

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

ANDRÉ LUIZ BATISTA
CRISTIANO NORBERTO DA SILVA

SIMULADOR DE SINAIS DE UM MOTOR DE
COMBUSTÃO INTERNA UTILIZANDO
LABVIEW

Santo André – São Paulo
2014

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

**ANDRÉ LUIZ BATISTA
CRISTIANO NORBERTO DA SILVA**

**SIMULADOR DE SINAIS DE UM MOTOR DE
COMBUSTÃO INTERNA UTILIZANDO
LABVIEW**

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

Orientador: Prof. Dr. Edison Kitani

Santo André – São Paulo
2014

Batista, André Luiz

Simulador de sinais de um motor de combustão interna utilizando LabView / André
Luiz Batista, Cristiano Norberto da Silva. - Santo André, 2014. – 65 f. il

Trabalho de conclusão de curso – FATEC Santo André.

Curso Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2014.

Orientador: Prof. Dr. Edson Caoru Kitani

1. LabView 2. Simulador de sinais 3. Motor de Combustão Interna

I. Silva, Cristiano Norberto da II. Simulador de sinais de um motor de
combustão interna utilizando LabView.

Dedicamos esse trabalho aos nossos colegas e familiares pelo seu apoio durante todo nosso período de aprendizado.

LISTA DE PRESENÇA

SANTO ANDRÉ, 24 DE JUNHO DE 2014.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA
“SIMULADOR DE MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA,
UTILIZANDO LABVIEW”, DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE
DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:
PROF. DR. EDSON CAORU KITANI



MEMBROS:
PROF. Msc CLÉBER WILÍAN GOMES

PROF. WAGNER MASSAROPE

ALUNO:

CRISTIANO NORBERTO DA SILVA

ANDRE LUIZ BATISTA

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a nossos familiares por todo apoio, confiança e compreensão depositados em nós durante a realização desse projeto.

Agradecemos também nosso orientador, o Professor Doutor Edson Kitani por acreditar em nossa proposta e pelo suporte no desenvolvimento do trabalho.

E por fim, agradecemos todos nossos colegas e professores da Fatec Santo André por compartilharem conosco seus conhecimentos e experiências e seu entusiasmo em ajudar a concretizarmos mais essa etapa de nossas vidas.

“O que sabemos é uma gota e o que ignoramos é um oceano.”

Isaac Newton

RESUMO

Muitas vezes durante a vida acadêmica, um estudante da área automotiva se depara com testes e ensaios em motores de combustão interna de veículos a fim de compreender o funcionamento tanto do próprio motor, como de sistemas ligados a ele. Porém, o veículo automotor é um objeto de estudo muito difícil de se obter um ambiente controlado para um ensaio adequado devido à grande quantidade de variáveis que influenciam os resultados dos testes (tensão da bateria, nível de combustível, calibração) além de ser um ambiente insalubre para tais testes (altos níveis de ruído e emissão de gases nocivos à saúde).

Esse trabalho foi desenvolvido para ser uma ferramenta que facilite a realização desses ensaios didáticos através da simulação de sinais provenientes dos sensores de um motor de combustão interna através de uma plataforma de programação gráfica, o *LabView*, facilitando assim a compreensão e utilização do usuário.

Palavras chaves: *LabView*, Simulação de sinais, Motor de combustão interna.

ABSTRACT

Many times during the academic life, a student of automotive field is faced with tests and trials in internal combustion engines of vehicles in order to understanding the operation of both, the engine itself and the systems connected to it. However, the motor vehicle is an object of study very difficult to obtain a controlled environment for a properly trial due to the large number of variables that influence the test results (battery voltage, fuel level, calibration) besides being an environment unhealthy for such tests (high noise levels and exhaust emissions harmful to health).

This work was designed to be a tool that facilitates the achievement of educational testing by simulating signals from the sensors of an internal combustion engine through a graphical programming platform, LabView, thus facilitating the understanding and use of the User.

Key word: LabView, Signals simulation, Internal combustion engine.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Principais componentes de um motor de combustão interna ciclo Otto (Adaptado de Oliveira, 2009).	15
Figura 2 – Localização do PMS e do PMI do curso do êmbolo (Extraído de Adler, 1993).	17
Figura 3 – Ciclo de quatro tempos de um motor ciclo Otto (Extraído de Bosch, 1988).	18
Figura 4 – Estágios do controle realizado pelo sistema de gerenciamento eletrônico (Extraído de Braga, 2007). 19	
Figura 5 – Sensor de Rotação por relutância magnética (Extraído de Bosch, 2005).	20
Figura 6 – Esquema de funcionamento do efeito Hall (Extraído de Milhor, 2002).	21
Figura 7 – Sensores de Pressão do tipo <i>Strain Gage</i> (Extraído de Ribbens, 1993)	22
Figura 8 – Sensores de pressão do tipo capacitivo (Extraído de Bonnick, 2001)	22
Figura 9 – Estrutura de um sensor de oxigênio (Adaptado de Ribbens, 1998).	23
Figura 10 – Válvula injetora de combustível (Extraído de Bosch, 2005).	24
Figura 11 – Bobina de ignição em corte (Extraído de Adler, 1988)	26
Figura 12 – Influência de λ no consumo de combustível e potência indicada de um motor(a) e na emissão de gases poluentes(b) (Extraído de Adler, 1988)	27
Figura 13 – Posição da válvula injetora em um sistema de injeção indireta monoponto (Adaptado de Pujatti, 2007).	28
Figura 14 – Posição das válvulas injetoras em um sistema de injeção indireta multiponto. (Adaptado de Pujatti, 2007).	29
Figura 15 – Disposição das válvulas injetoras em um sistema de injeção direta multiponto (Adaptado de Bosch, 2005).	30
Figura 16 – Efeitos do avanço do ângulo de ignição na curva de pressão interna do cilindro (Extraído de Bauer, 1999).	31
Figura 17 – O sistema mecânico de ignição. (Adaptado de Denton,2000)	32
Figura 18 – Painel Frontal de uma VI do <i>LabView</i> (adaptado de VEMULKAR, 2011).	36
Figura 19 – Diagrama de Blocos de uma VI do <i>LabView</i> (Adaptado de VEMULKAR, 2011).	36
Figura 20 – Ícone de uma VI (a) e painel de conectores de uma VI (b) (Adaptado de NATIONAL INSTRUMENTS, 2007).	37
Figura 21 – Diagrama de blocos da metodologia de trabalho do projeto.	38
Figura 22 – Ferramentas utilizadas na aquisição de dados: O osciloscópio (a) e a NI DAQ 6009 (b).	38
Figura 23 – Amostra de um sinal típico de um sensor de pressão do ar admitido.	39
Figura 24 – <i>DAQ Assitant</i> configurado para aquisição de sinais analógicos de tensão.	40
Figura 25 – Tela de seleção de modo de aquisição.	40
Figura 26 – Configuração para se obter o arquivo TDMS.	41
Figura 27 – Diagrama de blocos do <i>software</i> de aquisição de dados.	42
Figura 28 – Divisão e interação entre as 3 partes do <i>software</i> de tratamento dos dados.	42
Figura 29 – Diagrama de blocos da sub-VI Leitura de Dados 1.	43
Figura 30 – Tela apresentada pela função <i>File Dialog</i>	44
Figura 31 – Diagrama de blocos da sub-VI Leitura de dados 2.	45
Figura 32 – Gráfico de variação da temperatura em relação e tensão apresentada pelo sensor.	46
Figura 33 – Diagrama de blocos da conversão para temperatura.	47
Figura 34 – Diagrama de blocos da conversão para pressão.	48

Figura 35 – Diagrama de blocos da conversão para rotação do motor.	49
Figura 36 – Diagrama de blocos para identificar a condição da mistura ar/combustível.	50
Figura 37 – Gráfico de relação entre ângulo de abertura e tensão de saída do sensor (Adaptado de Ford, 1996).	50
Figura 38 – Diagrama de blocos da conversão para ângulo de abertura da válvula borboleta.	51
Figura 39 – Diagrama de blocos da conversão para velocidade do veículo.	51
Figura 40 – Painel Frontal do projeto.	52
Figura 41 – Configuração de filtragem.	53
Figura 42 – Localização da função Início do teste.	54
Figura 43 – Diagrama de blocos da função Início.	54
Figura 44 – Localização da função Tempo Máximo.	54
Figura 45 – Diagrama de blocos das funções Tempo Máximo e Duração.	55
Figura 46 – Localização da função Duração.	55
Figura 47 – Diagrama de blocos da reprodução de dados.	56
Figura 48 – Circuito de amplificação.	57
Figura 49 – Modelo desenvolvido para o teste.	58
Figura 50 – Tempo de injeção em resposta ao sinal de rotação simulado.	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Os sistemas de ignição existentes no mercado (Extraído de PUJATTI, 2007).....	31
Tabela 2 – Relação entre temperatura e tensão apresentada pelos sensores de temperatura (Adaptado de Ford, 1996).....	46
Tabela 3 – Relação entre frequência e pressão do ar admitido (Adaptado de Ford, 1996).....	47

SUMÁRIO

1	Introdução.....	13
1.1	Objetivos	14
1.2	Motivação	14
1.3	Conteúdo	14
2	revisão bibliográfica	15
2.1	O motor de combustão interna.....	15
2.2	Principais componentes de um motor de combustão interna ciclo Otto	15
2.2.1	Conjunto de peças móveis	16
2.2.2	Conjunto de peças fixas	16
2.3	O Ciclo de Trabalho dos Motores a Combustão Interna de Quatro Tempos	17
2.4	Sistema de Gerenciamento do Motor	19
2.4.1	Sensor de rotação e fase do motor	19
2.4.2	Sensor de posição da borboleta de aceleração	21
2.4.3	Sensor de pressão do ar admitido	21
2.4.4	Sensor de temperatura do ar admitido	23
2.4.5	Sensor de oxigênio	23
2.4.6	Válvula Injetora de Combustível	24
2.4.7	Válvula de Purga do Canister	25
2.4.8	Motor de Passo da Marcha Lenta	25
2.4.9	Bomba de Combustível	25
2.4.10	Bobina de ignição	25
2.5	Formação da mistura estequiométrica	26
2.6	Sistema de injeção eletrônica	27
2.6.1	Injeção indireta monoponto	28
2.6.2	Injeção indireta multiponto.....	28
2.6.3	Injeção direta multiponto.....	29
2.7	Sistema de Ignição Eletrônica	30
2.7.1	Os tipos de sistema de ignição existentes	31
2.7.1.1	– O sistema mecânico de ignição.....	32
2.7.1.2	– O sistema de ignição eletrônica mapeada.....	33
2.7.1.3	– O sistema de ignição sem distribuidor.....	33
2.8	Considerações Finais	34
3	metodologia e construção do projeto.....	35
3.1	O LabView	35
3.1.1	Instrumentos Virtuais	35
3.1.1.1	– Painel Frontal.....	35
3.1.1.2	– Diagrama de Blocos.....	36
3.1.1.3	– Painel de Ícones e Conectores	37
3.2	Metodologia de trabalho.....	37
3.2.1	Aquisição de dados.....	38
3.2.1.1	– <i>Software</i> de aquisição de dados	39
3.2.2	Tratamento dos dados.....	42
3.2.2.1	– Leitura de dados.....	43
3.2.2.2	– Representação dos dados	45
3.2.2.3	– Funções adicionais do projeto	52
3.2.3	Reprodução dos dados	55
3.2.3.1	– <i>Software</i> de reprodução dos dados.....	56
3.2.3.2	– Hardware amplificador	57
4	Testes e resultados	58
4.1	Método de testes	58
4.2	Resultados	59
4.3	Conclusões.....	60
4.4	Sugestões de propostas futuras	61
5	Referências	62

6 anexos	64
6.1 Diagrama de Blocos completo do software de tratamento de dados	64
6.2 Fluxograma de funcionamento do projeto.	65

1 INTRODUÇÃO

Com o incessante desenvolvimento tecnológico, fez-se necessário a construção de máquinas que possibilitassem o deslocamento de pessoas a grandes distâncias em curto espaço de tempo. Inicialmente, para suprir essa necessidade foram desenvolvidos veículos locomovidos a tração animal. Porém, esses veículos demonstraram ser ineficientes em conforto e desempenho, principalmente para longas viagens.

Em 1866 o alemão Nikolaus Otto em parceria com Eugen Langen desenvolveu o primeiro motor de combustão interna de quatro tempos com capacidade de ser produzido em escala. O desenvolvimento dessa máquina, que converte a energia termodinâmica gerada da combustão em energia motriz, foi o fator determinante para que fosse possível o desenvolvimento e construção dos veículos automotores, que mais tarde viriam a ser o principal meio de transporte nos grandes centros urbanos.

Com a grande circulação de veículos automotores nos grandes centros urbanos e com o início da consciência ambiental, surgia a necessidade das empresas do setor automobilístico desenvolverem sistemas que contribuíssem com a redução do consumo de combustível e de emissão de gases poluentes. Utilizando o acelerado desenvolvimento da eletrônica, as empresas substituíram os componentes mecânicos, que se mostravam ineficientes ao alcance dessas metas, por componentes eletrônicos. Surgiu então o sistema de gerenciamento eletrônico do motor, um sistema que, através do uso de equipamentos eletrônicos como os sensores e os atuadores, controla eletronicamente os processos de injeção e ignição de combustível para que o motor obtenha o desempenho esperado pelos desenvolvedores.

A partir do projeto realizado pelo aluno Albino Sergio De Souza, disponível no sítio da Fatec Santo André, cujo tema é “Simulador de Sinais de Sensores para testar ECUs EEC IV” que realiza a simulação dos sensores do sistema de gerenciamento eletrônico do motor de combustão interna do veículo Volkswagen Gol ano 95 através de ferramentas de hardware, foi desenvolvido um modelo que consiste em simular esses mesmos sinais através do uso da ferramenta computacional *LabView*, de forma que o sistema de gerenciamento possa utilizar a informação fornecida para realizar suas principais funções, como o controle do tempo de injeção de combustível, por exemplo.

1.1 Objetivos

O objetivo desse trabalho é desenvolver uma ferramenta que seja capaz de simular o comportamento dos sinais dos principais sensores de um motor de combustão interna são eles: sensor de posição da válvula borboleta de aceleração, sensor de temperatura do ar admitido, sensor de pressão do ar admitido, sensor de temperatura do líquido de arrefecimento, sensor de rotação, sensor de velocidade e sensor de oxigênio (sonda lambda). Essa simulação será desenvolvida através da ferramenta computacional *LabView* e, a partir de uma interface com o mundo físico, deverá gerar os sinais dos sensores descritos, além de apresentar graficamente o comportamento das grandezas observadas por esses equipamentos.

1.2 Motivação

A principal motivação para o desenvolvimento desse projeto é a dificuldade observada pelos autores de se realizar ensaios diretamente no veículo devido a fatores como a indisponibilidade do veículo, tensão da bateria em níveis insuficientes, além do ambiente nocivo a saúde por causa de ruídos e emissão de gases poluentes, ensaios esses que poderiam ser realizados facilmente através de uma ferramenta que simulasse os principais sinais do motor de combustão interna, a escolha da ferramenta *LabView* como ambiente de construção desse simulador foi para facilitar a utilização e compreensão da ferramenta pelo usuário.

1.3 Conteúdo

Esse trabalho está dividido em 7 capítulos onde o capítulo 2 apresenta os conceitos básicos dos sensores estudados para a compreensão do projeto, bem como o funcionamento de um motor de ciclo Otto. O capítulo 3 informa os detalhes de desenvolvimento e construção do projeto, tanto de *software* quanto de *hardware*. O capítulo 4 contém o teste realizado para verificar o funcionamento do simulador e o capítulo 5 contém a conclusão retirada desse trabalho e as propostas futuras de otimização do projeto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados os principais conceitos básicos acerca do motor de combustão interna utilizados no desenvolvimento desse projeto, assim como conceitos de sistemas ligados a esse motor, como o sistema de ignição e o sistema de injeção.

2.1 O motor de combustão interna

Segundo Bosch (2005), o motor de combustão interna é a fonte de energia utilizada mais frequentemente em veículos automotores.

Motores são máquinas que transformam a energia química dos combustíveis em energia térmica (através da combustão) e, em seguida, em energia mecânica (através da expansão da mistura dentro do cilindro que pressiona o pistão causando o movimento na árvore de manivelas).

2.2 Principais componentes de um motor de combustão interna ciclo Otto

Os componentes do motor de combustão interna ciclo Otto podem ser divididos em dois grupos principais, são eles o conjunto de peças móveis, composto por êmbolo, biela, árvore de manivelas, válvulas e comando de válvulas, e o conjunto de peças fixas, composto por bloco do motor, cárter e cabeçote.

A Figura 1 ilustra cada um desses componentes, assim como sua localização na montagem do motor.

