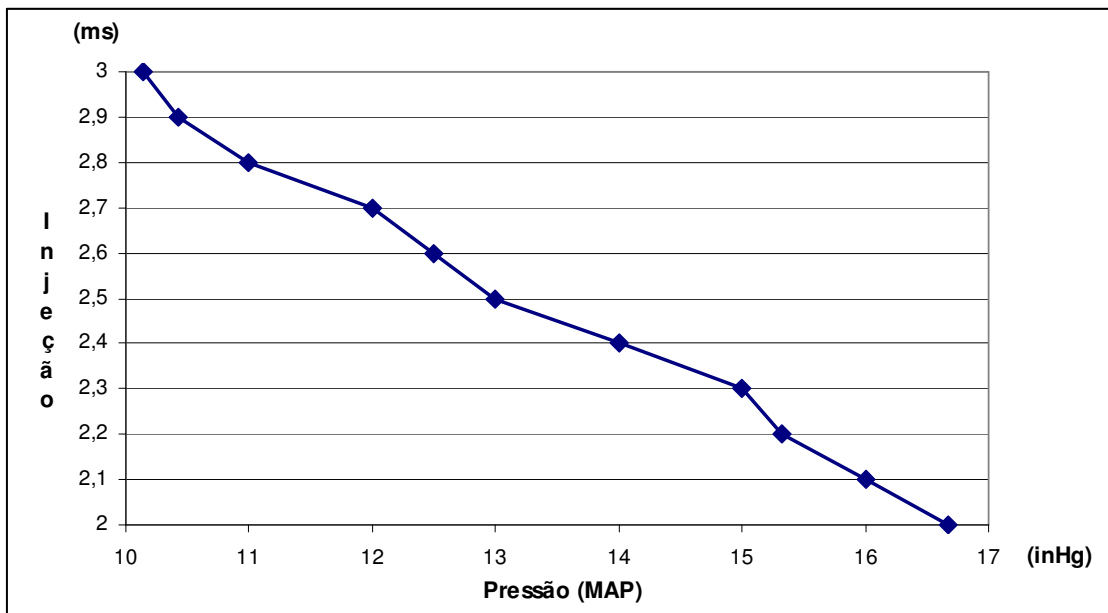


Figura 43 - O gráfico do tempo injeção em função da pressão absoluta.

4.5 Variando o Ciclo de Trabalho do EGO

A figura 44 mostra o gráfico construído através da tabela 15 e que indica a atuação do tempo de injeção partir do ciclo de trabalho do EGO. Em uma situação de empobrecimento da mistura ar/combustível, parte-se do tempo de abertura maior para o menor da válvula injetora. Durante os experimentos do controle de ciclo de trabalho do EGO foi constatado que variação no tempo de abertura da válvula injetora a partir de um determinado valor provoca a mudança no regime de injeção, e que também o tempo de enriquecimento é igual ao de empobrecimento se for mantida as mesmas condições de teste.

De forma similar ao item anterior e para facilitar a construção e interpretação do gráfico foi escolhido para seu desenho somente os valores obtidos no empobrecimento da mistura no segundo regime de injeção em que válvula injetora pulsa cada pulso do sinal do PIP. A tabela 14 indica os valores fixos para os experimentos.

PIP	TPS	ECT	MAP	ACT	Tensão de alimentação
41,1 Hz (1233 RPM)	0,359 V	0,646 V (70°C)	121,7 Hz (13inHg)	2,26 V (33°C)	13 V

Tabela 14 - Valores fixos para teste variação do ciclo de trabalho do EGO.

Tempo de injeção (ms)	Medida onde houve a variação do tempo de abertura (s)
3,2	0
3,1	2
3	4
2,9	7
2,8	11
2,7	14
2,6	18
2,5	22
2,4	26
2,3	32
2,2	36
2,1	43
2	51

Tabela 15 – Tempo de injeção versus empobrecimento da mistura.

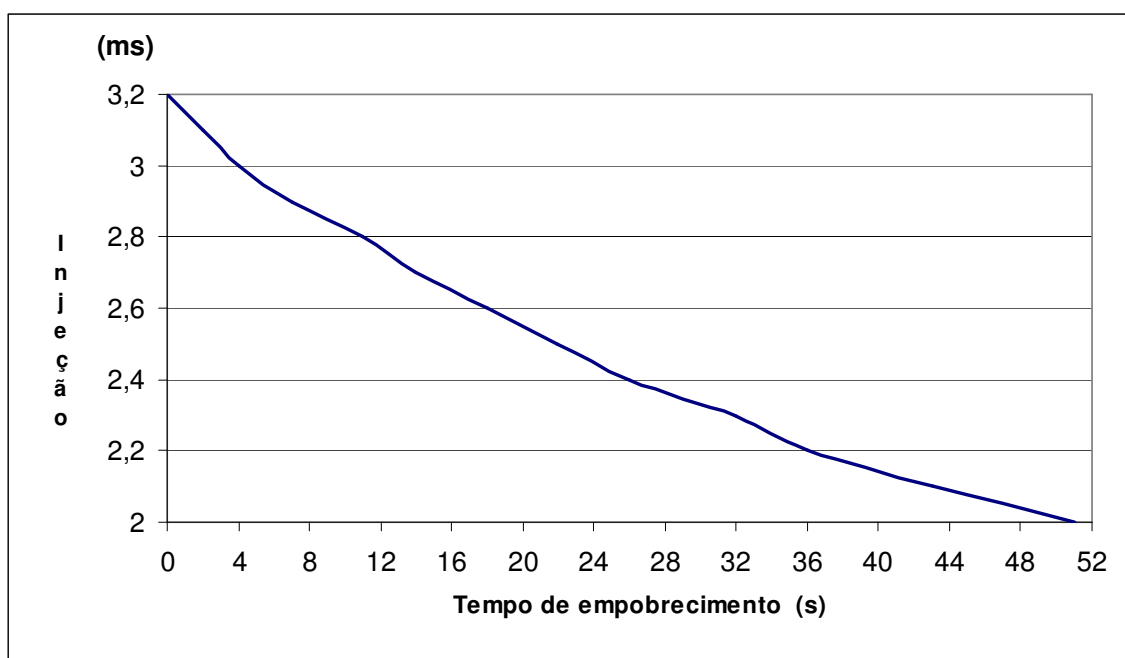


Figura 44 - O gráfico do tempo injeção em função do tempo empobrecimento da mistura ar/combustível.

4.6 Variando a Frequência do Sensor de Rotação (PIP)

Na figura 45 é apresentado um gráfico da variação do tempo de abertura da válvula injetora em função da frequência do sensor de rotação do motor (PIP). Esse gráfico foi construído com base na tabela 17 e com os valores obtidos nos experimentos. A tabela 16 indica os valores fixos para os experimentos.

TPS	ECT	MAP	ACT	Tensão de alimentação
0,359 V	0,646 V (70°C)	113 Hz (16,5inHg)	2,26 V (33°C)	13 V

Tabela 16 - Valores fixos para teste variação de frequência do PIP.

Rotação PIP (Hz)	Tempo de injeção (ms)
25	2,4
30	2,4
35	2,4
40	2,4
45	2,4
50	2
55	2
60	2
65	2
70	2
75	2
80	2
85	2
90	2
95	2
100	2

Tabela 17 – Tempo de injeção versus função da frequência do PIP.