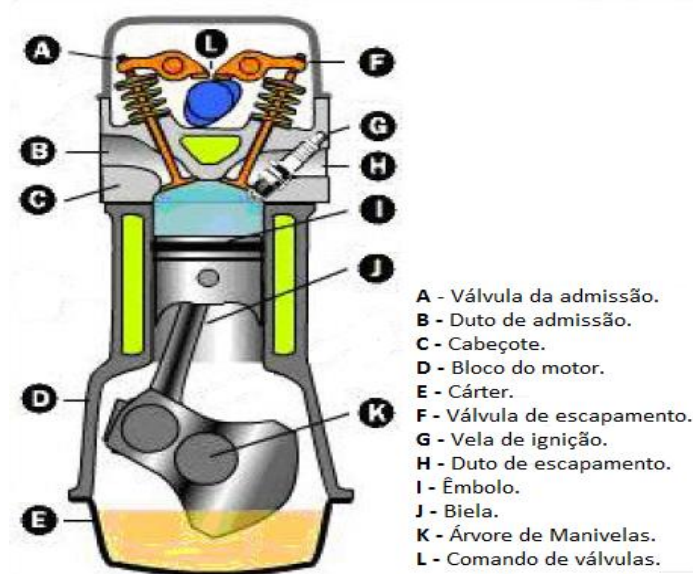


Figura 1 – Principais componentes de um motor de combustão interna ciclo Otto (Adaptado de Oliveira, 2009).

2.2.1 Conjunto de peças móveis

Nesse item serão descritos em detalhes os principais componentes do conjunto móvel do motor de combustão interna ciclo Otto.

ÊMBOLO: Também conhecido como pistão é um componente de formato cilíndrico geralmente feito de ferro fundido que, segundo Bosch (2005), tem como principal função a transferência da força gerada na combustão para as bielas, outras funções desse componente são a vedação da câmara de combustão da árvore de manivelas e a absorção do calor gerado na combustão para facilitar a transferência para o sistema de arrefecimento.

BIELA: É o componente de ligação entre o êmbolo e a árvore de manivelas, seu comprimento é determinado basicamente pelo curso do êmbolo e a área do contrapeso (BOSCH, 2005). O comprimento de uma biela é um dos fatores relevantes na determinação do torque gerado pelo motor, devido ao conceito de força de alavanca.

ÁRVORE DE MANIVELAS: Também conhecido como virabrequim, é o componente responsável pela transformação do movimento linear, proveniente do êmbolo através da biela, em movimento angular, além de transmitir efetivamente o torque para suas extremidades (BOSCH. 2005).

VÁLVULAS: São divididas em dois tipos, válvulas de admissão e válvulas de escape. A válvula de admissão tem por função permitir a entrada de ar e combustível na câmara de compressão durante a fase de admissão, fazendo que na fase de compressão seja possível a formação da mistura. A válvula de escape tem por função permitir o escape dos gases resultantes da combustão da mistura durante a fase de exaustão.

COMANDO DE VÁLVULAS: Pode ser localizado tanto no bloco do motor, quanto no cabeçote. É o componente responsável pelo sincronismo da abertura e fechamento das válvulas de admissão e escape durante os 4 tempos do motor.

2.2.2 Conjunto de peças fixas

Nesse item serão descritos em detalhes os principais componentes do conjunto fixo do motor de combustão interna ciclo Otto.

BLOCO DO MOTOR: É o bloco de metal construído geralmente de ferro fundido ou alumínio onde são alojadas as peças móveis do motor de combustão interna, também utilizado como superfície de montagem e suporte de uma grande variedade de componentes auxiliares do motor. Ele é fechado superiormente pelo cabeçote e inferiormente pelo cárter. Segundo Bosch (2005), o bloco do motor deve suportar as transferências de força entre o cabeçote e a

árvore de manivelas, apoiando os forros dos cilindros e os mancais de suporte da árvore de manivelas.

CÁRTER: É o recipiente metálico que lacra e protege a parte inferior do motor, cuja principal função é assegurar a lubrificação das peças móveis do motor, servir de reservatório de óleo.

CABEÇOTE: Tem como função lacrar a parte superior do motor. É no cabeçote que são alocadas as válvulas de admissão e escape e geralmente o comando de válvulas. Seu tamanho é um fator crucial para o projeto do motor, já que influi diretamente no cálculo da taxa de compressão dos cilindros do motor.

2.3 O Ciclo de Trabalho dos Motores a Combustão Interna de Quatro Tempos

Os Motores ciclo Otto de quatro tempos possuem um ciclo de trabalho correspondente a quatro cursos do êmbolo dentro do cilindro entre o ponto morto superior (PMS) e o ponto morto inferior (PMI), a localização de cada um desses pontos pode ser visualizada na figura 2.

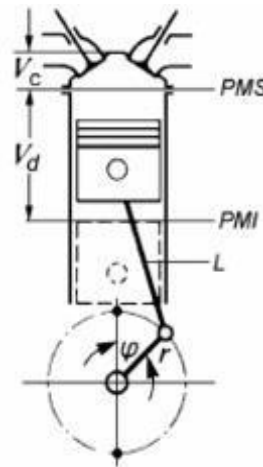


Figura 2 – Localização do PMS e do PMI do curso do êmbolo (Extraído de Adler, 1993).

Esse movimento dos êmbolos é transmitido para a árvore de manivelas através de uma biela, transformando o movimento longitudinal em movimento rotativo, fazendo com que cada ciclo de quatro tempos do êmbolo seja equivalente a duas voltas na árvore de manivelas.

Na figura 3 é possível visualizar o que ocorre em cada tempo do ciclo de quatro tempos de um determinado cilindro, bem como sua relação de transferência de movimento para a árvore de manivelas.

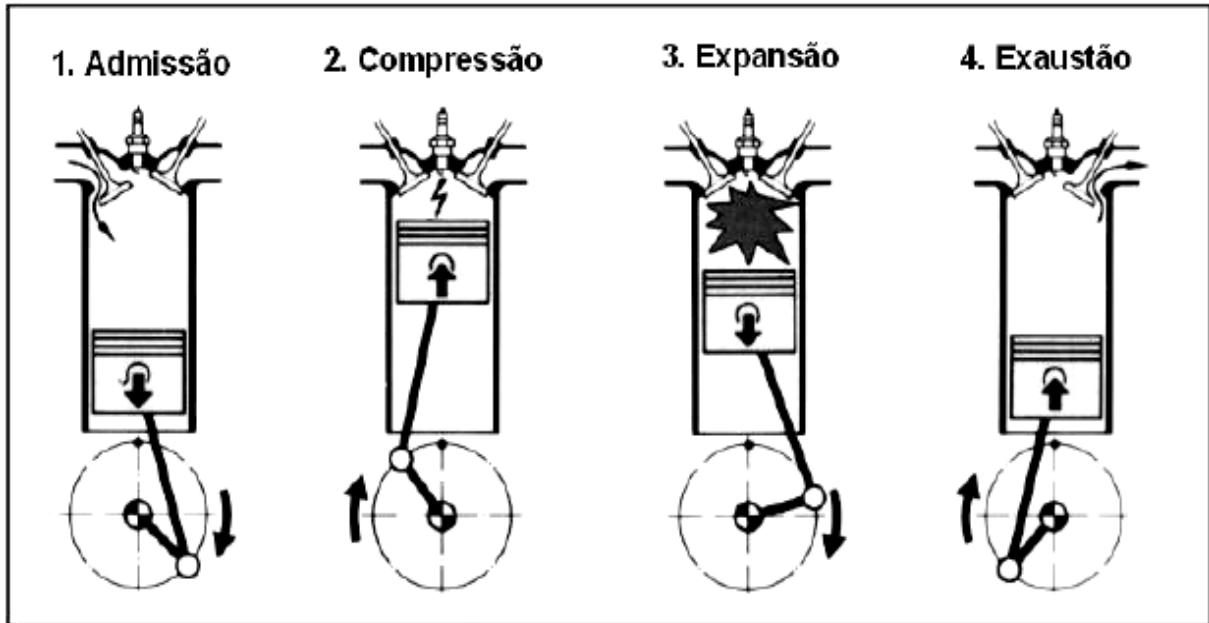


Figura 3 – Ciclo de quatro tempos de um motor ciclo Otto (Extraído de Bosch, 1988).

O funcionamento de cada uma das etapas do ciclo de trabalho de quatro tempos é descrito a seguir:

ADMISSÃO (1): Etapa caracterizada pela abertura da válvula de admissão e fechamento da válvula de escape. Nesse tempo o êmbolo se desloca do ponto morto superior para o ponto morto inferior, admitindo a mistura ar-combustível para dentro do cilindro.

COMPRESSÃO (2): Nessa etapa ocorre o fechamento da válvula de admissão. Neste tempo o êmbolo se desloca do ponto morto inferior ao ponto morto superior, comprimindo a mistura ar-combustível presente no cilindro, aumentando sua temperatura e pressão. Em um determinado ponto antes de o êmbolo alcançar o ponto morto superior, o transformador de ignição é acionado gerando uma centelha nas velas de ignição que fará com que a mistura entre em combustão.

EXPANSÃO (3): É a única etapa que gera energia mecânica para o sistema, pois com a combustão da mistura ar-combustível, ocorre um aumento considerável na pressão dentro do cilindro e a energia contida na mistura é liberada, fazendo com que o êmbolo se desloque do ponto morto superior ao ponto morto inferior e transfira essa energia em forma de movimento para a árvore de manivelas através da biela.

EXAUSTÃO (4): Etapa onde ocorre a abertura da válvula de escape. Neste tempo o êmbolo se desloca do ponto morto inferior ao ponto morto superior, fazendo com que os resíduos da combustão sejam expelidos para a atmosfera pela válvula de escape.

2.4 Sistema de Gerenciamento do Motor

O sistema de gerenciamento eletrônico do motor tem como função entregar a quantidade necessária do torque para o motor exercer o desempenho exigido pelo condutor do veículo com o mínimo de consumo de combustível e emissões de poluentes (BOSCH,2005).

Esse sistema é composto de vários subsistemas, entre eles destacam-se o sistema de injeção do combustível o sistema de ignição de combustível, o sistema de controle da marcha lenta e de recirculação dos gases, onde o primeiro será detalhado posteriormente.

Com o objetivo de atender as rígidas exigências governamentais para redução de emissão de gases poluentes e consumo de combustível, o sistema de gerenciamento substitui os componentes mecânicos por componentes eletrônicos, entre eles destacam se o carburador e o distribuidor com platinado, ambos substituídos por sistemas eletrônicos mapeados.

Para que cada subsistema consiga exercer a função é necessário que o sistema de gerenciamento consiga identificar o regime de trabalho atual do motor. Para isso são utilizados os sensores que são elementos encarregados de transformar um estímulo físico em sinais elétricos a serem lidos pela unidade de controle. Após essas informações serem processadas, o sistema de gerenciamento terá que atuar em sistemas do motor como o sistema de injeção de combustível e o sistema de ignição, para isso são utilizados os atuadores, componentes que são capazes de converter os estímulos elétricos gerados pela unidade de controle em uma reação física no sistema a ser controlado. A figura 4 ilustra cada um desses estágios do controle realizado pelo sistema de gerenciamento.



Figura 4 – Estágios do controle realizado pelo sistema de gerenciamento eletrônico (Extraído de Braga, 2007).

A seguir serão descritas as funções dos principais sensores utilizados pelo sistema de gerenciamento, assim como seus princípios de funcionamento.

2.4.1 Sensor de rotação e fase do motor

O sensor de rotação e fase do motor tem como função informar ao sistema de gerenciamento a rotação de trabalho do motor assim como identificar o cilindro que deverá

receber a ignição. Os dois principais tipos de sensores de rotação e fase do motor são os sensores de relutância magnética e os sensores de efeito Hall.

Os sensores de relutância magnética consistem em um ímã permanente e um indutor montados conforme a figura 5, onde a passagem dos dentes da roda dentada faz com que o fluxo magnético no indutor varie de forma a gerar uma força eletromotriz (f.e.m.). A tensão gerada nesse processo é proporcional a roda dentada acoplada na árvore de manivelas (Milhor, 2002).

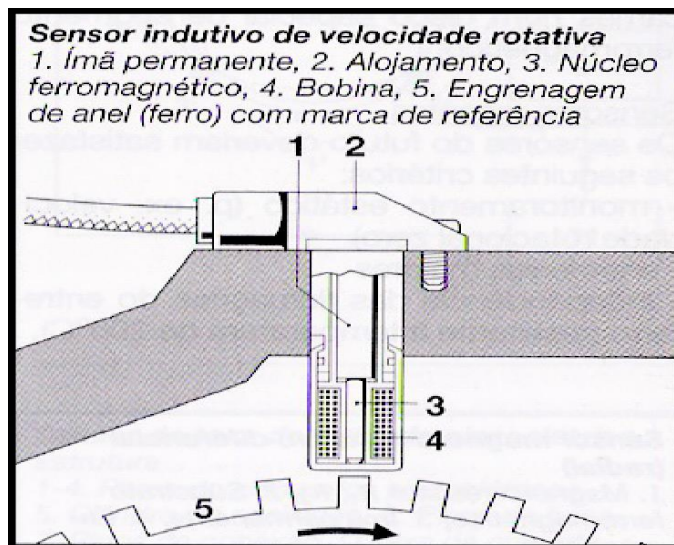


Figura 5 – Sensor de Rotação por relutância magnética (Extraído de Bosch, 2005)

Os sensores de Efeito Hall, como visto na figura 6, são formados por uma placa condutora, chamada de célula Hall, alimentada por uma corrente de controle proveniente da ECU(I), onde um campo magnético(B) atravessa a placa perpendicularmente, nessas condições ocorre um fenômeno chamado efeito Hall, que faz com que a corrente elétrica desvie para um dos lados da placa, surgindo assim uma tensão de saída(V) em direção perpendicular tanto da corrente de alimentação, quanto do campo magnético (Milhor, 2002).

Nos sensores comerciais, o campo magnético é gerado por um ímã permanente e a variação desse campo é feito por placas de metal ferromagnético que, com a rotação do motor, bloqueiam ou desbloqueiam o efeito do campo magnético sobre a célula hall, fazendo com que a frequência dos pulsos de tensão gerados pelo sensor seja proporcional à rotação do motor.

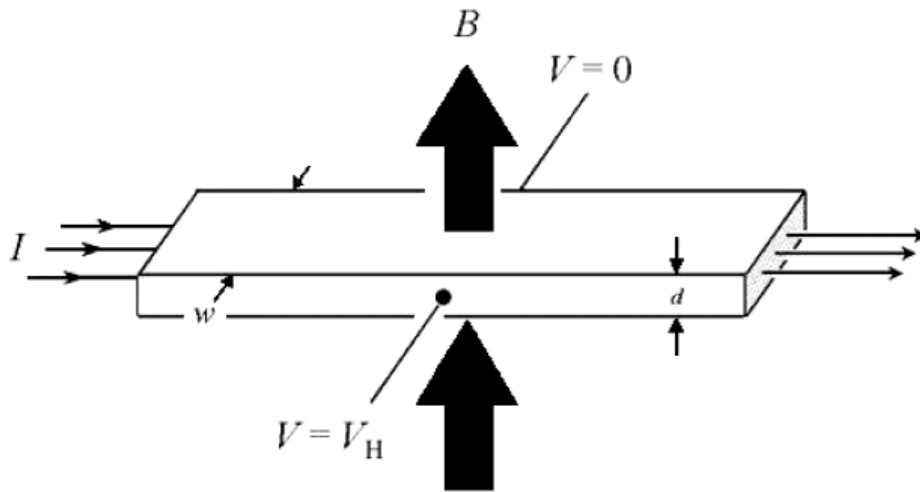


Figura 6 – Esquema de funcionamento do efeito Hall (Extraído de Milhor, 2002)

2.4.2 Sensor de posição da borboleta de aceleração

Também conhecido como TPS (*Throttle Position Sensor*). É um potenciômetro ligado ao eixo de fixação e movimentação da válvula borboleta que tem como função informar ao sistema de gerenciamento o ângulo de abertura da válvula borboleta de aceleração. Esse potenciômetro é ligado em um circuito divisor de tensão para que a tensão de saída desse circuito seja diretamente proporcional ao ângulo de abertura da válvula borboleta de aceleração (Milhor, 2002).

2.4.3 Sensor de pressão do ar admitido

Também conhecido como MAP (*Manifold Absolute Pressure*), é o sensor cuja principal função é informar ao sistema de gerenciamento do motor o valor da pressão do ar admitido, para que se torne possível o cálculo da massa de ar admitido no motor.

Segundo Milhor (2002), os dois tipos de sensores mais frequentemente utilizados para essa função são os sensores *Strain Gage* e os sensores capacitivos.

Strain Gage, como visto na figura 7, são sensores compostos por quatro elementos resistivos montados como uma ponte de *Wheatstone* sobre um diafragma de silício, onde a resistência desses elementos é modificada conforme os efeitos da pressão sobre o diafragma, nesse tipo de sensor a tensão de saída varia proporcionalmente a variação de pressão do ar admitido (Milhor, 2002).