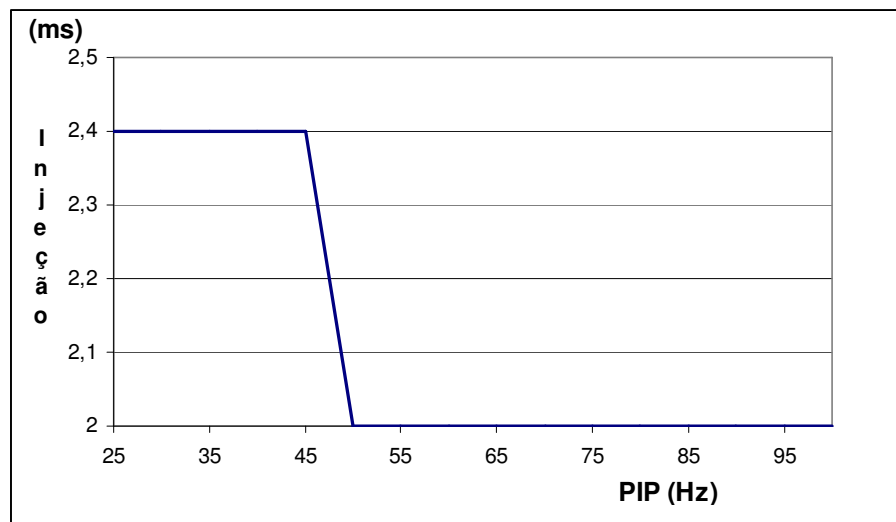


Figura 45 - O gráfico do tempo injeção em função da frequência do PIP.

Como podemos observar na figura 45 o gráfico mostra uma mudança drástica no tempo de abertura da válvula injetora em torno 50 Hz. Essa frequência equivale a 1500 RPM na árvore de manivelas do motor.

Os valores da tabela variam de 25 Hz a 100 Hz, mas durante o ensaio foram gerados sinais de 25 Hz a 450 Hz, sendo que o valor do tempo de injeção ficou constante durante toda faixa acima dos 50Hz. Para facilitar a visualização do gráfico limitou-se aos 100 Hz.

4.7 Variando os Sinais dos Sensores TPS, VSS, ACC, PSPS

Os sinais de TPS, VSS, ACC e PSPS não demonstraram nas situações de simulação pontual qualquer alteração no tempo da abertura da válvula de injeção, mas apenas observou-se variação na abertura do *bypass* pela atuação do motor de passo. Deve ser lembrado que nas condições reais, a variação na abertura *bypass* modifica a pressão no coletor de admissão, e por consequência tempo de abertura da válvula injeção.

4.8 Conclusão

Apesar deste modelo de simulação de motor estar longe de representação fidedigna ao funcionamento do motor, puderam-se observar resultados bem próximos aos teoricamente esperados. Tomados os devidos cuidados na análise dos resultados vemos que ele pode se tornar uma ferramenta auxiliar a compreensão do funcionamento e gerenciamento do motor.

5 CONCLUSÕES

O objetivo deste projeto foi criar um dispositivo que simulasse os sinais dos sensores de um motor de combustão com baixo custo e com materiais de fácil manipulação e, ainda de forma didática. O equipamento também será útil para os testes iniciais dos projetos das unidades de controle eletrônico de injeção da disciplina de Gerenciamento de Motores I da Fatec Santo André, bem como favorecer uma melhor compreensão do funcionamento das unidades de controle eletrônico comerciais.

Como o objetivo inicial foi observar a atuação no tempo de injeção pela variação pontual dos parâmetros dos sensores de um motor de combustão utilizando-se no experimento a ECU EEC-IV, pode-se dizer que os resultados obtidos foram todos satisfatórios, principalmente avaliando-se as medidas apresentadas no capítulo 4.

Além do objetivo inicial podemos destacar as seguintes observações obtidas durante os experimentos e que podem servir como base para novos estudos e ensaios.

- A atuação do motor de passo da marcha lenta, não somente em marcha lenta, mas também em outros regimes de funcionamento, em função da variação os valores dos sinais dos sensores.
- A ação da válvula injetora não somente varia o tempo de injeção como também o momento que ela abre em função do sinal de sincronização PIP.
- O comportamento do atuador do condicionador de ar, do relé de plena potência e do relé da direção hidráulica.
- A leitura e apagamento dos erros gravados na memória da ECU utilizando as conexões de diagnóstico, mas que não foram descritas e discutidas neste texto.

De uma maneira geral, podemos analisar o comportamento da ECU em uma série de condições que seriam impraticáveis de serem realizadas com um sistema real. Entretanto, agora podem ser conseguidas agora com o uso deste simulador.

5.1 Sugestões de Propostas Futuras

Alguns elementos podem ser acrescentados neste simulador de forma a melhorar o seu desempenho como, por exemplo:

- Um cronômetro para medir o controle de ignição.
- Desenhar uma escala em volta dos potenciômetros para que os mesmo indiquem valores ajustados.

- Uma extensão conectada a uma válvula injetora externa, bomba de combustível e um tanque de armazenamento, para que possa ser usada em um equipamento para medir a vazão de combustível.

Além destas sugestões devemos lembrar que este equipamento foi construído de forma simples e didática. Ele é incapaz de gerar simulações de forma dinâmica e que pode criar uma série de situações totalmente incompatíveis com a realidade, justamente pela falta de interação entre os diversos dos sensores e atuadores de forma simultânea.

Como proposta futura para construção de um novo simulador deve-se tomar como principio a interação entre todos os sinais, de forma a se aproximar de um motor real. Isto se dará de maneira mais simples utilizando uma plataforma computacional tanto para gerar os dados dos sensores como adquirindo informações dos seus atuadores e, desta forma, criar uma interação dinâmica.

6 REFERÊNCIAS

ANDREOLI, Alexandre Giordani. **Injeção Eletrônica Programável Para Automóveis**. Projeto de Diplomação Graduação Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio Grande Sul, Porto Alegre –RS, 2009.

BISHOP, Robert H.. **Mechatronic Systems Sensors, And Actuators Fundamentals and Modeling**. CRC Press, 2008.

BONNICK, Allan W. M.. **Automotive Computer Control System Diagnostic Tools and Techniques**. Butterworth-Heinemann, 2001.

BOSCH, Robert. **Manual de Tecnologia Automotiva**. 25ª ed.. São Paulo Editora Edgard Blücher, 2005.

BIANCHI, Neto; CANESIN, Wilson Custódio. **SIMULAÇÃO**, 2002: Disponível em: <http://www.docstoc.com/docs/112859686/SIMULACAO-1>; Acesso em: 10 de junho de 2013

BRAGA, Gabriel Teixeira. **Uma Contribuição ao Controle de Motores de Combustão Interna de Ignição por Centelha na Condição de Marcha Lenta**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, 2007.

DENTON, Tom. **Automobile Electrical and Electronic System**. 3ª ed.. Butterworth-Heinemann, 2004.

FAIRCHILD. Semiconductor Corporation; **LM555 Single Timer**. 2011: Disponível em: <http://www.fairchildsemi.com/ds/LM/LM555.pdf>; Acesso em: 15 de Abril de 2013.

FREITAS FILHO, Paulo José. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações Arena**. 2ª ed.. Visual Books – SP 2008.

GONÇALVES, Sergio Starling. **Injeção Eletrônica Sem Segredos**. STAR Inforgráfica, 2004.

GUIMARÃES, Alexandre de Almeida. **Eletrônica Embarcada Automotiva**, 1ªEd.. São Paulo – SP. 2007.

MILHOR, Carlos Eduardo. **Sistema de Desenvolvimento para Controle Eletrônico dos Motores de Combustão Interna Ciclo Otto**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos - SP, 2002.