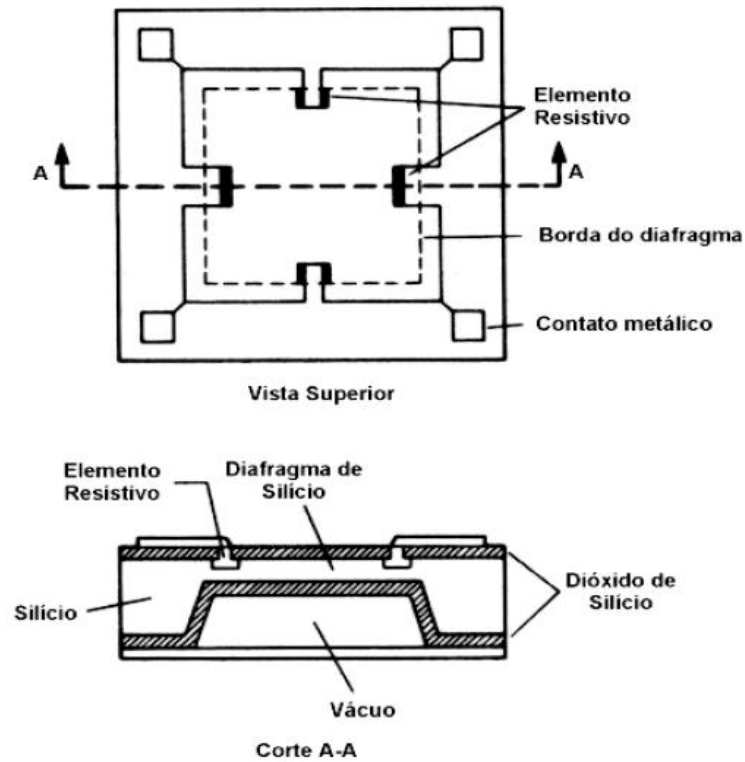


Figura 7 – Sensores de Pressão do tipo *Strain Gage* (Extraído de Ribbens, 1993)

Os sensores capacitivos consistem de duas placas condutoras paralelas separadas por um elemento dielétrico onde os efeitos da pressão do ar admito sobre essas placas varia a distância entre elas, variando assim a capacitância de saída do sensor. A saída desse sensor, como é mostrado pela figura 8, é ligada a um circuito condicionador de sinais que transforma a variação de capacitância de saída do sensor em variação de frequência de um pulso elétrico, facilitando assim o tratamento dessa informação pelo sistema de gerenciamento do motor.

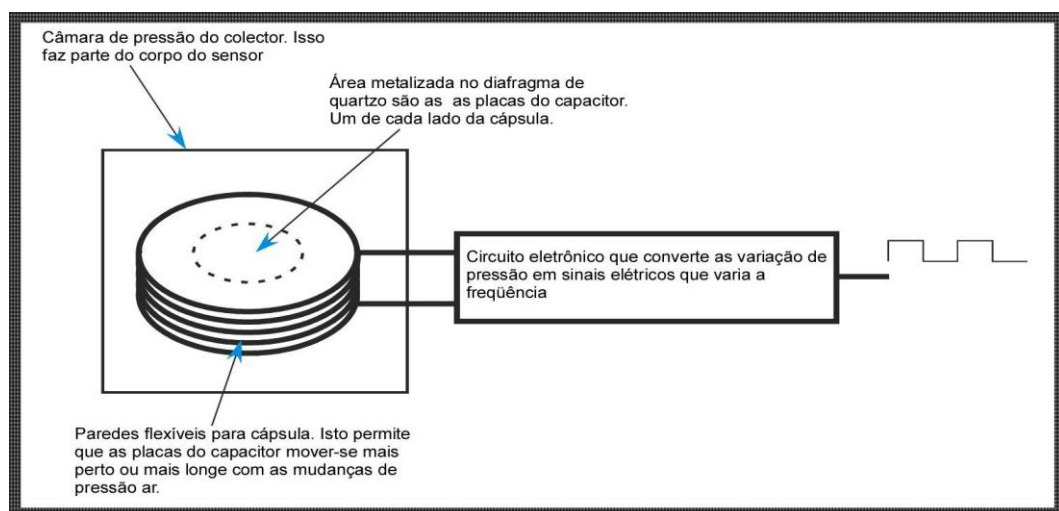


Figura 8 – Sensores de pressão do tipo capacitivo (Extraído de Bonnick, 2001)

2.4.4 Sensor de temperatura do ar admitido

Comumente é utilizado um sensor do tipo NTC (*Negative Temperature Coefficient* ou Coeficiente Negativo de Temperatura), que consiste de um elemento resistivo cuja variação de resistência é inversamente proporcional a variação de temperatura. Sua principal função é informar ao sistema de gerenciamento a temperatura do ar admitido pelo coletor de admissão para que se possa realizar o cálculo de massa de ar admitida.

2.4.5 Sensor de oxigênio

Também conhecido como Sonda Lambda, é o sensor utilizado para medir a quantidade de oxigênio presente nos gases de escape em relação ao oxigênio presente na atmosfera. Esse sensor é chamado de Sonda Lambda por permitir que através do seu sinal de saída possa ser calculado o λ , onde:

$$\lambda = \frac{\text{ar/combustível}}{\text{ar/combustível estequiométrico}}$$

Segundo Ribbens (1998), os dois tipos mais comuns de sensores de oxigênio são os sensores de Dióxido de Zircônio (ZrO_2) e os sensores de Dióxido de Titânio, sendo o primeiro o mais utilizado pela indústria automotiva atualmente. A figura 9 mostra a estrutura de um sensor de oxigênio, onde V_o é gerado pelo Dióxido de Zircônio e seu valor depende da concentração de oxigênio encontrado no ar.

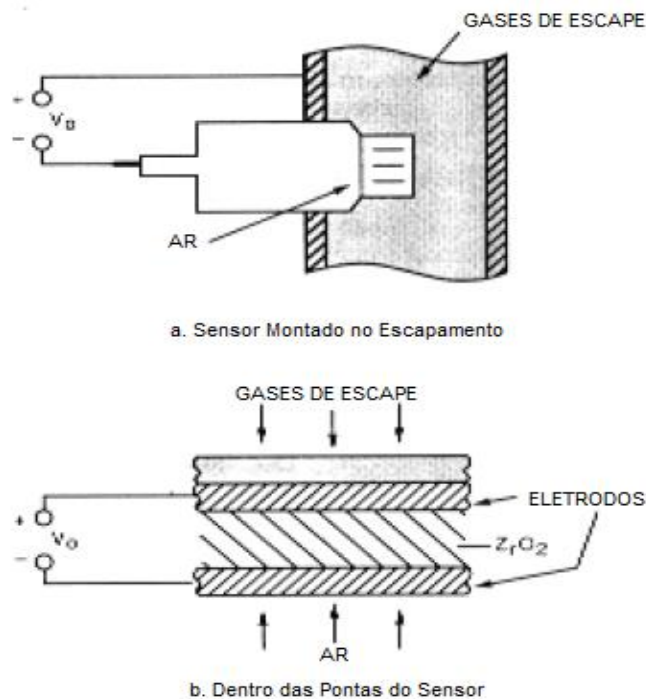


Figura 9 – Estrutura de um sensor de oxigênio (Adaptado de Ribbens, 1998)

Os sensores de Oxigênio consistem geralmente de uma camada de cerâmica porosa preenchida com Dióxido de Zircônio que possui dois eletrodos de Platina, sendo um interno, em contato com o ar atmosférico, e um externo, em contato com os gases de escape. Seu funcionamento consiste nas propriedades catalíticas do Dióxido de Zircônio, que atrai os íons de oxigênio acumulados nos eletrodos de platina. Como os íons de oxigênio possuem carga elétrica negativa e o eletrodo interior (ar atmosférico) acumula uma quantidade maior de íons de oxigênio, tornando-se mais negativo, a diferença de potencial entre a camada externa e interna do sensor e a alta temperatura gera a tensão V_o , onde o seu valor será proporcional a quantidade de oxigênio nos gases de escape.

A seguir serão descritas as funções dos principais atuadores utilizados pelo sistema de gerenciamento, assim como seus princípios de funcionamento.

2.4.6 Válvula Injetora de Combustível

A principal função da válvula injetora é dosar e pressurizar o combustível. A figura 10 mostra os principais componentes que compõem uma válvula injetora de combustível.

Enquanto a válvula não é alimentada, a mola de retorno pressiona a agulha da válvula contra o assento, fazendo com que a válvula injetora não permita a passagem de combustível.

A partir do momento em que a válvula injetora é energizada, a bobina presente na válvula gera um campo magnético atraindo assim o induzido magnético preso à agulha e o combustível flui através da abertura criada pelo deslocamento da agulha (BOSCH, 2005).

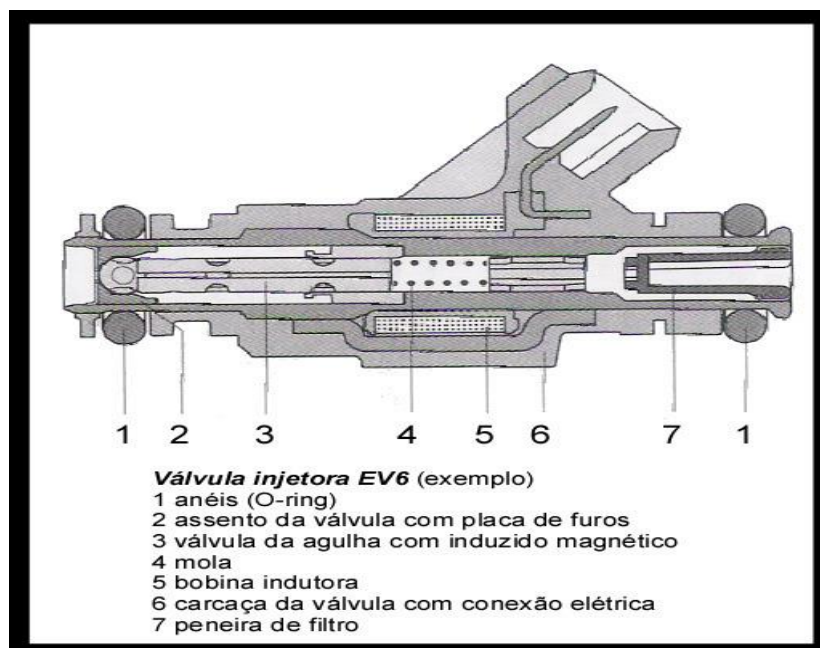


Figura 10 – Válvula injetora de combustível (Extraído de Bosch, 2005).

2.4.7 Válvula de Purga do Canister

Válvula instalada no tanque combustível que tem como função permitir a passagem dos vapores de combustível armazenados em um filtro de carvão ativado denominado canister, possibilitando assim economia de combustível (BOSCH, 2012).

2.4.8 Motor de Passo da Marcha Lenta

Componente utilizado no controle da marcha lenta, condição de trabalho crítica do motor onde a rotação é baixa e não há aceleração no veículo.

A função principal desse motor é permitir a passagem da quantidade correta de ar pelo coletor de admissão quando a borboleta de admissão estiver fechada, esse controle é feito através dos passos de giro do motor que aumentam ou diminuem o ângulo de abertura do *bypass* (Milhor. 2002).

2.4.9 Bomba de Combustível

A principal função da bomba de combustível é disponibilizar a quantidade suficiente de combustível com a pressão necessária para o sistema de injeção de combustível do motor (BOSCH, 2005).

2.4.10 Bobina de ignição

Ilustrada pela figura 11, a bobina de ignição é constituída de dois enrolamentos concêntricos, denominados enrolamento primário (8) e enrolamento secundário (9), acoplados a um núcleo magnético de ferro (12), revestidos com um material isolante (11) para evitar descargas elétricas. Sua principal função é ser uma fonte de alta tensão para o sistema de ignição, sendo assim semelhante a um transformador.

O enrolamento primário da bobina é constantemente alimentado pela tensão proveniente da bateria após comutação (linha 15). Quando a unidade de controle gera o sinal de ignição, o enrolamento primário é ligado ao polo negativo da bateria, fazendo com que assim ocorra a circulação de corrente elétrica nesse enrolamento.

O tempo de permanência (tempo em que o enrolamento primário permanece energizado) é calculado de forma que a corrente no primário e a energia armazenada na bobina atinjam, ao final do processo, valores suficientes para que ocorra a centelha elétrica adequada na vela de ignição. O corte na circulação da corrente no primário gera o efeito de

indução de tensão entre os enrolamentos da bobina, fazendo com que a tensão na ordem de algumas centenas do enrolamento primário se transforme em uma tensão de cerca de 30 KV no enrolamento secundário, essa transformação é possível graças à relação de transformação entre os enrolamentos (BOSCH, 2005).

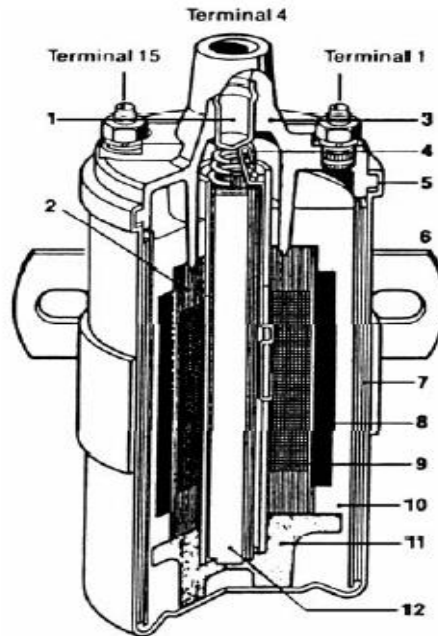


Figura 11 – Bobina de ignição em corte (Extraído de Adler, 1988)

2.5 Formação da mistura estequiométrica

Um dos fatores de extrema importância para o funcionamento de um Motor de Combustão interna é a formação da mistura estequiométrica.

Uma mistura ar/combustível é considerada estequiométrica quando a quantidade de Oxigênio presente no ar admitido é suficiente para a queima completa do combustível injetado no cilindro. Para a gasolina, por exemplo, a relação ar/combustível para que a mistura seja estequiométrica é de 14,7:1 (BOSCH, 2005) ou seja, a cada 1 quilograma de gasolina injetada no cilindro deve ser coletados 14,7 quilogramas de ar.

Segundo Pujatti (2007), para que o sistema de gerenciamento determine a quantidade correta de combustível a ser injetado (Q_c) é necessário que ele identifique a quantidade de massa de ar coletada (Q_a), através dos sensores de pressão e temperatura do ar admitido, e o tipo de combustível a ser injetado, para a determinação da relação ar/combustível estequiométrica (A/F), respeitando a equação:

$$Q_c = \frac{Q_a}{A/F}$$

Segundo Bosch (2005), para que o sistema de gerenciamento possa identificar se a mistura ar/combustível real desvia da mistura estequiométrica, foi criado o fator lambda, cuja equação pode ser encontrada no item 2.4.5 desse capítulo. Se valor de λ for igual a 1, a relação ar/combustível da mistura é estequiométrica, caso o valor de λ for menor do que 1, a mistura está rica em combustível e caso o valor de λ for maior do que 1, a mistura está pobre em combustível.

A figura 12-a mostra a influência do fator λ no consumo de combustível e na potência indicada no motor. A figura 12-b mostra a influência de λ na emissão dos principais gases poluentes.

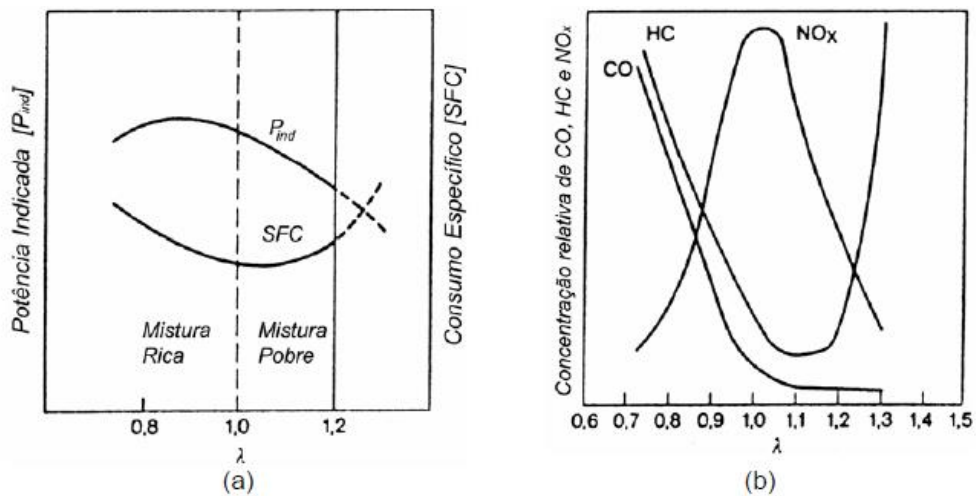


Figura 12 – Influência de λ no consumo de combustível e potência indicada de um motor(a) e na emissão de gases poluentes(b) (Extraído de Adler, 1988)

2.6 Sistema de injeção eletrônica

Durante a maior parte da história do motor a combustão interna o carburador reinou em absoluto, sobretudo quando o assunto é injeção de ar e combustível. Esse era responsável por levar até o interior da câmara de combustão a quantidade suficiente de ar e combustível.

O carburador funcionava basicamente pelo princípio de Venturi, onde a depressão gerada na linha de admissão pelo movimento descendente do êmbolo (PMS a PMI) em conjunto com o controle de entrada de ar oriundo da abertura e fechamento da válvula de aceleração (também chamada de Borboleta de aceleração) determinava a quantidade de combustível utilizada em cada combustão de cada cilindro. Ou seja, o combustível era literalmente arrastado para o interior do motor.

Com o avanço da tecnologia essa estratégia para que a mistura Ar/Combustível chegue até o cilindro ganhou atuadores de extrema importância, tais como válvulas eletromagnéticas para a injeção de combustível e atuador de abertura e fechamento da válvula borboleta de

aceleração. Além disso, o sistema ganhou uma unidade de controle eletrônica, que dispõe de uma série de sensores e atuadores que todos juntos proporcionam desempenho significativo deste mecanismo de combustão interna e diminuição extremamente importante nos níveis de emissões de poluentes. Temos então o Sistema de Injeção Eletrônica da Mistura Ar/Combustível.