MIYAGI, Paulo E.. **Introdução a Simulação Discreta**, 2006: Disponível em: http://minerva.ufpel.edu.br/~alejandro.martins/dis/2012_2/simulacao/Apostila_Simulacao.pdf ; Acesso em: 10 de junho de 2013

OldFuelInjection.com; Disponível em: oldfuelinjection.com/; Acesso em: 15 de Abril de 2013

RIBBENS, William B.. **Understandig Automotive Electronics**. 5ª ed.. Butterworth-Heinemann, 1998.

SIMPLO DVD Plus versão 2009; SIMPLO (Sistema de Informação Objetivas de Autotrônica); www.simplo.com.br; Caxias de do Sul – RS

TEXAS, Instruments. **LM555**, 2013: Disponível em: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm555.pdf>; Acesso em: 15 de Abril de 2013

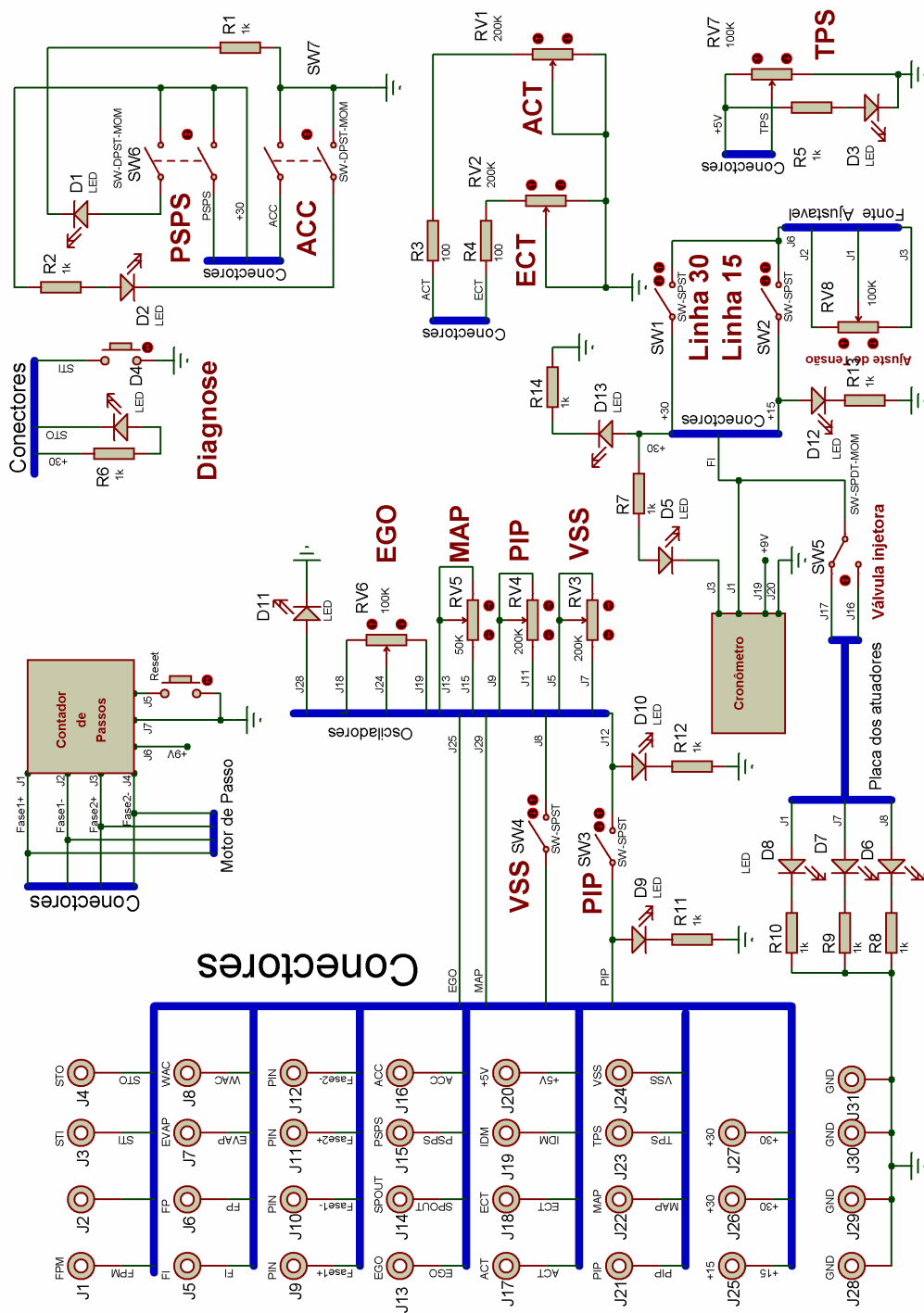
THOMSON, TEM. **Informações Técnicas Diagnóstico dos Componentes Verificação de Circuitos e Componentes Sistema de Arrefecimento**; Disponível em: <http://www.mtethomson.com.br/site/wpcontent/uploads/2012/05/CatalogoThomsonTest.pdf>; Acesso em: 15 de Abril de 2013.

TURY, do Brasil Industria e Comércio Ltda. **T64 Simulador de Sonda Lâmbda Regulável**; Disponível em: <http://www.tury.com.br/espanol/downloads/manuais/t64.pdf> ; Acesso em: 15 de Abril de 2013.

WILDNER, Fabiano Disconzi. **Estudo Experimental da Variação de Velocidade de Combustão para Diferentes Combustíveis, Relações de Mistura e Relações de Compressão em um Motor ASTM CFR**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS 2006.