2.6.1 Injeção indireta monoponto

Esse sistema possui uma única válvula injetora, localizada no coletor de admissão anteriormente à válvula borboleta e, por esse motivo, é conhecida como indireta. A figura 13 demonstra a posição dessa válvula em um motor de combustão interna de quatro cilindros.

Essa válvula injetora é responsável pela entrega de combustível para todos os cilindros do motor, não importando o seu número, por isso sua frequência de operação é muito alta, chegando a ser duas vezes maior do que a frequência de rotação da árvore de manivelas em motores com quatro cilindros.

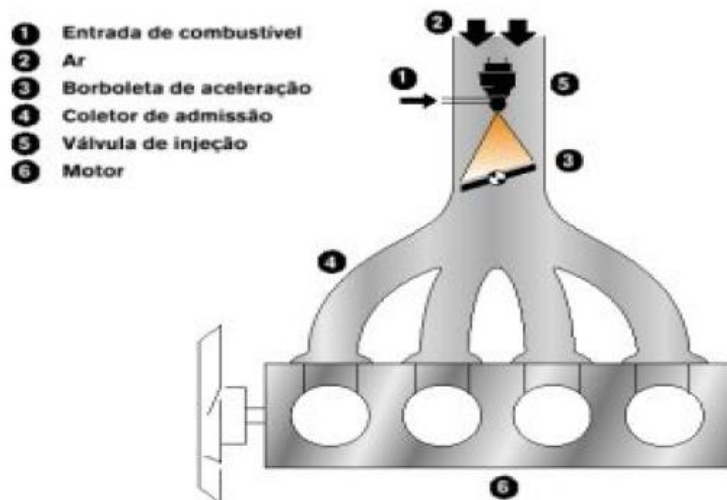


Figura 13 – Posição da válvula injetora em um sistema de injeção indireta monoponto (Adaptado de Pujatti, 2007).

2.6.2 Injeção indireta multiponto

Sistema semelhante a injeção indireta monoponto, porém caracterizada pela existência de uma válvula injetora para cada cilindro do motor, cujo principal objetivo é otimizar a atomização da mistura, tornando-a mais homogênea, e minimizar o acúmulo de combustível nas paredes do coletor de admissão (PUJATTI, 2007). A disposição das válvulas injetoras nesse sistema de injeção pode ser visualizada na figura 14.

Devido as diferentes frequências de atuação da válvula injetora encontradas em sistemas de injeção indireta multiponto, é possível classificar esse sistema como:

SISTEMA DE INJEÇÃO SIMULTÂNEA DE COMBUSTÍVEL: Possui a mesma frequência de atuação do sistema indireto monoponto, onde todas as válvulas são acionadas simultaneamente a cada ciclo de admissão do motor.

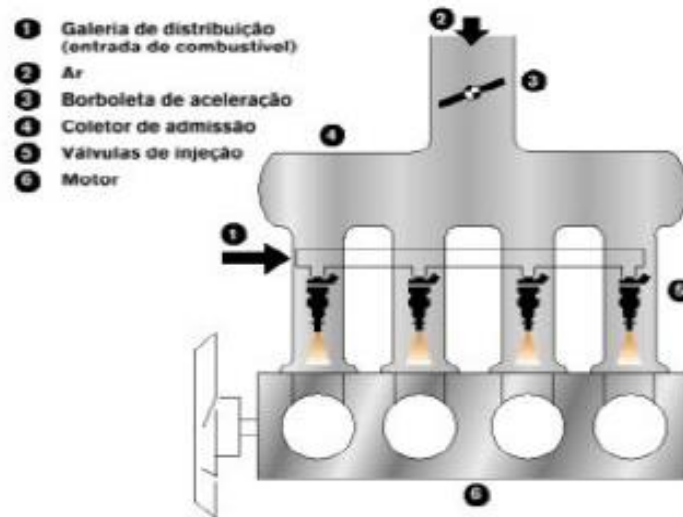


Figura 14 – Posição das válvulas injetoras em um sistema de injeção indireta multiponto. (Adaptado de Pujjati, 2007)

SISTEMA DE INJEÇÃO SEMI SEQUÊNCIAL: Também conhecido como banco a banco, esse sistema parte do conceito de que pares de cilindros estão na mesma posição durante o ciclo de admissão, mesmo que estejam em tempos diferentes. Dessa forma a frequência de atuação das válvulas injetoras é reduzida em relação ao sistema simultâneo, pois serão acionadas somente duas válvulas injetoras por ciclo de admissão do motor.

SISTEMA DE INJEÇÃO SEQUÊNCIAL: Esse sistema reconhece o ciclo de trabalho que cada um dos cilindros do motor, fazendo com que uma única válvula injetora seja acionada por ciclo de admissão, reduzindo assim o consumo de combustível e otimizando a atomização da mistura.

2.6.3 Injeção direta multiponto

Sistema semelhante ao de injeção direta multiponto, com o diferencial de que o combustível é injetado diretamente na câmara de combustão, exigindo assim válvulas injetoras de alta pressão para tornar possível a saída do combustível para a câmara.

A figura 15 mostra a disposição dessas válvulas em um sistema direto multiponto de injeção de combustível.

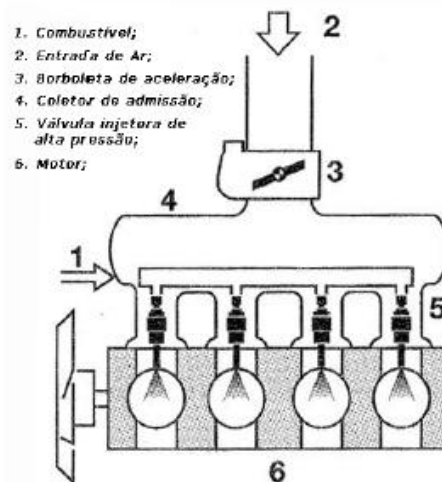


Figura 15 – Disposição das válvulas injetoras em um sistema de injeção direta multiponto (Adaptado de Bosch, 2005).

2.7 Sistema de Ignição Eletrônica

A função do sistema de ignição é a de garantir que a energia gerada pela bobina de ignição chegue até a câmara de compressão, através da vela de ignição, no momento e intensidade exatos para que ocorra a queima completa da mistura ar + combustível, e assim fazendo com que o motor funcione corretamente. Segundo Bosch (2005), uma falha no sistema de ignição pode causar desde a falha da combustão e valores inadequados de emissões até a redução da potência do motor e danificação do catalisador.

O sistema de ignição também tem o poder de controlar o início da combustão, através de um parâmetro conhecido como ângulo de ignição, cuja medição se dá entre os graus da árvore de manivelas antes que o êmbolo chegue a seu ponto morto superior durante o tempo de compressão. Esse controle tem como função garantir que o maior ponto de pressão da combustão ocorra logo após o êmbolo chegar em seu ponto morto superior, de modo que toda a energia gerada no processo seja convertida em trabalho útil pelo sistema. Para que isso se torne possível deve-se introduzir a centelha na câmara de combustão antes que o êmbolo chegue ao PMS, para que o tempo gasto na queima da mistura e na propagação da chama seja compensado. O valor de avanço deve ser configurado conforme a rotação e a carga atual do motor, quanto maior a rotação e menor a carga, maior deverá ser o ângulo de ignição.

A Figura 16 demonstra os efeitos que o avanço do ângulo de ignição pode causar na pressão no interior do cilindro. Na curva 1, é possível visualizar o comportamento da pressão quando o avanço do ângulo de ignição está correto, com o pico de pressão sendo gerado momentos depois do PMS. Na curva 2, visualiza-se o comportamento da pressão quando o

avanço de ignição está exagerado, nesse caso, ocorre a autoignição do combustível não queimado, gerando a propagação de ondas de choque em sentido contrário a propagação normal, gerando assim picos de pressão no interior do cilindro. (PUJATTI, 2007). Na curva 3, visualiza-se o comportamento da pressão quando o avanço do ângulo de ignição não é suficiente a ponto de compensar o tempo de propagação da chama, fazendo com que os valores da pressão interna do cilindro caiam drasticamente, reduzindo assim o trabalho útil entregue a árvore de manivelas.

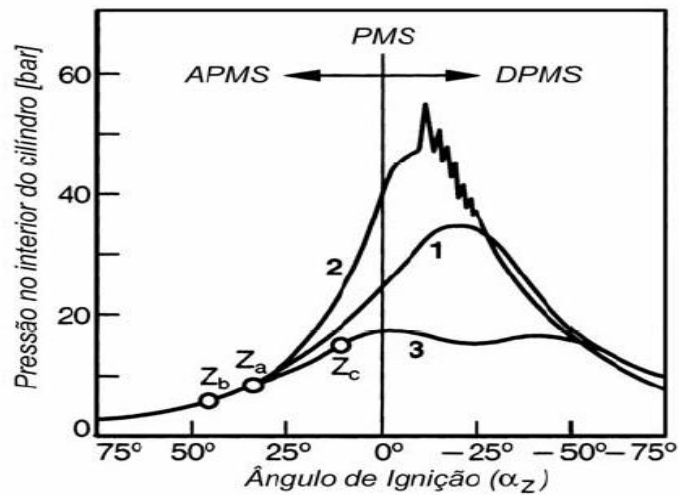


Figura 16 – Efeitos do avanço do ângulo de ignição na curva de pressão interna do cilindro (Extraído de Bauer, 1999).

2.7.1 Os tipos de sistema de ignição existentes

Pujatti (2007) afirma que os sistemas de ignição existentes no mercado podem ser classificados conforme descrito na Tabela 1, que apresenta além da evolução desses sistemas, as funções básicas do sistema de ignição, onde se destacar a crescente substituição de componentes mecânicos por componentes eletrônicos.

Função:	Sistemas de Ignição:			
	Bobina + Platinado + Distribuidor	Ignição transistorizada + Distribuidor	Ignição Mapeada + Distribuidor	Ignição Mapeada + Bobinas estáticas (Distribuidor-less)
Geração do tempo de permanência	Mecânico	Eletrônico	Eletrônico	Eletrônico
Variação do avanço de ignição	Mecânico	Mecânico	Eletrônico	Eletrônico
Princípio de geração da Alta Tensão (kV)	Indutivo	Indutivo	Indutivo	Indutivo
Distribuição da centelha entre os cilindros	Mecânico	Mecânico	Mecânico	Eletrônico
Sistema de chaveamento de Alta Tensão (kV)	Mecânico	Eletrônico	Eletrônico	Eletrônico

Tabela 1 – Os sistemas de ignição existentes no mercado (Extraído de PUJATTI, 2007).

2.7.1.1 – O sistema mecânico de ignição.

Altamente utilizados na indústria automotiva brasileira até parte da década de 1980, os sistemas mecânicos de ignição, segundo Pujatti (2007), são conhecidos como os primeiros sistemas de ignição a controlar o avanço da ignição em função da carga (pressão no coletor) e também em função a rotação. Conforme demonstrado pela tabela 1, as funções básicas desse sistema de ignição são realizadas inteiramente por componentes mecânicos, a figura 17 mostra cada um desses componentes e como eles estão interligados.

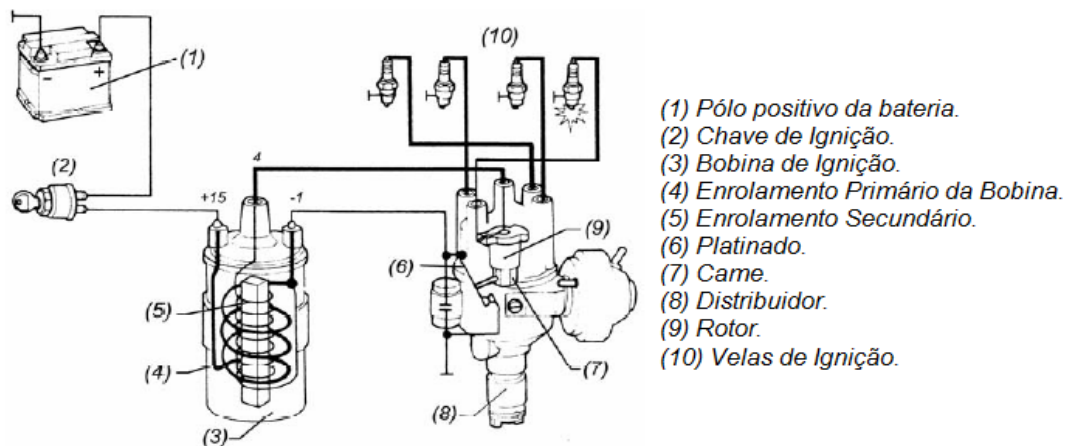


Figura 17 – O sistema mecânico de ignição. (Adaptado de Denton,2000)

Nesse sistema, o enrolamento primário da bobina é alimentado pelo polo positivo da bateria, após a chave de ignição. Quando o came localizado no distribuidor aciona o platinado, ocorre a circulação de corrente pelo enrolamento primário da bobina, que cresce exponencialmente até que o tempo de permanência chegue ao fim e o came faz com que o platinado desconecte o primário da massa, cortando a circulação de corrente. Com esse corte de corrente no primário, ocorre a indução de tensão do primário para o secundário, elevando a tensão a partir da relação de transformação entre eles. Essa alta tensão é transferida da bobina para o distribuidor que, conforme a posição do rotor, direciona a tensão para a vela de ignição correta.

Segundo Pujatti (2007), a principal vantagem de se utilizar o sistema mecânico de ignição é sua simplicidade construtiva e o número reduzido de componentes, porém, possui desvantagens como a curta vida útil do platinado por ser um contato mecânico, e também pela constante queda no tempo de permanência conforme o crescimento da rotação, pois esse tempo é controlado pelo came do distribuidor que está sincronizado diretamente da manivela,

essa queda do tempo de permanência interfere diretamente na energia entregue pela bobina de ignição ao distribuidor.

Nesse sistema, o controle de avanço de ignição pode ser feito de duas formas, utilizando o avanço a vácuo, através do vácuo do coletor de admissão, e utilizando o avanço a força centrífuga, através da rotação.

O sistema de avanço a vácuo possui duas câmaras seladas, uma delas ligada ao coletor de admissão de ar e o outro a atmosfera, essas câmaras são divididas por um diafragma e um êmbolo. Conforme a válvula borboleta se abre, a depressão no coletor diminui, fazendo com que o êmbolo se movimenta, alterando a mesa de fixação do platinado, aumentando assim o avanço de ignição.

O sistema de avanço à força centrífuga possui dois contrapesos que são montados junto ao eixo do distribuidor, conforme a rotação aumenta, esses contrapesos se deslocam de forma que a mesa de fixação do platinado se movimenta e o avanço de ignição aumente.

2.7.1.2 – O sistema de ignição eletrônica mapeada.

Na ignição eletrônica mapeada, os sistemas de avanço por força centrífuga e a vácuo foram substituídos por sensores capazes de reconhecer as condições do veículo e determinar o melhor valor avanço de ignição possível para cada condição, a partir dos valores registrados no mapa de avanço de ignição. Esse mapa é construído a partir de duas variáveis fundamentais: carga do motor, obtida através do sensor de pressão absoluta do ar admitido (MAP), e rotação, obtido através de um sensor de relutância variável ou de um sensor de efeito de efeito Hall. Outro sensor muito utilizado para a realização da correção do avanço de ignição é o sensor de detonação.

2.7.1.3 – O sistema de ignição sem distribuidor.

Segundo Pujatti (2007), a exclusão do distribuidor nos sistemas de ignição foi possível graças ao desenvolvimento de dois sistemas distintos: a bobina estática e a ignição sincronizada.

Bobina Estática: Muito semelhante à bobina convencional, a principal diferença está nas conexões do enrolamento secundário onde cada um dos terminais está ligado à vela de ignição de um cilindro diferente, que estão com posição e sentido de deslocamento sincronizados pelo virabrequim. Nessa condição, ambos os cilindros podem receber a centelha, porém como a rigidez dielétrica do cilindro em processo de exaustão é maior do que a do cilindro em processo de compressão, a formação de centelha é favorecida no cilindro em processo de compressão.

Pujatti (2007) afirma que a principal vantagem da utilização desse sistema é a remoção do distribuidor, aumentando a robustez do sistema e diminuindo a ocorrência de fuga de centelha. Entre as desvantagens estão a instalação de uma bobina estática para cada par de cilindros, elevando assim o custo do sistema, e também ao fato de que parte da energia fornecida para a formação da centelha pode ser dissipada no cilindro em exaustão.

Ignição Sincronizada: Sistema caracterizado pela utilização de uma bobina de ignição para cada cilindro, essas bobinas geralmente são montadas acima das velas de ignição, reduzindo assim problemas elétricos, como a fuga de centelha, por exemplo. O sistema deve identificar o tempo e posição de cada um dos cilindros do motor e induzir a centelha apenas ao cilindro que estiver ao final do processo de compressão.

Pujatti (2007) afirma que uma das vantagens de se utilizar esse sistema é poder controlar os efeitos da detonação somente no cilindro que estiver apresentando tal problema, reduzindo assim efeito que a redução do avanço de ignição gera no desempenho da ignição nos outros cilindros. A principal desvantagem desse sistema se encontra no elevado custo do sistema, devido a utilização de uma bobina de ignição para cada cilindro.

2.8 Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentados conceitos relevantes para a compreensão das próximas etapas desse trabalho, entre eles, os princípios de funcionamento dos motores de combustão interna e de seus principais sensores e atuadores, sendo esses os objetos de estudo do projeto.

No próximo capítulo serão abordados os métodos de aquisição de dados para o desenvolvimento do *software* e os resultados obtidos com essa aquisição.

3 METODOLOGIA E CONSTRUÇÃO DO PROJETO

Nesse capítulo serão abordados os métodos de construção do projeto, detalhando especialmente o *LabView*, que é a ferramenta de software utilizada para seu desenvolvimento, as fases de construção do *software* de tratamento dos dados e os métodos de aquisição e reprodução dos dados.

3.1 O LabView

O *LabView*, abreviatura de *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench* (Laboratório Virtual de Instrumentos de Engenharia de Bancada), é uma linguagem de programação gráfica, ou seja, são utilizadas ferramentas visuais ao invés de linhas de programação. Outra diferença do *LabView* para as ferramentas de programação textuais está na ordem de execução do programa que passa a ser através do fluxo de dados ao invés de ser sequencial.

A seguir, serão apresentados os conceitos básicos ligados a essa ferramenta computacional.

3.1.1 Instrumentos Virtuais

Os Instrumentos Virtuais, abreviados como VI (do inglês *virtual instruments*), são os programas desenvolvidos no ambiente de trabalho *LabView*, são chamados dessa forma pois tem como objetivo simular instrumentos físicos, como o osciloscópio por exemplo.

Uma VI é constituída de três componentes, são eles o painel frontal (*front panel*), o diagrama de blocos (*Block Diagram*) e o painel de ícones e conectores (*icon and connector pane*), cada um desses componentes será descrito em detalhes abaixo.

3.1.1.1 – Painel Frontal

É a interface do usuário com a VI, permitindo assim a interação com o programa através de controladores e dos indicadores, que representam os terminais de entrada e de saída de uma VI, respectivamente. A figura 18 ilustra um exemplo de painel frontal do *LabView*.

Controladores possuem como função simular instrumentos de entrada físicos, como interruptores, chaves e contatos elétricos, por exemplo, e também possuem a função de fornecer valores de entrada para o diagrama de blocos.

Indicadores possuem como função simular instrumentos de saída físicos, como *leds*, *displays* e osciloscópios, por exemplo, e também possuem a função de mostrar ao usuário os

dados processados e/ou adquiridos pelo diagrama de blocos (NATIONAL INSTRUMENTS, 2007).

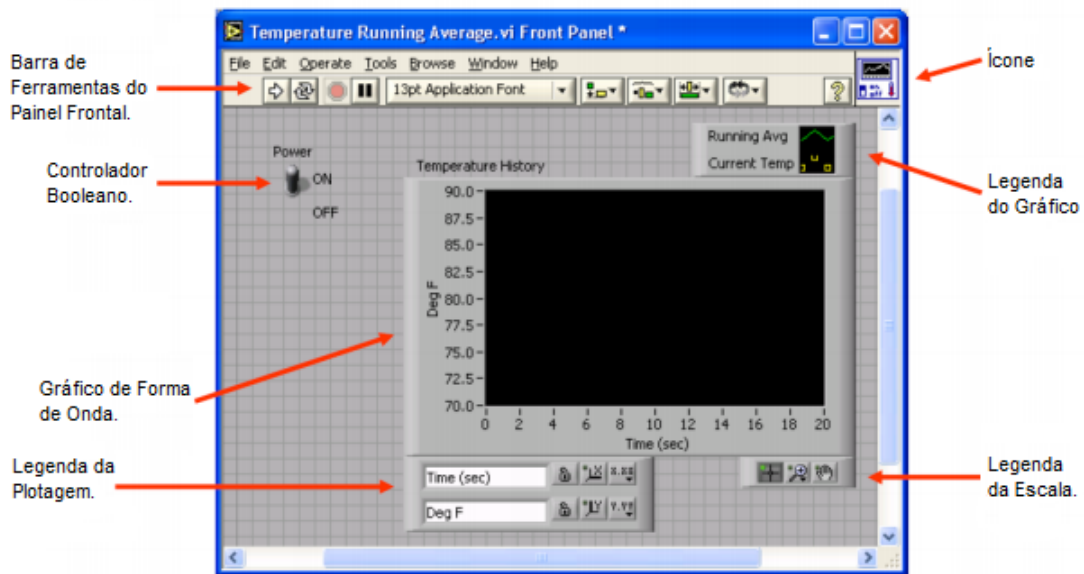


Figura 18 – Painel Frontal de uma VI do *LabView* (adaptado de VEMULKAR, 2011).

3.1.1.2 – Diagrama de Blocos

O Diagrama de Blocos é o ambiente onde se é construído o código fonte gráfico da VI do *LabView*, através de representações gráficas de funções para controle das informações fornecidas pelo painel frontal. A figura 19 ilustra um exemplo de diagrama de blocos.

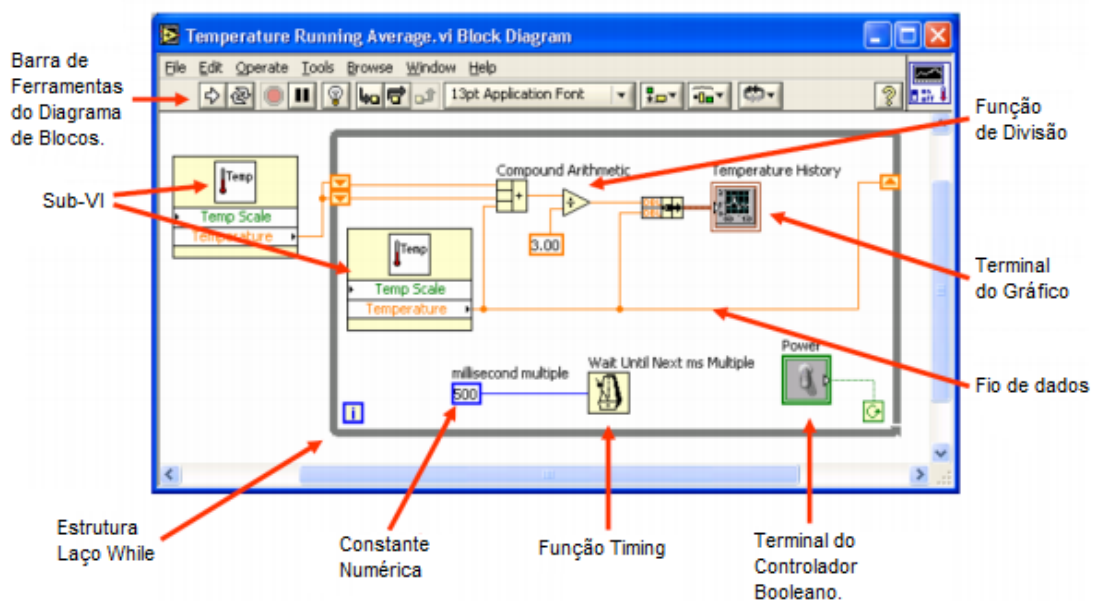


Figura 19 – Diagrama de Blocos de uma VI do *LabView* (Adaptado de VEMULKAR, 2011).

A seguir apresenta-se uma descrição breve dos principais componentes de um diagrama de Blocos.

Terminais: Representam o tipo de dados utilizados pelos controladores e indicadores, podem ser configurados para aparecer na forma de ícone ou somente mostrando o tipo de dados. Na figura 19, o terminal do controlador Booleano está informando o tipo de dados trabalhado pelo controlador na forma de ícone. Os terminais também são utilizados como terminais de entrada e saída para o diagrama de blocos.

Nós: São funções presentes no diagrama de blocos que exercem determinadas operações durante a execução de uma VI, são os equivalentes as rotinas e operações de uma linguagem textual, a função de divisão ilustrada na figura 19 é um exemplo de um nó.

Fios de dados: São o meio de transferência de dados entre os diversos objetos presentes no diagrama de blocos. Cada fio de dados pode carregar somente um tipo de dados, ou seja, a cor e a espessura do fio de dados determina que tipo de dados esse fio pode carregar.

Estruturas: Representam graficamente as estruturas da linguagem textual de programação, como o “Laço *For*” e o “*Switch Case*”, por exemplo. Na figura 19, a estrutura “Laço *While*” é um exemplo de estrutura no diagrama de blocos.

3.1.1.3 – Painel de Ícones e Conectores

Geralmente utilizado para transformar uma VI em uma sub-VI (VI que pode ser utilizada como nó de outra VI), o painel de ícones e conectores pode ser utilizado para editar o ícone da VI, que é a representação gráfica da sub-VI quando estiver presente no diagrama de blocos de outra VI, como também é utilizado para determinar quais controladores e indicadores poderão ser utilizados como terminais de entrada e saída da VI quando ela estiver sendo usada como sub-VI. A figura 20-a ilustra o ícone de uma VI e a figura 20-b ilustra o painel de conectores da mesma VI.



Figura 20 – Ícone de uma VI (a) e painel de conectores de uma VI (b) (Adaptado de NATIONAL INSTRUMENTS, 2007).

3.2 Metodologia de trabalho

Utilizando-se de uma VI desenvolvida para aquisição de dados, as informações provenientes dos sinais dos sensores instalados no motor são registradas em um arquivo TDMS. Após a aquisição, o *software* de tratamento dos dados realiza a leitura do arquivo, converte os valores de tensão em valores das grandezas físicas observados pelos sensores

estudados e os representa graficamente no painel frontal do *LabView*, conforme o diagrama de blocos representado pela figura 21. Cada uma das fases destacadas pela figura 21 serão descritas em detalhes a seguir.



Figura 21 – Diagrama de blocos da metodologia de trabalho do projeto.

3.2.1 Aquisição de dados

Definida a metodologia de trabalho para se obter um simulador com comportamento adequado a proposta inicial de projeto, é necessário o levantamento de dados para que se possa compreender o comportamento de cada um dos sensores estudados, sendo eles: sensor de temperatura do ar admitido, sensor de temperatura do líquido de arrefecimento do motor, sensor de pressão do ar admitido, sensor de rotação do motor, sensor de oxigênio nos gases de escape, sensor de posição da borboleta de aceleração e sensor de velocidade do veículo.

Para obter essa base de dados foram utilizadas duas ferramentas principais: O osciloscópio (a) e a ferramenta NI DAQ 6009 (b), ilustrados pela figura 22.



Figura 22 – Ferramentas utilizadas na aquisição de dados: O osciloscópio (a) e a NI DAQ 6009 (b).

A função do osciloscópio foi a de identificar e analisar os sinais elétricos gerados pelos sensores estudados, verificando o seu comportamento conforme a variação das grandezas que esses mesmos sensores representam. No exemplo da figura 23, identifica-se um sinal típico de um sensor de pressão do ar admitido, onde se nota que a amplitude do sinal permanece constante em 5V de pico (na figura consta 500mV devido atenuação da ponta de

prova), variando somente a frequência, que cresce proporcionalmente o acréscimo da pressão no coletor de admissão.

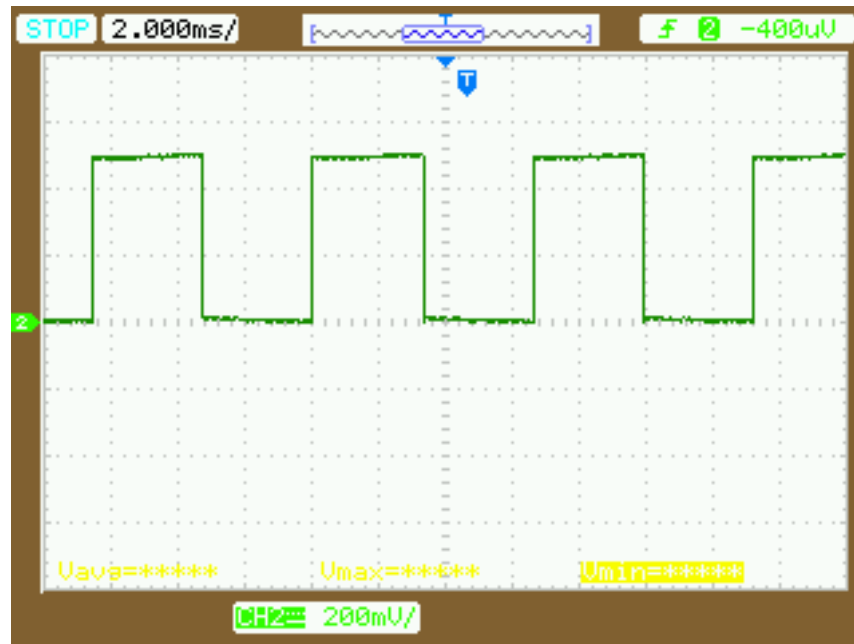


Figura 23 – Amostra de um sinal típico de um sensor de pressão do ar admitido.

Partindo da proposta de se desenvolver um simulador que reproduzisse o comportamento dos sensores conforme um regime real de funcionamento do veículo, foi necessário que, além de estudar o comportamento dos sensores, também se obtivesse um registro das variações que os sinais desses dispositivos sofrem durante esse regime, dessa forma foi utilizado o dispositivo NI DAQ 6009, que possibilita o registro de até 8 sinais analógicos simultâneos utilizando a ferramenta *LabView*, cujo *Software* desenvolvido para essa aquisição será descrito a seguir.

3.2.1.1 – *Software* de aquisição de dados

O *software* de aquisição de dados consiste em configurar o dispositivo NI DAQ 6009 para realizar a aquisição e registro de dados de forma correta.

Primeiramente, é utilizado o assistente de configuração *DAQ Assistant*. A configuração para aquisição de sinais analógicos de tensão é apresentada pela figura 24.

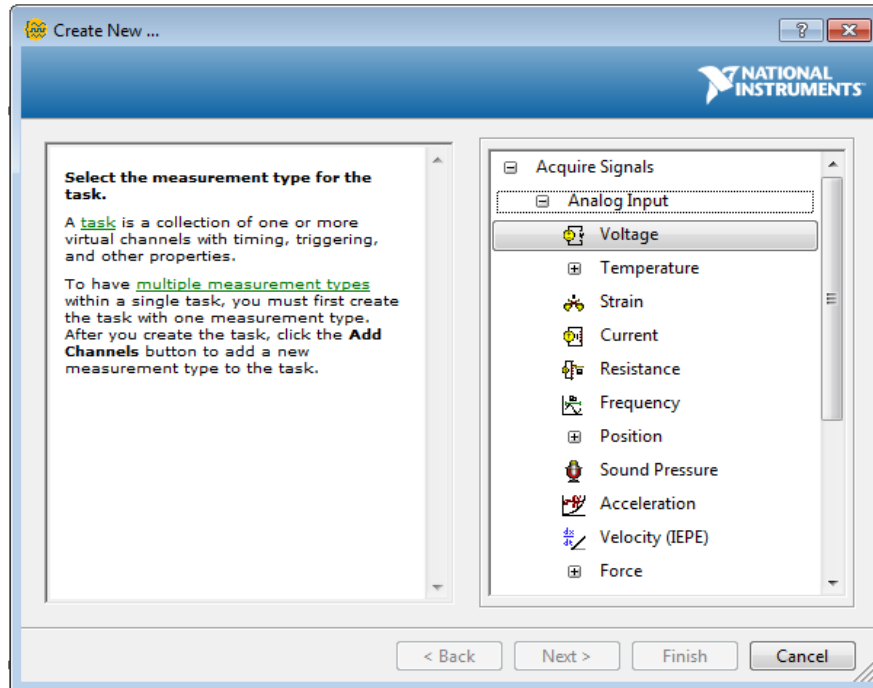


Figura 24 – DAQ Assistant configurado para aquisição de sinais analógicos de tensão.

Após selecionar a DAQ a ser utilizada e as entradas a serem observadas pelo dispositivo, o assistente apresenta a tela ilustrada pela figura 25, onde se configura o método de aquisição. No exemplo, foi selecionado o método de aquisição por número de amostras, onde se determina o número total de amostras a serem coletadas pelo dispositivo e a taxa de amostragem.

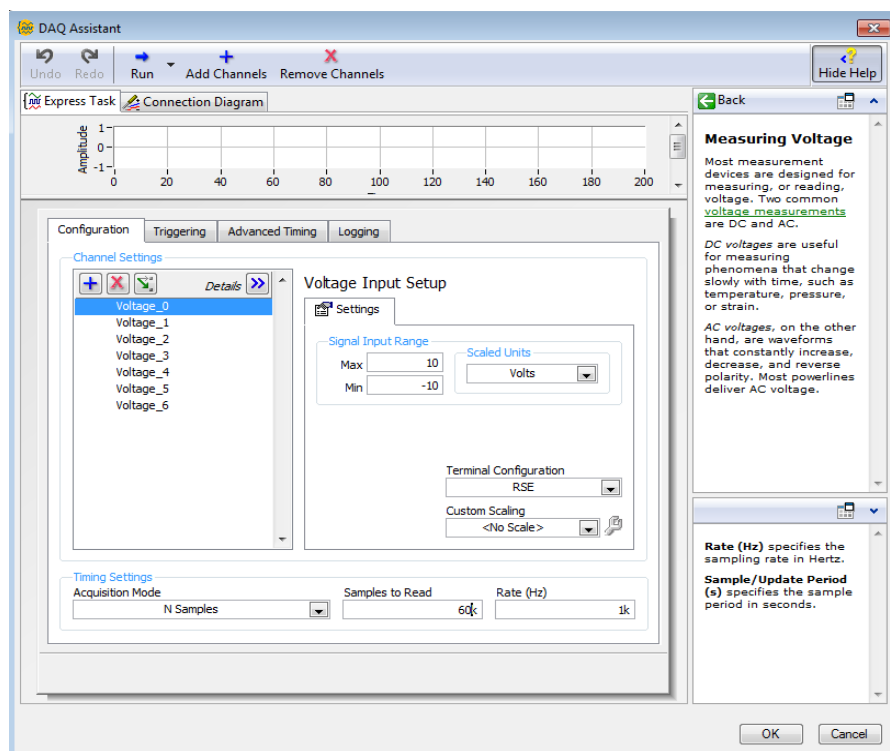


Figura 25 – Tela de seleção de modo de aquisição.