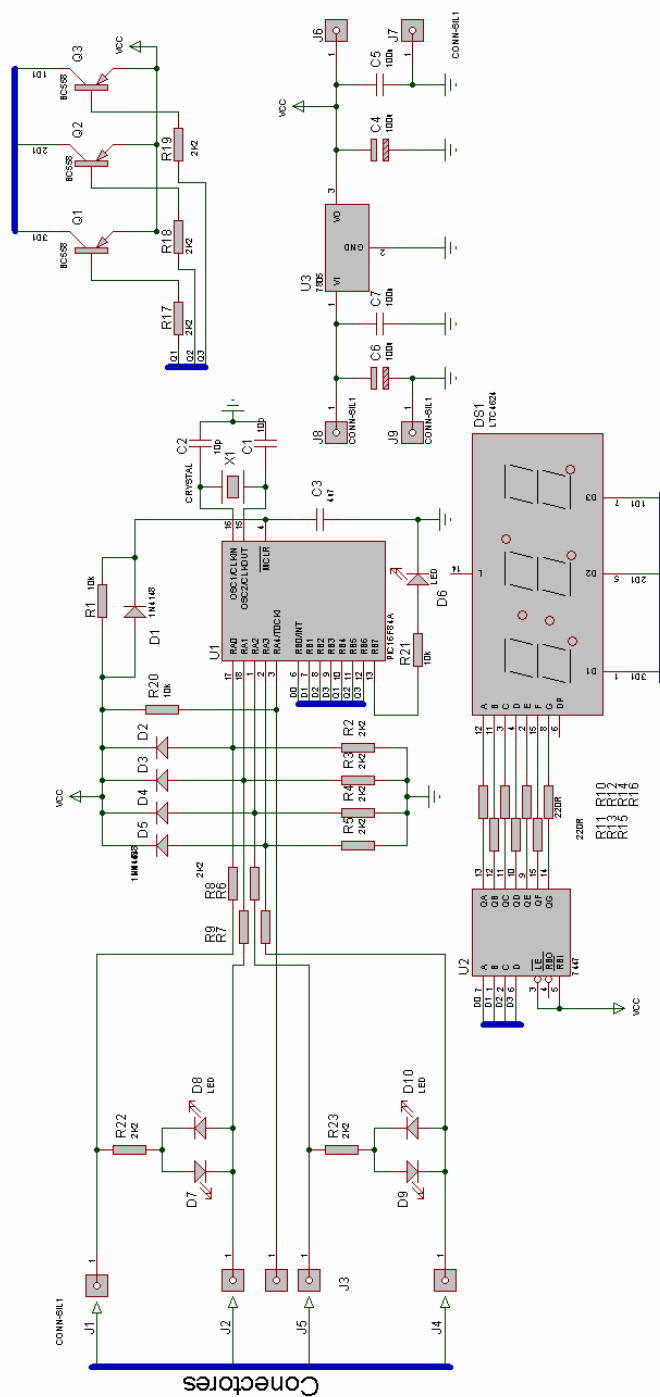
7 APÊNDICE

7.1 Esquema do Pannel



7.2 Contador de Passos

7.2.1 Hardware



7.2.2 Firmware

```
#include <16F84A.h>

#FUSES NOWDT           //No Watch Dog Timer
#FUSES HS               //High speed Osc (> 4mhz)
#FUSES NOPUT           //No Power Up Timer
#FUSES NOPROTECT       //Code not protected from reading

#use delay(clock=4000000)
#use fast_io(A)

/*****
**/

void WordDecimal_2(long int *iWorhex, int *iValor)
{
    int i;
    unsigned long int liTemp;
    liTemp = *iWorhex;
    for(i=0; i<3;i++)*(iValor+i)=0;
    for(;liTemp > 99; liTemp -= 100) (*(iValor))++;
    for(;liTemp > 9; liTemp -= 10) (*(iValor+1))++;
    *(iValor+2) = liTemp;
}

/*****
**/

void Imprimir(signed long int liValor)
{
    #define DISPLAY_TEMPO 4
    unsigned int iDisplay[3];

    WordDecimal_2(&liValor, iDisplay);

    output_high(PIN_B4); // centena
    output_high(PIN_B5); // dezena
    output_high(PIN_B6); // unidade
    output_low(PIN_B7);  // negativo
    output_b(iDisplay[0] | 0x70);
    output_low(PIN_B4);
    delay_ms(DISPLAY_TEMPO);
    output_high(PIN_B4);
    output_b(iDisplay[1] | 0x70);
    output_low(PIN_B5);
    delay_ms(DISPLAY_TEMPO);
    output_high(PIN_B5);
```

```

output_b(iDisplay[2] | 0x70);
output_low(PIN_B6);
delay_ms(DISPLAY_TEMPO);
output_high(PIN_B6);

if(liValor < 0) output_high(PIN_B7);
else output_low(PIN_B7);