Com o dispositivo configurado é necessário definir o método que o *software* utilizará para registrar as informações obtidas, para isso é utilizado um assistente denominado “*Write to Measurement File*” (Escrever em um Arquivo de Medidas), o arquivo de medida utilizado pelos autores foi o arquivo do tipo TDMS, pois dados armazenados nesse tipo de arquivo podem ser facilmente estudados sem o uso direto do *Labview* pois, desde que o mesmo esteja instalado no mesmo computador, esses arquivos podem ser visualizados através da ferramenta *Microsoft Excel*, muito comum no trabalho com tabelas. A configuração para gerar esse tipo de arquivo é apresentada na figura 26, que inclui também a configuração para que o programa sempre pergunte ao usuário o local onde se deverá salvar o arquivo criado.

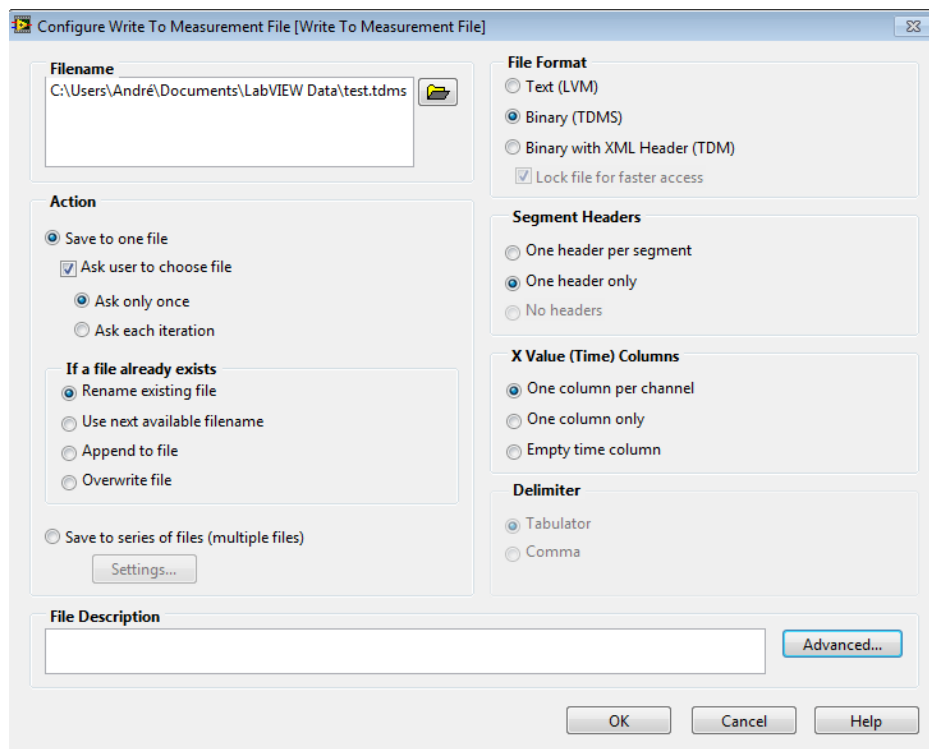


Figura 26 – Configuração para se obter o arquivo TDMS.

Após a configuração dos dois assistentes é obtido o *software* apresentado pela figura 27, onde “*rate*” é um seletor para se modificar a taxa de amostragem do dispositivo de aquisição e “*number of samples*” é o seletor do número de amostragem a serem armazenadas pelo *software*.

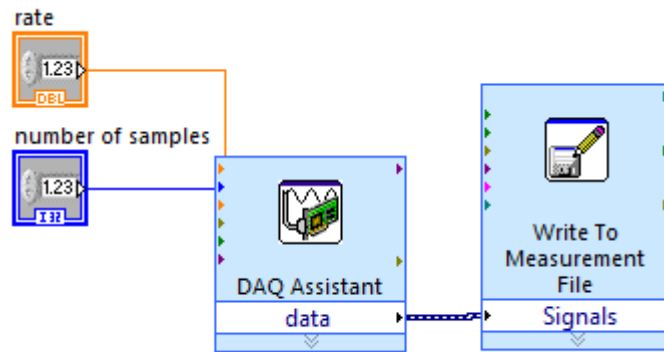


Figura 27 – Diagrama de blocos do *software* de aquisição de dados.

3.2.2 Tratamento dos dados

Utilizando-se dos dados adquiridos através da aquisição de dados que foram devidamente filtrados conforme demonstrado anteriormente, torna-se possível a construção do *software* de tratamento dos dados, responsável pelo controle e tratamento dessas informações para que se torne possível a simulação dos sinais dos sensores, assim como a representação gráfica das grandezas medidas por eles.

Para facilitar a compreensão do funcionamento do *software* ele foi dividido em três funções distintas: leitura de dados, representação de dados e reprodução de dados, conforme figura 28.

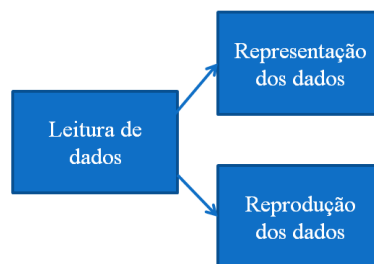


Figura 28 – Divisão e interação entre as 3 partes do *software* de tratamento dos dados.

Como observado na figura 28, a leitura de dados é a função base do *software*, pois dessa função provém todos os dados que serão trabalhados pelas funções seguintes (reprodução de dados e representação de dados). O detalhamento e a função de cada uma dessas funções serão apresentados a seguir.

3.2.2.1 – Leitura de dados

Função responsável pela leitura dos dados registrados no arquivo TDMS. Para cumprir essa função a leitura de dados foi dividida em duas sub-VI diferentes, denominadas pelos autores como Leitura de Dados 1 e Leitura de Dados 2.

A sub-VI Leitura de Dados 1, ilustrada pela figura 29, possui a função de obter os dados armazenados no arquivo TDMS e separá-los em *arrays* de dados (funções equivalentes a tabelas de uma dimensão), onde cada *array* equivale a um sensor utilizado na coleta de dados.

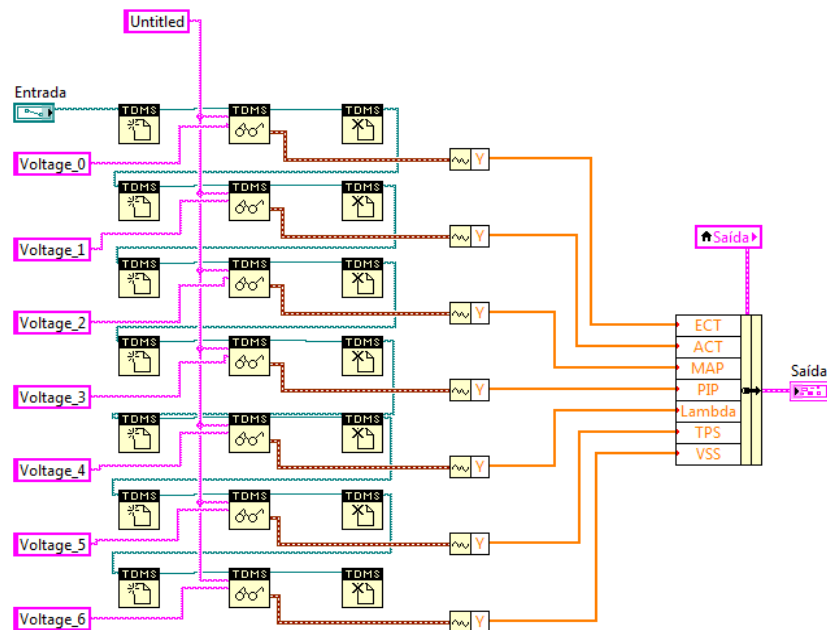


Figura 29 – Diagrama de blocos da sub-VI Leitura de Dados 1.

O princípio de funcionamento da sub-VI Leitura de Dados 1 consiste em obter através da variável Endereço (que está selecionada como variável de entrada da sub-VI), o endereço do arquivo TDMS selecionado pelo usuário através da função *File Dialog* (Figura 30) do *Labview*. Com esse endereço é possível através da função *TDMS Open* abrir o arquivo selecionado.

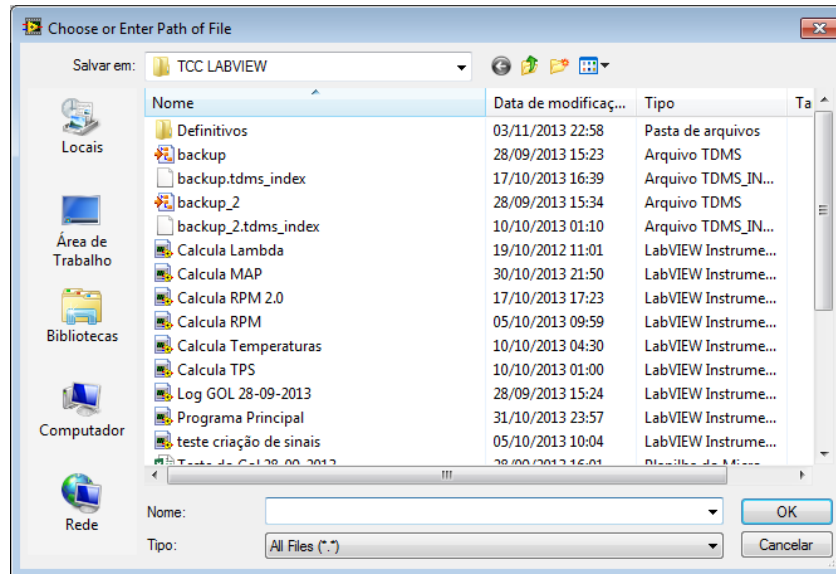


Figura 30 – Tela apresentada pela função *File Dialog*.

Após abrir o arquivo é necessário utilizar a função *TDMS Read* para ler o conteúdo desse arquivo, para isso, a função precisa da informação do grupo e dos canais que o usuário deseja acessar, essa informação é transmitida através da *string Untitled* (Variável que seleciona o grupo a ser acessado) e das *strings Voltage_X* (Variáveis que selecionam os canais a serem acessados, onde X equivale ao número do canal desejado). Com essas informações, a função *TDMS Read* realiza a leitura do conteúdo do arquivo TDMS e armazena essa informação em formas de onda e, após isso, a função *TDMS Close* fecha o arquivo.

Como os dados foram armazenados em formas de onda pela função de leitura, é necessária a conversão dessas formas de onda em outro tipo de representação de dados para facilitar seu tratamento por outras rotinas do programa. A representação escolhida pelos autores foi o *Array* de dados, obtidos através da função *GetWaveformComponents*, onde os valores de variável Y da forma de onda são armazenados no *array* equivalente ao sensor que os dados representam.

Para facilitar a utilização dessas *arrays* pela *sub-VI* Leitura de dados 2, as *arrays* foram agrupadas em um *cluster* de dados que está selecionado como saída da *sub-VI* Leitura de dados 1.

A *sub-VI* Leitura de Dados 2, representada pela figura 31, possui a função de identificar a iteração atual da rotina principal e, a partir dessa informação, obter os dados desejados de cada um dos sensores estudados.

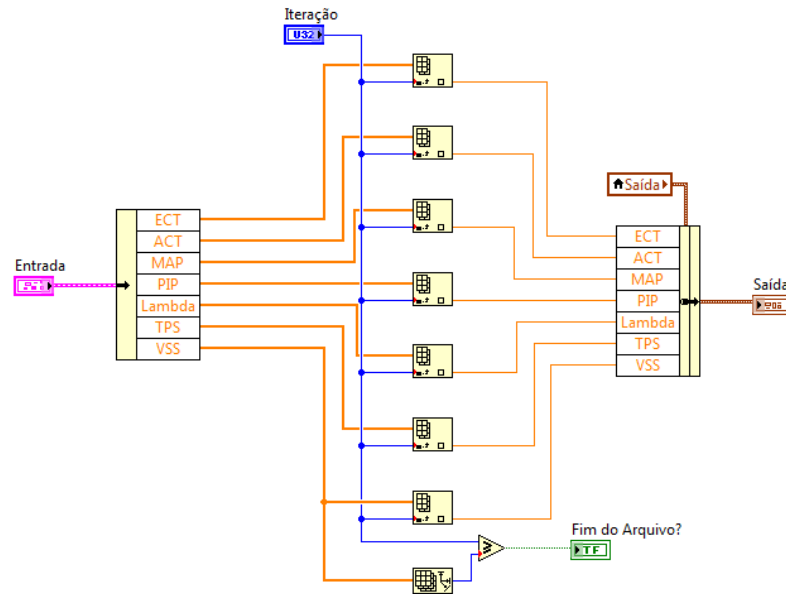


Figura 31 – Diagrama de blocos da sub-VI Leitura de dados 2.

O princípio de funcionamento da *sub-VI* Leitura de Dados 2 consiste em ler o *cluster* de dados gerado pela *Sub-VI* Leitura de Dados 1 e, com o valor da iteração obtida com a variável “Iteração”, selecionar o valor correto em cada *array* com o auxílio da função *Index Array*, assim como a *sub-VI* anterior, as variáveis que armazenam os valores para cada um dos sensores são agrupadas em um *cluster* de dados para facilitar o tratamento da informação por outras rotinas do programa.

A *sub-VI* Leitura de Dados 2 também possui a função de identificar o momento em que a sub-rotina lê o último dado contido no arquivo TDMS através da função de comparação entre o tamanho de um dos *arrays* equivalentes aos sensores estudados e o valor da iteração atual da rotina principal, quando os dois valores forem iguais (o que indica que a *sub-VI* leu o último dado contido no programa) a variável “Fim do Arquivo?” passa a possuir o nível lógico “verdadeiro”. Essa informação é utilizada pelas rotinas de controle de execução do programa principal, onde se o valor dessa variável for “verdadeiro”, o *software* automaticamente irá parar sua execução.

3.2.2.2 – Representação dos dados

Com os dados lidos pela divisão de Leitura de dados, o *software* de tratamento dos dados inicia o processo de tratamento dessas informações para que elas sejam apresentadas em tela, a primeira fase desse tratamento consiste em converter os sinais de tensão obtidos pela aquisição em valores das respectivas grandezas que os sensores representam. O método de conversão para cada um dos sensores estudados será detalhado a seguir.

3.2.2.2.1 – Conversão para temperatura

Como visto no capítulo 2, os sensores de temperatura, tanto do motor quanto do ar coletado, são constituídos por uma resistência NTC, onde o decréscimo de tensão equivale a um aumento na temperatura.

A tabela 2 mostra a relação entre a temperatura medida e a tensão fornecida pelo sensor, por motivos de tempo e dificuldade de aquisição de valores exatos dos sensores encontrados no veículo de estudo, os autores optaram por usar os dados obtidos através do manual de serviço da Ford do ano de 1996, contemplando os sensores utilizados pelo sistema EEC-IV desenvolvido por essa empresa e que também estão presentes no veículo estudado.

Temperatura		Valores dos sensores de temperatura do ar admitido/liquido de arrefecimento	
°F	°C	Tensão (Volts)	Resistência (K Ohms)
248	120	.27	1.18
230	110	.35	1.55
212	100	.46	2.07
194	90	.60	2.80
176	80	.78	3.84
158	70	1.02	5.37
140	60	1.33	7.70
122	50	1.70	10.97
104	40	2.13	16.15
86	30	2.60	24.27
68	20	3.07	37.30
50	10	3.51	58.75

Tabela 2 – Relação entre temperatura e tensão apresentada pelos sensores de temperatura (Adaptado de Ford, 1996).

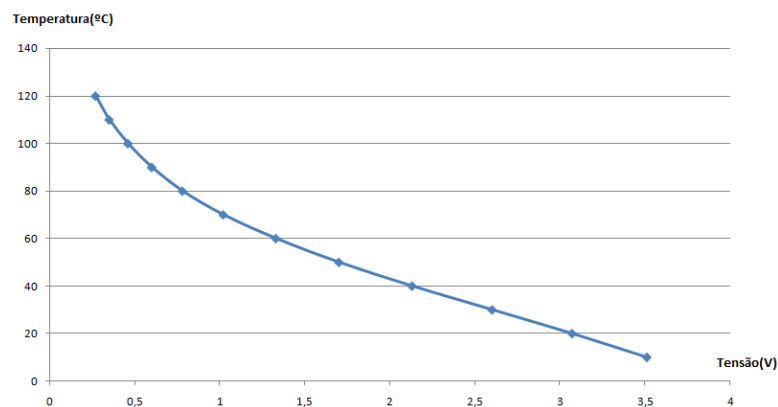


Figura 32 – Gráfico de variação da temperatura em relação e tensão apresentada pelo sensor.

Ao analisar a tabela em um gráfico (ilustrado pela figura 32), verifica-se que o sensor possui um comportamento de variação exponencial para tensões menores que aproximadamente 0,85V e um comportamento linear para tensões acima desse valor, sendo assim foram definidas as seguintes fórmulas:

Para tensões menores que 0,85V:

$$Temperatura = 145 \times e^{-0,81 \times Tens\tilde{a}o} \text{ (I)}$$

Para tensões maiores que 0,85V:

$$Temperatura = 70 - (24,096 \times (Tensão - 1,02)) \quad (II)$$

A figura 33 mostra o diagrama de blocos desenvolvido para realizar essa função, onde o seletor definirá qual fórmula deverá ser utilizada conforme a resposta proveniente do comparador. Se for o valor de entrada for maior que 0,85 o seletor apresentará como saída o valor apresentado no conector "T" (verdadeiro), que é o valor referente a fórmula (I). Se o valor for menor, o seletor terá como saída o valor apresentado no conector "F"(Falso), equivalente a fórmula (II).

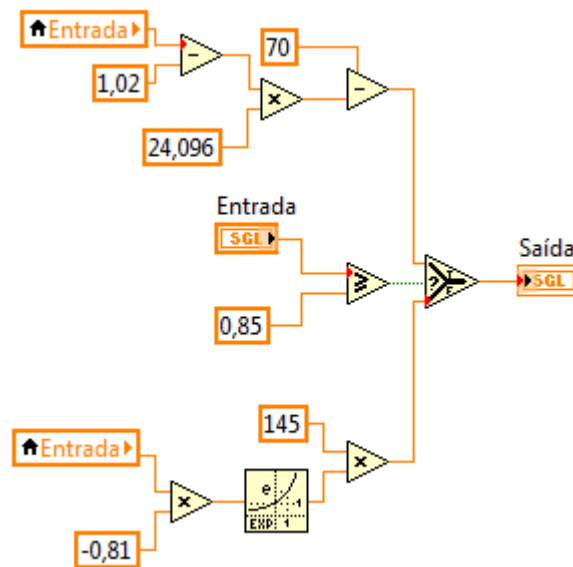


Figura 33 – Diagrama de blocos da conversão para temperatura.

3.2.2.2.2 – Conversão para pressão

O sensor de pressão do ar coletado, ou MAP, estudado possui como sinal de saída uma onda quadrada que varia a frequência conforme os valores de pressão medidos, onde o decréscimo da frequência do sinal de saída sinaliza um acréscimo na pressão medida.

A Tabela 3 mostra a relação entre a frequência medida na saída do sensor e o valor da pressão medida.

Pressão barométrica in. (Hg)	kPa	Frequência Hz
17.1	58	122.4
18.3	62	125.5
19.5	66	128.7
20.7	70	131.9
21.8	74	135.1
23.0	78	138.3
24.2	82	141.8
25.4	86	145.5
26.6	90	148.9
27.7	94	152.5
28.9	98	156.1
30.1	102	159.6
31.0	105	162.4

Tabela 3 – Relação entre frequência e pressão do ar admitido (Adaptado de Ford, 1996).

Através da Tabela 3, foi encontrada a fórmula matemática que descreve o comportamento da pressão em relação à frequência.

$$Pressão(kPa) = \left(\frac{Frequência - 122,4}{0,851063} \right) + 58$$

Identificando a fórmula matemática torna-se possível a construção da sub-rotina de conversão de tensão para pressão cujo diagrama de blocos é ilustrado pela figura 36. Nesse diagrama de blocos o comparador possui a função de identificar se o valor atual de tensão está em nível lógico alto ou baixo, caso esteja em nível lógico baixo, a estrutura *case* realizará as funções presentes na aba *false*, ou seja, incrementará o contador (criada para identificar o período do sinal medido), caso esteja em nível lógico alto, realizará as funções inclusas na aba *true*, ou seja, verificará o estado da variável *flag* (criada para identificar a borda de subida do sinal, ponto escolhido pelos autores para coletar o valor do período do sinal), se *flag* estiver em nível lógico baixo, sinaliza que houve uma borda de subida, e a sub-rotina fará a sequência de funções determinadas pela estrutura sequencial, para que o valor do período do sinal seja armazenado na variável período, caso *flag* esteja em nível lógico alto, sinaliza que não houve borda de subida e a sub-rotina continua a incrementar normalmente a variável contador.

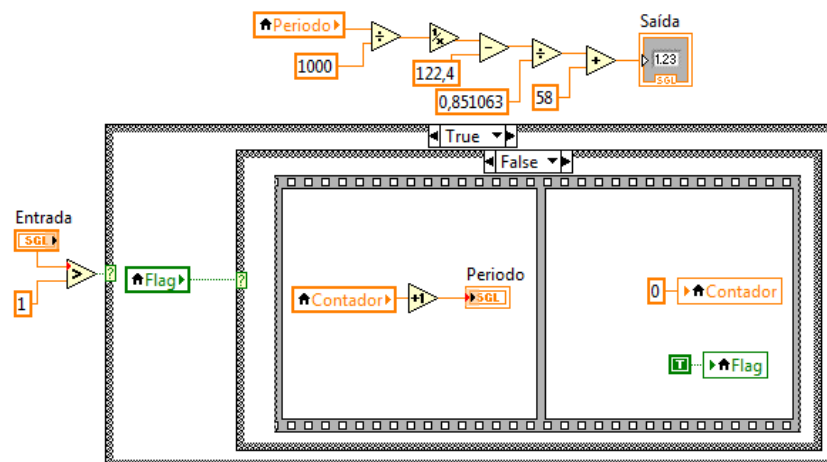


Figura 34 – Diagrama de blocos da conversão para pressão.

Após encontrar o valor do período do sinal coletado, a sub-rotina converte esse valor para frequência e posteriormente em valores de pressão, através dos *palletes* de funções aritméticas, o valor encontrado é armazenado na variável saída ligado a um conector de saída para que esse valor possa ser usado por outras rotinas.

3.2.2.2.3 – Conversão para rotação

O sensor de rotação estudado possui como sinal de saída uma onda quadrada que varia a frequência conforme a rotação, onde um acréscimo na frequência do sinal indica um acréscimo no valor da rotação do motor.

Considerando que o sensor *Hall* gera quatro pulsos a cada ciclo do motor, encontra-se a fórmula matemática abaixo que descreve o comportamento da rotação em relação à frequência medida.

$$\text{Rotação (RPM)} = \left(\frac{\text{Frequência}}{4} \right) \times 60$$

A figura 35 mostra o diagrama de blocos da sub-rotina desenvolvida para a conversão, que possui o mesmo método de identificação de período do sinal coletado. Após calcular o período a sub-rotina realiza a conversão para frequência e posteriormente para rotação em revoluções por minuto, seguindo a fórmula matemática descrita acima. O valor encontrado é armazenado na variável saída, ligada a um conector para que possa ser tratado por outras rotinas.

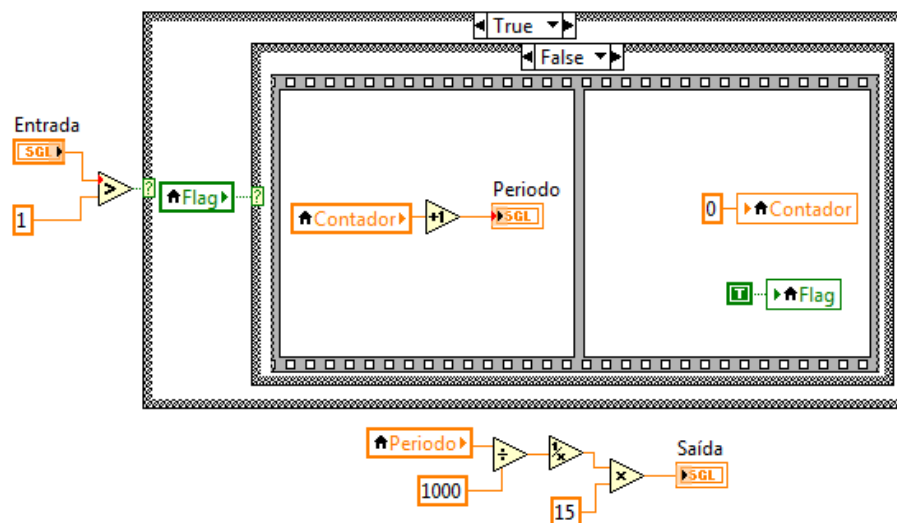


Figura 35 – Diagrama de blocos da conversão para rotação do motor.

3.2.2.2.4 – Identificando a condição da mistura Ar/Combustível

O Sensor de Oxigênio, também conhecido como sensor Lambda possui como sinal de saída valores de tensão que variam aproximadamente entre 0,1V e 0,9V, onde concentrações ideais de oxigênio nos gases de escape geram tensões variando aproximadamente entre 0,4V e 0,6V.

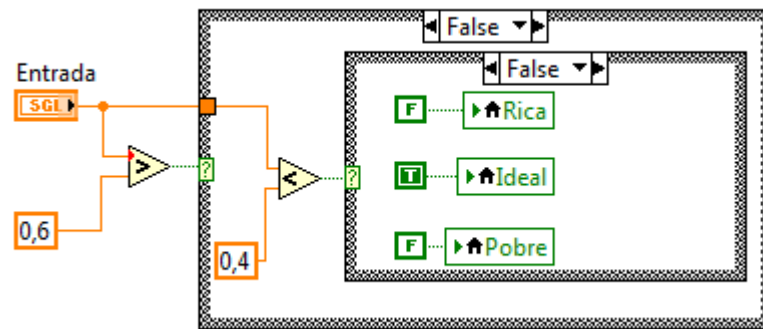


Figura 36 – Diagrama de blocos para identificar a condição da mistura ar/combustível.

Considerando esses dados, a sub-rotina ilustrada pela figura 36, determina se a mistura Ar/Combustível está em condições ideais a partir das duas estruturas case. A primeira verifica se o valor atual obtido do sensor de oxigênio é menor que 0,4V, o que caracteriza uma condição de mistura pobre. Se for verdadeiro, o *led* sinalizador de mistura pobre é aceso e os outros *leds* sinalizados são apagados. Se for falso, a sub-rotina verifica se o valor é maior que 0,6V, o que caracteriza uma mistura rica. Se for verdadeiro, o *led* sinalizador que indica a mistura rica é aceso e os outros *leds* são apagados. Se for falso, indica que a mistura está em condições ideais e o *led* sinalizador de mistura ideal é aceso e os demais apagados.

3.2.2.2.5 – Conversão para ângulo de abertura da válvula borboleta

Conforme discutido anteriormente, o sensor de ângulo de abertura da borboleta de aceleração, também conhecido como TPS, possui um comportamento equivalente ao de um potenciômetro ligado a um circuito divisor de tensão, onde um aumento no ângulo de abertura é diretamente proporcional a tensão de saída do sensor, a relação entre as duas grandezas é ilustrada pela figura 37.

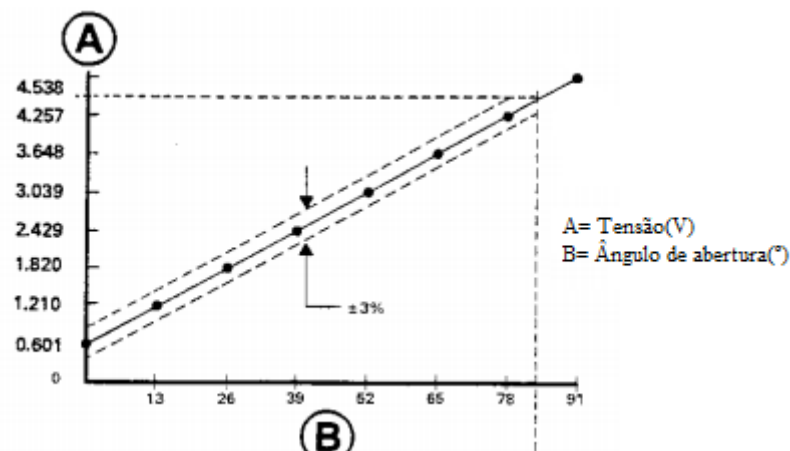


Figura 37 – Gráfico de relação entre ângulo de abertura e tensão de saída do sensor (Adaptado de Ford, 1996).

Através do gráfico da figura 37 foi possível identificar a fórmula matemática que representa o comportamento do ângulo de abertura conforme a tensão de saída do TPS.

$$\text{Ângulo} = (\text{Tensão} - 0,601) / 0,046869$$

A partir dessa fórmula matemática foi possível o desenvolvimento do diagrama de blocos apresentado pela figura 38, onde a reprodução da fórmula matemática é realizada pelos *palletes* aritméticos e o valor final da conversão é entregue à variável saída.

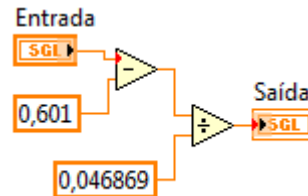


Figura 38 – Diagrama de blocos da conversão para ângulo de abertura da válvula borboleta.

3.2.2.2.6 – Conversão para velocidade do veículo

O sensor de velocidade do veículo consiste em um sensor hall semelhante ao sensor de rotação, onde conforme a velocidade aumenta a frequência do sinal aumenta proporcionalmente.

Conforme os estudos realizados por Albino (2013), o sensor de velocidade estudado apresenta uma relação de 1,61 Hz a cada Km/h apresentado no velocímetro, a partir dessa informação obtemos a seguinte fórmula de conversão:

$$\text{Velocidade(Km/h)} = F(\text{Hz}) / 1,61$$

Para reproduzir essa conversão o diagrama de blocos apresentado na Figura 39 foi desenvolvido.

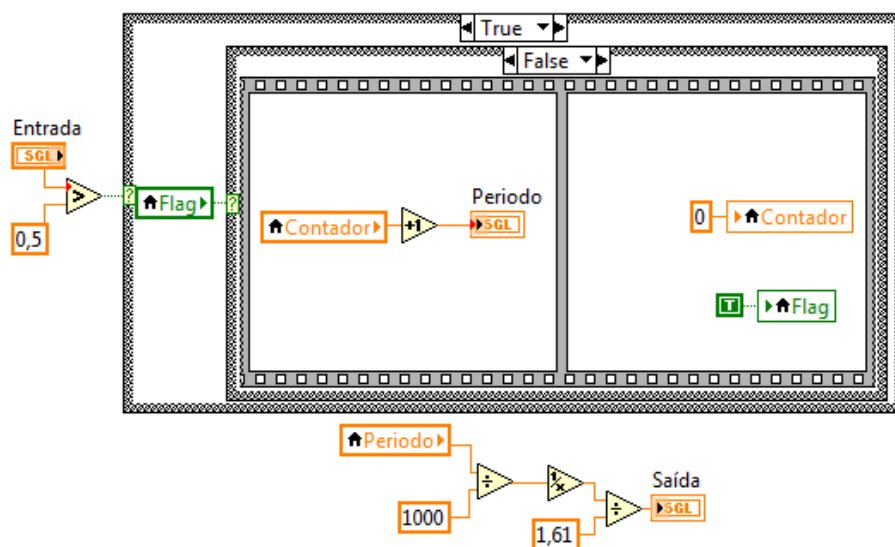


Figura 39 – Diagrama de blocos da conversão para velocidade do veículo.

Semelhante as rotinas de conversão que utilizam a frequência como base de cálculo, primeiramente é identificado o período do sinal, que é convertido em frequência para em seguida ser aplicada a fórmula obtida, através dos *palletes* matemáticas, dando à variável “saída” o valor de velocidade encontrado.

3.2.2.2.7 – O painel frontal do projeto

Após as conversões apresentadas, os sinais são apresentados graficamente através do painel frontal, representado pela figura 40.



Figura 40 – Painel Frontal do projeto.

Na figura 40 observa-se que os sinais de rotação do motor, velocidade do veículo, pressão do ar admitido e posição da válvula borboleta foram representados através de ponteiros e os demais receberam representações por barras, esses tipos de mostradores foram escolhidos devido a semelhança com os mostradores comumente encontrado nos painéis de instrumentos do veículo, facilitando assim a compreensão do dado apresentado.

Como opcional, através do painel frontal é possível selecionar algumas ferramentas opcionais, como o filtro por exemplo, que serão descritos em seguida.

3.2.2.3 – Funções adicionais do projeto

Como informado anteriormente, o projeto além da reprodução e representação dos dados obtidos, também possui funções adicionais para facilitar o estudo dessas informações, são elas Filtro e Funções de controle de tempo.

3.2.2.3.1 – Função de filtragem para os mostradores

Para facilitar a visualização do comportamento das grandezas pelo painel frontal, foi desenvolvida uma rotina opcional para a atenuação da variação das grandezas ilustradas pelos mostradores no painel frontal.

O método utilizado pelos autores para realizar essa atenuação foi através do filtro de média móvel, selecionado através do mesmo assistente de configuração de filtros do *LabView*.

A configuração para se obter o filtro de média móvel é ilustrada pela figura 41, onde foi utilizado o fator 50 de atenuação, ou seja, é calculada a média aritmética de 50 amostragens, sendo que a cada ciclo a amostragem mais antiga é excluída do cálculo e é acrescentada uma nova amostragem correspondente ao ciclo atual do programa.