delay_ms(DISPLAY_TEMPO);
}

/*****
**/

#include "test1.h"

void main()
{
    boolean booDysplay = false;
    signed long int liValor, liValor2;
    int inA, inA2, iValor, i;

    set_tris_a(0xff); // tudo entrada
    set_tris_b(0x00); // tudo saida

    inA = 0;
    inA2 = 0;
    liValor = 0;

    if(input(PIN_A0)) bit_set(inA, 0);
    else bit_clear(inA, 0);

    if(input(PIN_A2)) bit_set(inA, 1);
    else bit_clear(inA, 1);

    inA2 = inA;

    for(;;)
    {
        if(!input(PIN_A4)) //Reset
        {
            while(!input(PIN_A4))
            {
                liValor = 0;
                delay_ms(1);
            }

            if(input(PIN_A0)) bit_set(inA, 0);
            else bit_clear(inA, 0);

            if(input(PIN_A2)) bit_set(inA, 1);

```

```

else bit_clear(inA,1);

inA2 = inA;
}

if(input(PIN_A0))bit_set(inA2,0);
else bit_clear(inA2,0);

if(input(PIN_A2))bit_set(inA2,1);
else bit_clear(inA2,1);

if(inA != inA2)
{
switch(inA)
{
case 0://00
if(inA2 == 1) liValor++;
if(inA2 == 2) liValor--;
break;

case 1://1
if(inA2 == 3) liValor++;
if(inA2 == 0) liValor--;
break;

case 3://3
if(inA2 == 2) liValor++;
if(inA2 == 1) liValor--;
break;

case 2://2
if(inA2 == 0) liValor++;
if(inA2 == 3) liValor--;
break;

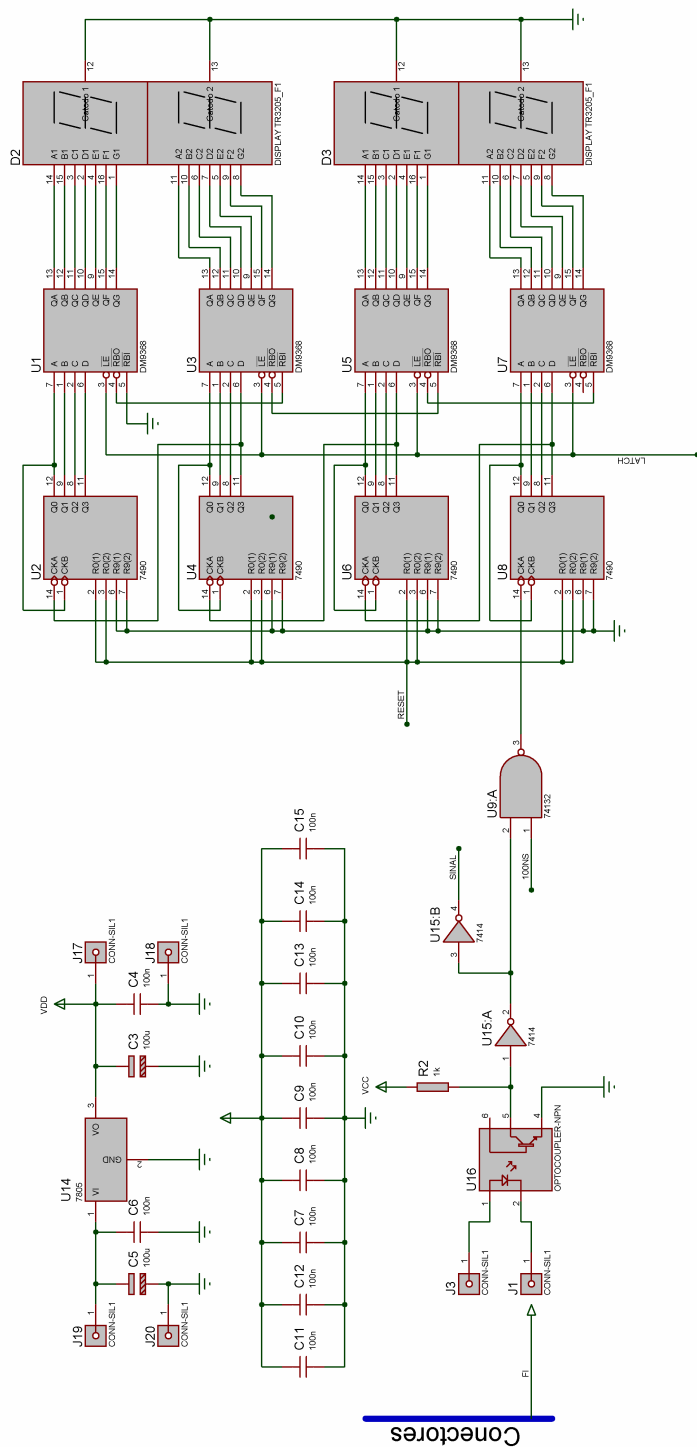
default: //Erro
break;
}
inA = inA2;
}

Imprimir(liValor); }}

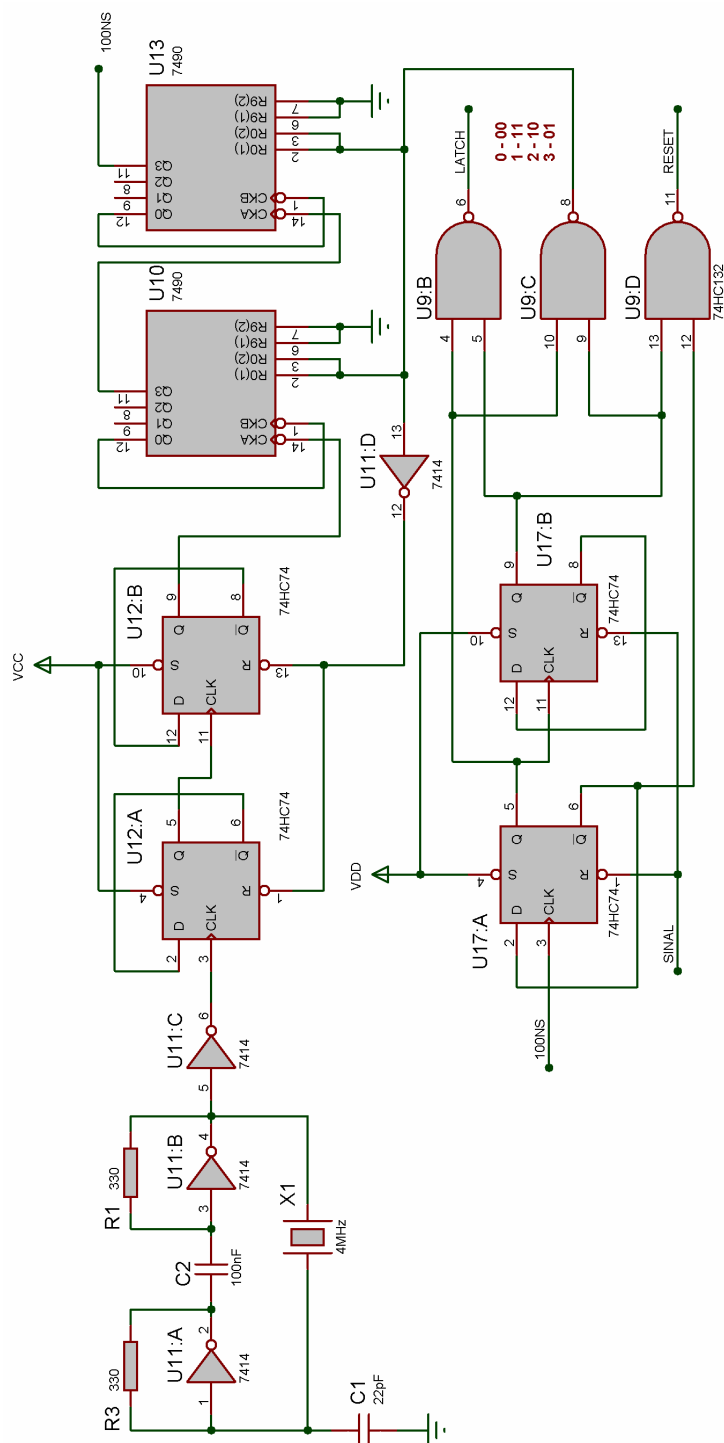
```

7.3 Esquema do Cronômetro

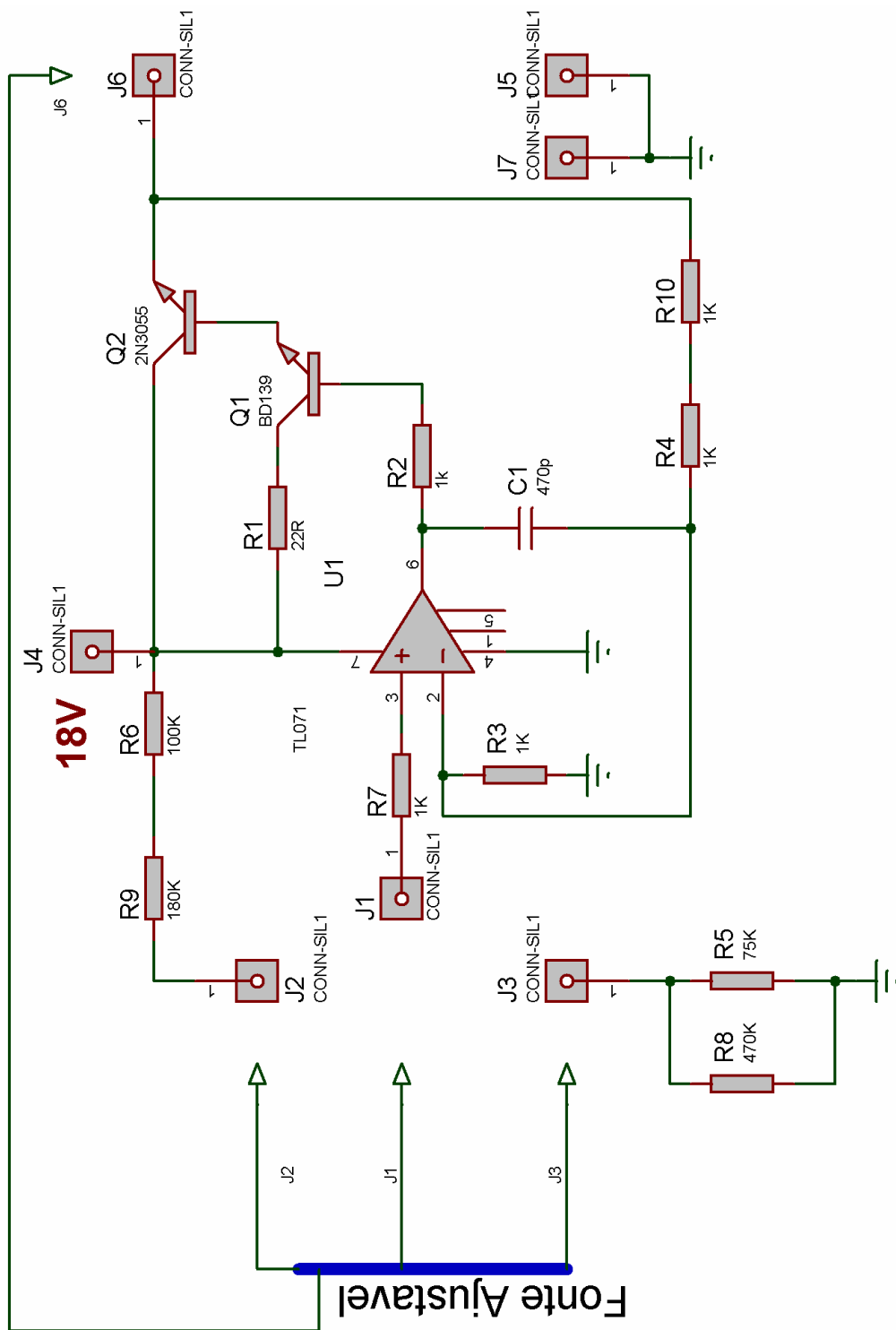
7.3.1 Entrada, Contador e Fonte



7.3.2 Relógio, Divisor e Controle

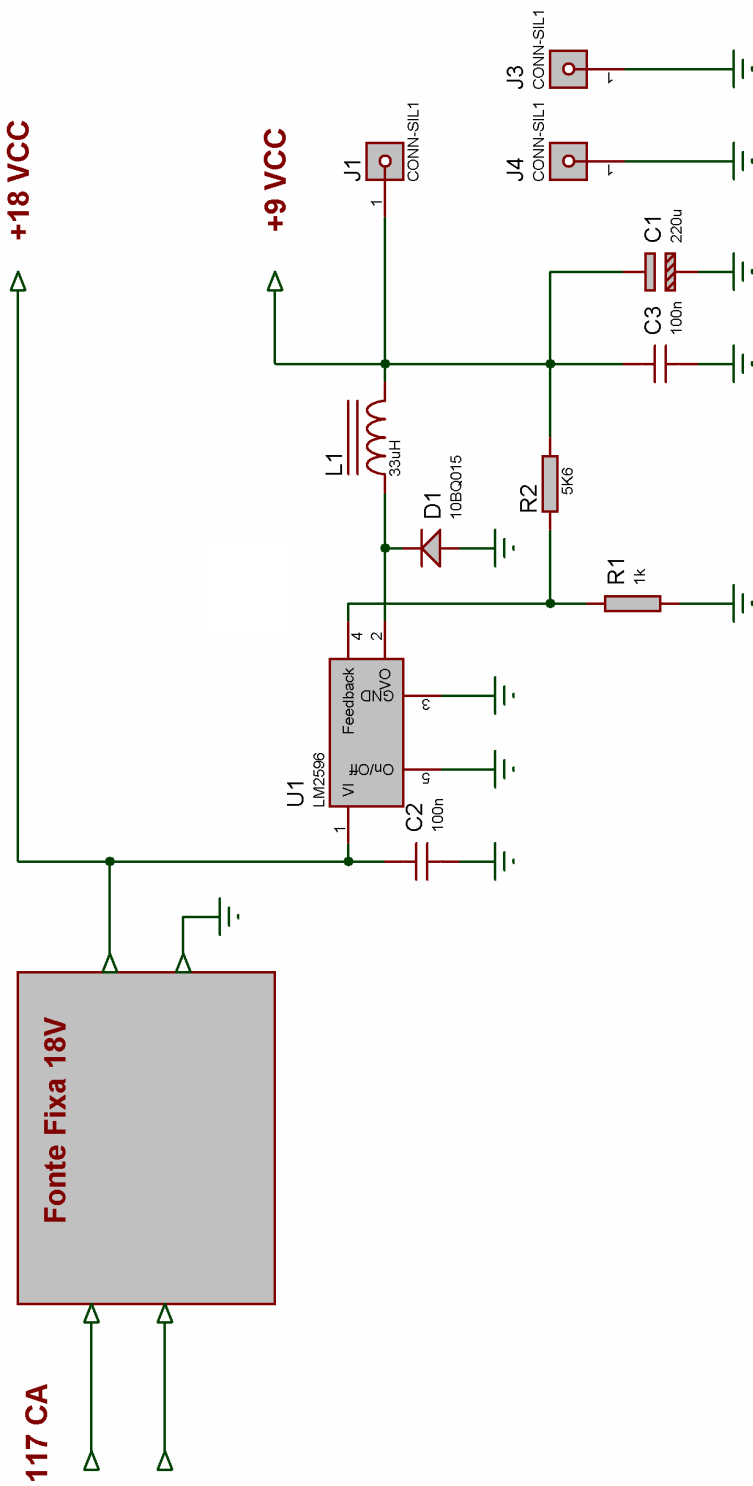


7.4 Esquema da Fonte Ajustável

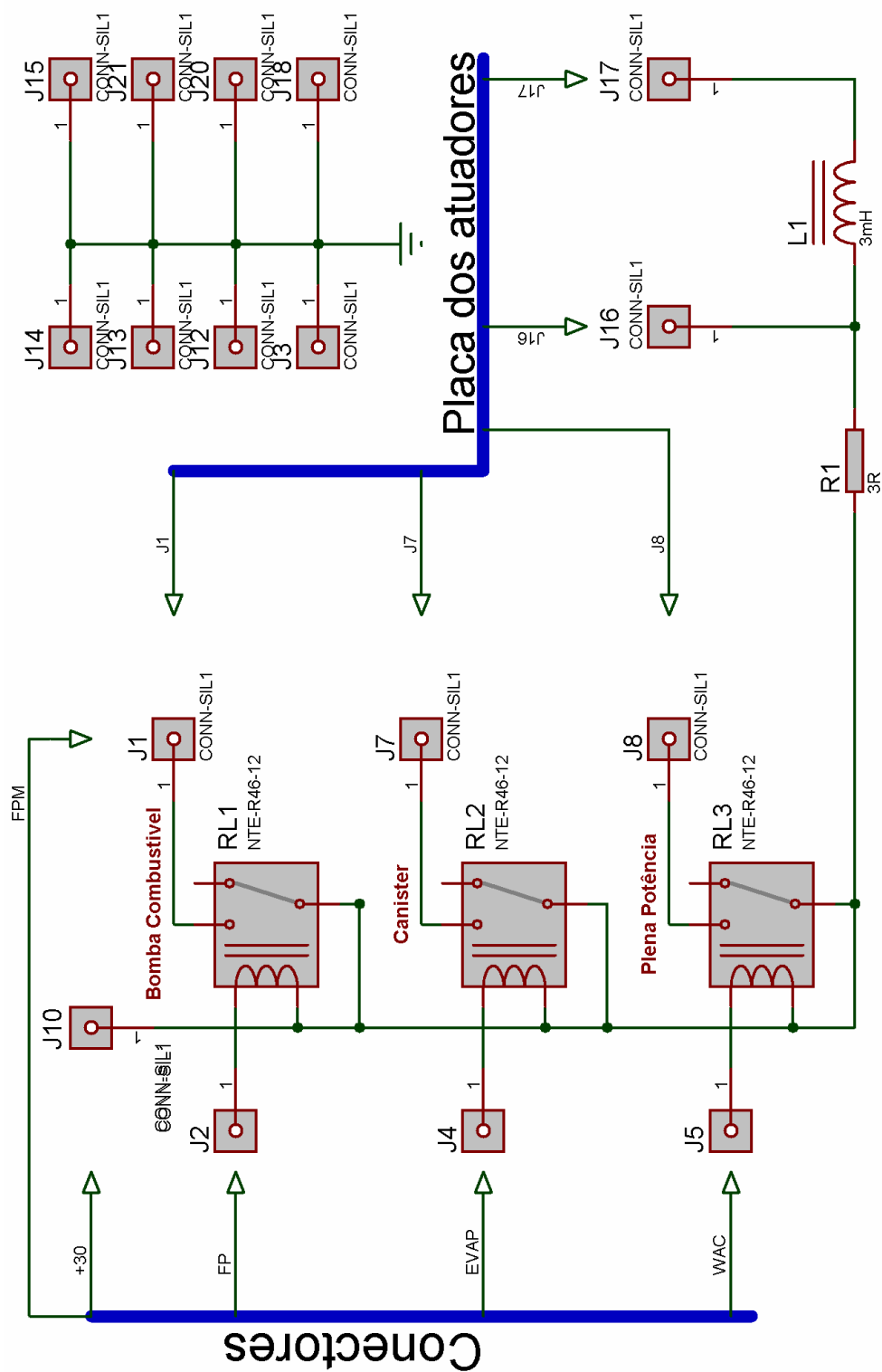


7.5 Fontes fixas de 18 V e 9 V

Fontes Fixas de 18Ve 9V

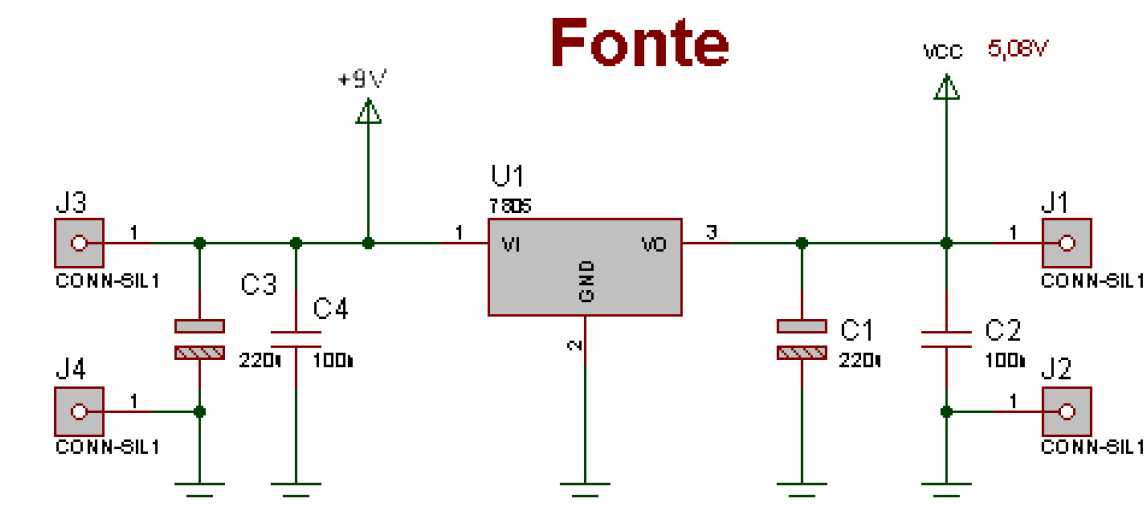


7.6 Placa dos Atuadores

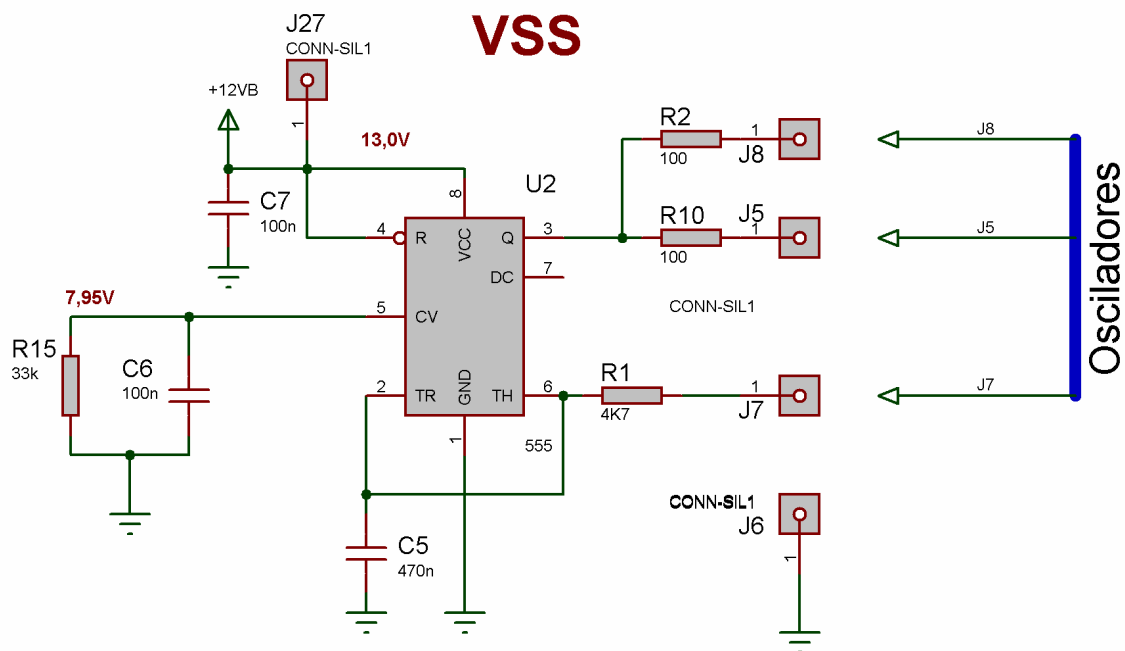


7.6 Placa dos Osciladores

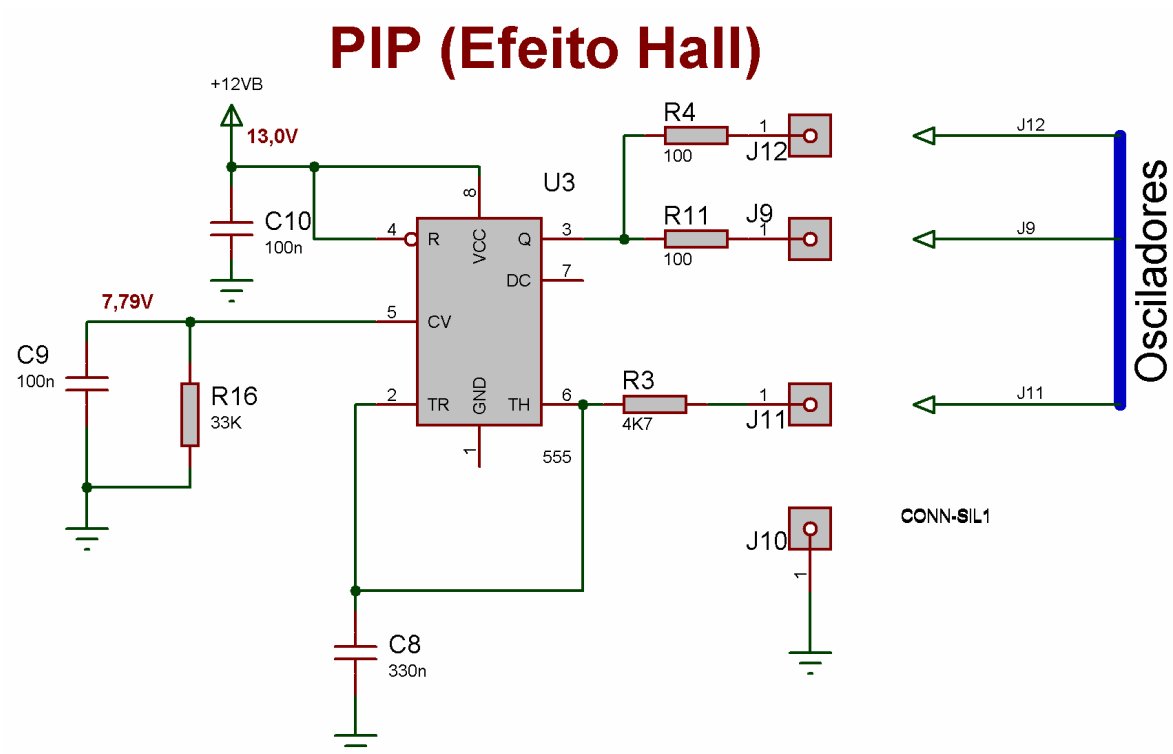
7.6.1 Fonte



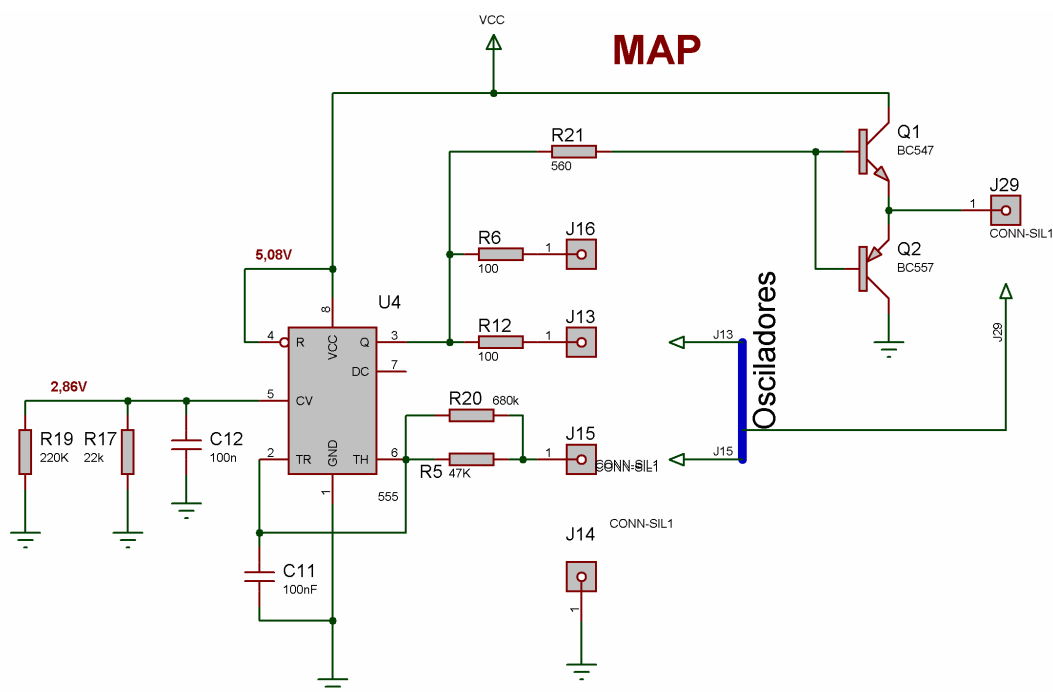
7.6.2 VSS

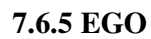


7.6.3 PIP



7.6.4 MAP

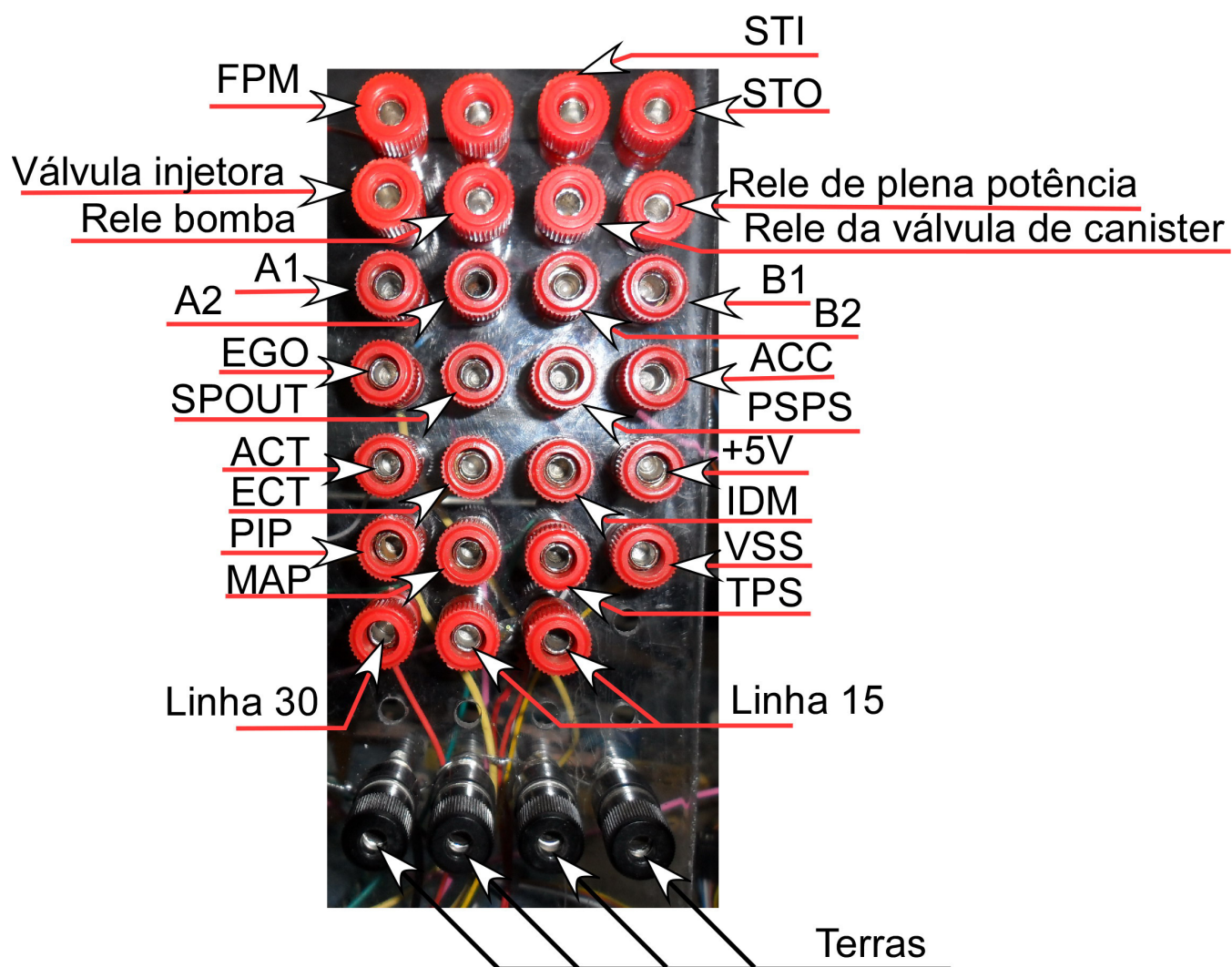




7.7 Lista dos Cabos das Conexões entre a ECU e o Simulador

	Função	Numero do Pino da ECU	Código de cores dos cabos
1	Terra geral	60, 40, 20	Preto e Marrom
2	Terra do sensor de rotação (PIP)	16	Preto e Amarelo
3	Terra dos sensores	46	Preto e Verde
4	Terra do sensor Lambda (EGO)	49	Preto e Branco
5	Linha 30 (+12V)	1	Vermelho
6	Linha 15 (+12V)	5	Vermelho e Marrom
7	Linha 15 (+12V)	37, 57	Vermelho e Amarelo
8	Saída de +5V	26	Vermelho e Verde
9	Sensor de velocidade (VSS)	3	Marrom
10	Retorno da ignição para diagnóstico (IDM)	4	Marrom e Amarelo
11	Sensor de temperatura de água (ECT)	7	Marrom e Verde
12	Sensor de temperatura do ar (ACT)	25	Marrom e Azul
13	Sensor EGO (Lambda)	29	Marrom e Violeta
14	TPS	47	Marrom e Branco
15	Sensor pressão absoluta (MAP)	56	Marrom e Cinza
16	Sensor Rotação (PIP)	36	Verde Claro e Verde Escuro
17	Avanço de ignição (SPOUT)	4	Violeta e Branco
19	Motor de passo A1	13	Amarelo
20	Motor de passo B1	14	Amarelo e Verde
21	Motor de passo A2	31	Amarelo e Azul
22	Motor de passo B2	32	Amarelo e Violeta
23	Rele da bomba de combustível	22	Violeta
24	Rele da válvula de canister	35	Amarelo e Cinza
25	Rele de plena potência (FP)	54	Amarelo e Branco
26	Válvula injetora	59	Cinza
27	Pressostato (ACC)	10	Verde e Azul
28	Interruptor da direção hidráulica (PSPS)	28	Verde e Branco
29	Monitor da bomba de combustível (FPM)	11	Verde e Cinza
30	Lâmpada de teste (STO)	17	Verde e Violeta
31	Entrada de auto teste (STI)	48	Violeta e Cinza

7.8 Painel de Conexão do Simulador



7.9 Painel do Simulador