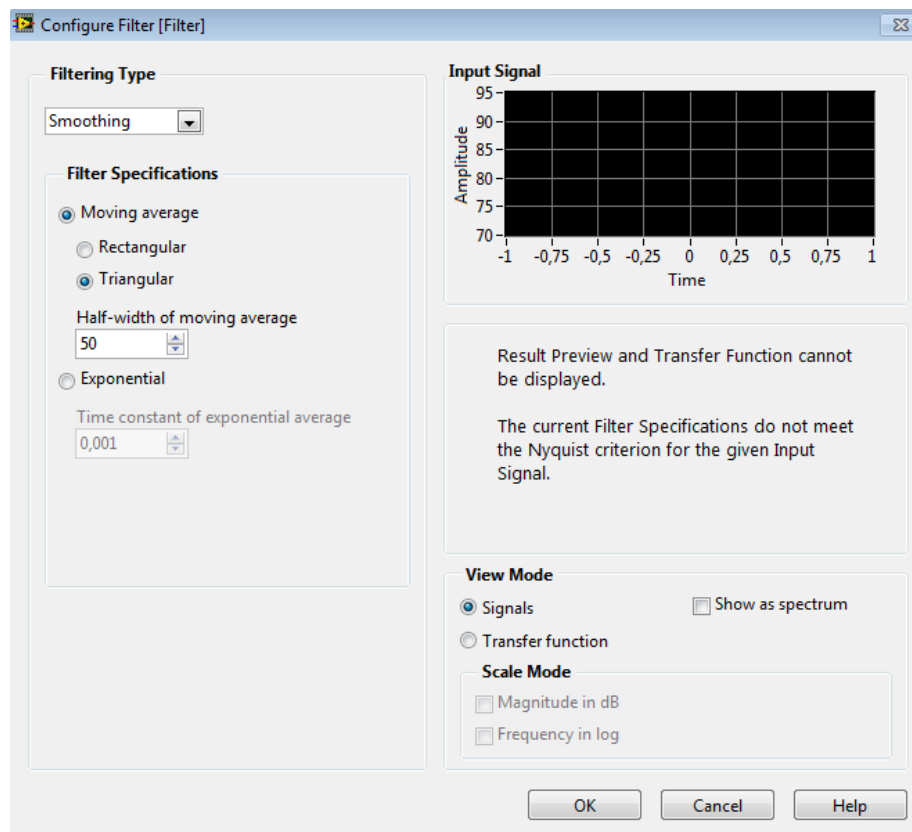


Figura 41 – Configuração de filtragem.

A fórmula que representa esse filtro é observada a seguir, onde M é o número de amostras.

$$y[i] = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} x[i+j]$$

3.2.2.3.2 – Funções de controle de tempo

São as funções do *software* relacionadas ao tempo de execução do programa, sendo elas:

Função Início do teste: Rotina que possui como função possibilitar o usuário escolher o ponto inicial em que se deseja iniciar a reprodução dos sinais armazenados no arquivo TDMS através da seleção do tempo.

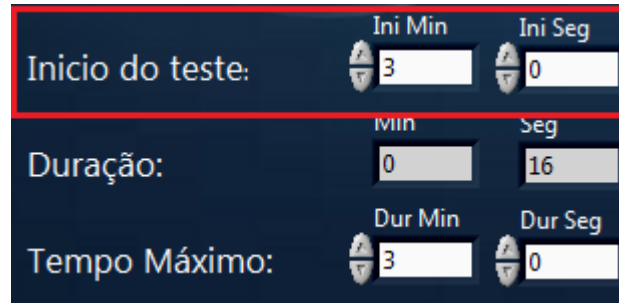


Figura 42 – Localização da função Início do teste.

Seu funcionamento consiste em obter o valor do tempo escolhido pelo usuário através das variáveis “Ini Min” e “Ini Seg”, apontadas pela figura 42. Esse valor de tempo é convertido para milissegundos, que é a taxa de amostragem utilizada na captura de sinais, e adicionada ao valor atual da iteração do programa atual. Como o resultado dessa soma é diretamente utilizado pelas rotinas de leitura de dados, então a reprodução iniciará exatamente no ponto escolhido pelo usuário. A figura 43 ilustra o diagrama de blocos desenvolvido para essa rotina.

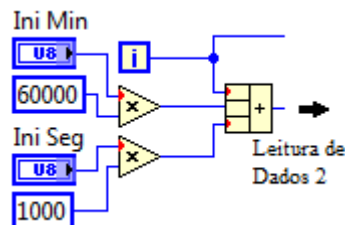


Figura 43 – Diagrama de blocos da função Início.

Função Tempo Máximo: Rotina que possui a função de permitir ao usuário determinar o tempo de execução de programa a partir das variáveis de controle apontadas pela figura 44.

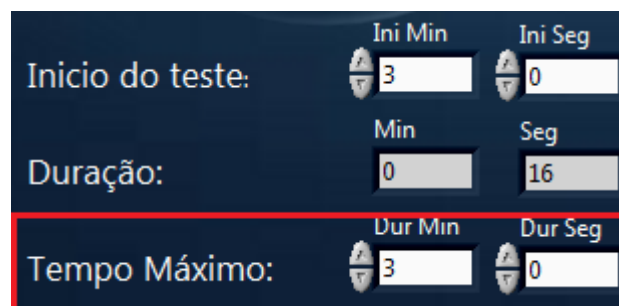


Figura 44 – Localização da função Tempo Máximo.

Para exercer essa função a rotina necessita comparar os valores determinados pelo o usuário com o valor atual de tempo de execução do *software*. Quando os valores tanto de

específica no *software* de tratamento dos dados, assim como um hardware para amplificação dos sinais.

3.2.3.1 – *Software* de reprodução dos dados

Para se reproduzir os dados adquiridos na aquisição de dados foi necessário desenvolver uma sub-VI específica para transformar os dados obtidos através do arquivo TDMS em sinais de tensão, utilizando a ferramenta DAQ 6009. O diagrama de blocos desenvolvido para realizar essa função é ilustrado pela Figura 47.

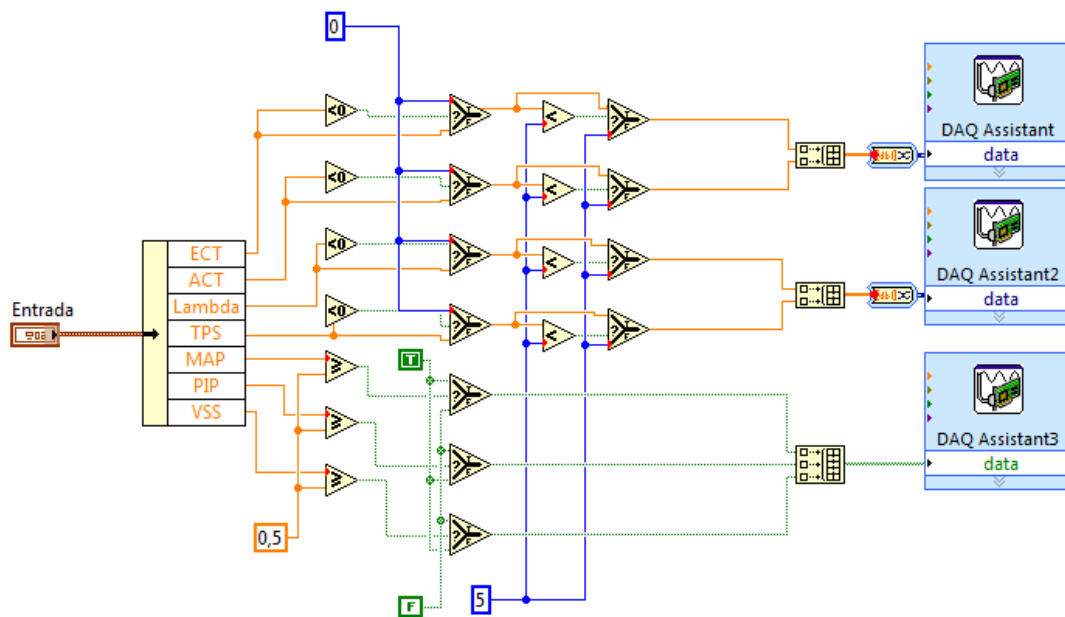


Figura 47 – Diagrama de blocos da reprodução de dados.

Os dados provenientes da leitura de dados são entregues a sub-VI pelo *cluster* “Sinais”. Após a separação das variáveis presentes no *cluster*, há uma regulação dos valores entregues por essas variáveis, pois a DAQ utilizada (NI DAQ 6009) reproduz somente sinais de tensão na faixa entre 0V e 5V, ou seja, se o valor apresentado pelas variáveis for menos do que zero (o que ocorre pode ocorrer devido ao ruído gerado durante aquisição de dados) elas devem ser reguladas para 0V. Da mesma forma, os sinais que forem maiores do que 5V (como os sinais de rotação do motor e velocidade do veículo) devem ser regulados para 5V. O método utilizado para realizar essa regulação foi através dos comparadores, que comparam o sinal entregue pelas variáveis provenientes da leitura de dados com os limites de 0V e 5V, e com o uso da função “*select*” que trabalha de forma semelhante a função “*if*” da linguagem de programação textual C. Os sinais após comparados passam por um seletor que determina, se o sinal não ultrapassar os limites, o mesmo é entregue sem regulação para a DAQ, se ultrapassar, o valor é regulado para o limite estabelecido. Para os sinais de Rotação do Motor

e Velocidade do veículo foi necessário realizar a inversão dos níveis lógicos dos sinais, pois posteriormente esses sinais serão amplificados através de um transistor NPN.

Após a regulação, como a DAQ 6009 pode gerar somente 2 sinais analógicos por vez foi necessário separar os sinais em três *arrays* diferentes, sendo um deles somente de sinais digitais, e logo após convertê-los em forma de onda para que possam ser trabalhados pelo *DAQ Assistant*. Para geração de sinais os autores definiram o modo de amostras por demanda como o mais adequado para a geração, por sua facilidade de manuseio e por permitir que não haja uma nova configuração quando o número de amostras for modificado.

3.2.3.2 – Hardware amplificador

Como visto anteriormente, sensores como o de rotação de motor e velocidade do veículo possuem uma amplitude de trabalho de 12V, como a DAQ 6009 reproduz sinais com amplitude máxima de 5V, será necessário efetuar a amplificação desses sinais. Para isso foi utilizado um circuito simples de chaveamento por transistor NPN, como mostra a figura 48.

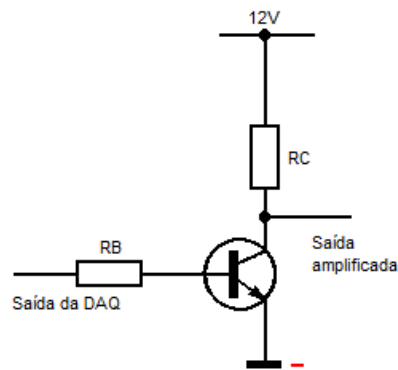


Figura 48 – Circuito de amplificação.

Nesse circuito, a tensão proveniente da DAQ 6009 é ligada a base do transistor que, ao receber nível lógico baixo na base, apresenta uma tensão de 11,3V no ponto de Saída, apresentando assim o nível lógico alto amplificado do sinal. Da mesma forma, se o sinal na base do transistor for em nível lógico alto, a tensão no coletor será baixa e a Saída apresentará a tensão de 0V.

4 TESTES E RESULTADOS

Com os hardwares e *softwares* descritos no capítulo 3 desenvolvidos, ocorreu o teste de funcionamento do projeto que consiste em observar o comportamento do tempo de injeção disponibilizado pela unidade de gerenciamento a partir dos sinais de sensores simulados pelo simulador construído.

Nesse capítulo será descrito em detalhes como foi realizado esse teste, o modelo desenvolvido para facilitar a visualização de seu funcionamento e os resultados obtidos.

4.1 Método de testes

Para a realização dos testes foram desconectados todos os sensores reais do motor do veículo que o projeto é capaz de reproduzir, evitando dessa forma o conflito de sinais observados pela unidade durante a reprodução dos dados com os sinais provenientes dos sensores reais.

Para testar o funcionamento do simulador desenvolvido foi utilizado o modelo ilustrado pela figura 49.

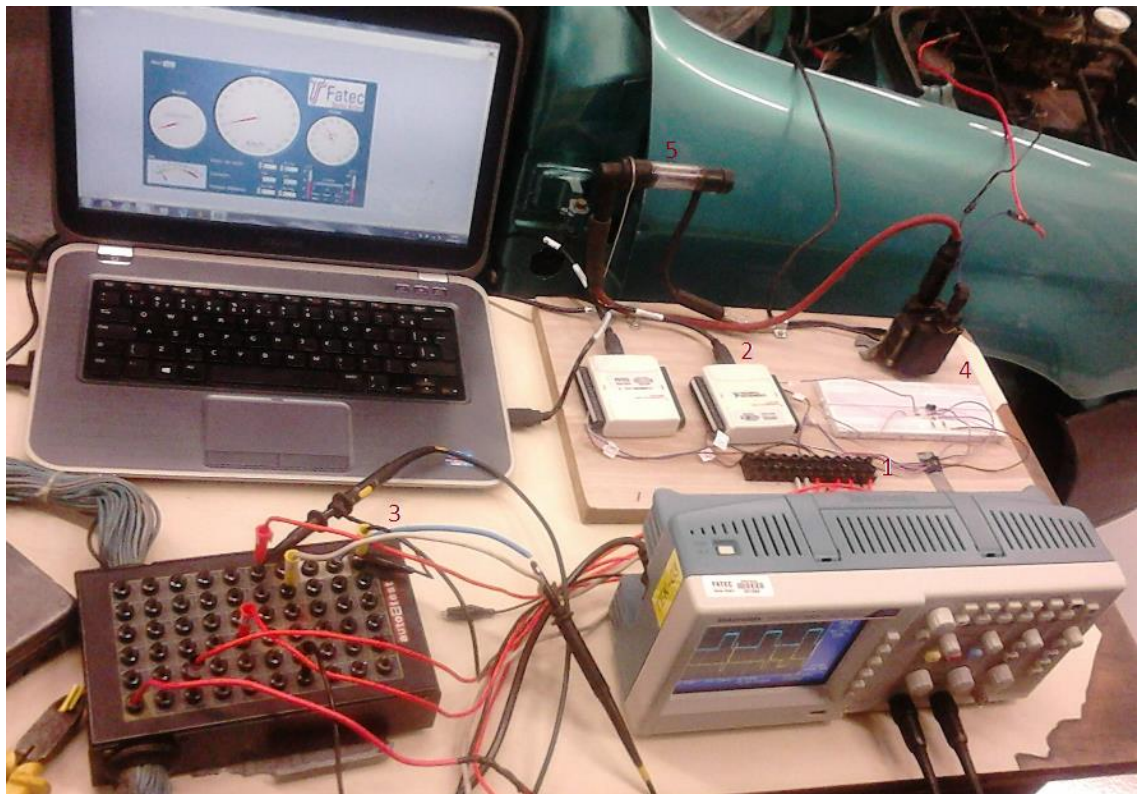


Figura 49 – Modelo desenvolvido para o teste.

Na figura 49 observa-se que [1] é o cabeamento que se conecta os sinais reproduzidos do *hardware* NI DAQ 6009 [2], ao BOB 4000 [3] (dispositivo que permite o acesso aos pinos da unidade de gerenciamento do veículo), os sinais de rotação do motor e velocidade do veículo são amplificados pelo *hardware* construído no *proto-board* [4] antes de serem entregues aos conectores.

Nesse mesmo modelo, [5] representa um sistema que permite a visualização da centelha criada a partir dos comandos de ignição provenientes da EEC-IV. Esse sistema permite verificar que, com os sinais devidamente simulados, a unidade entrega um sinal de avanço de ignição suficientemente correto para que ocorra a centelha nas bobinas de ignição.

Com o modelo devidamente montado, foi acionada a chave de ignição do veículo e iniciada a simulação dos sinais pelo projeto. Em um primeiro momento só foi realizado o teste com sinais provenientes de uma aquisição em regime de marcha lenta, pois devido à limitação do *hardware*, o projeto só pode entregar sinais digitais com uma frequência máxima de 150Hz.

4.2 Resultados

Para observar os resultados dos testes, foram estabelecidas as seguintes metas para a simulação:

- 1- Observar se os sinais reproduzidos são gerados de forma correta, conforme o estudado, anteriormente pela unidade de gerenciamento, assumindo o comportamento típico dos sensores que eles representam.
- 2- Observar se os sinais simulados são suficientemente adequados para que a unidade de gerenciamento possa efetuar seu trabalho corretamente.

Ao iniciar o teste, foi observada a primeira dificuldade da simulação: O *hardware* utilizado (DAQ 6009) tem uma frequência limite de reprodução de 150 Hz, porém o sinal proveniente do sensor MAP (pressão do ar admitido) possui frequência em marcha lenta de 148 Hz e frequências superiores em regimes de aceleração, dessa forma, esse sensor apresentou perda de informação, impossibilitando a unidade de gerenciamento de trabalhar de forma adequada. Dessa forma, os testes posteriores foram efetuados sem a utilização desse sensor, tendo o objetivo de observar a resposta da unidade para os outros 5 sinais simulados (A sonda lambda também não pode ser simulada, pois durante o processo de aquisição o sensor real não estava em funcionamento no veículo estudado).

Nos testes seguintes foram observados cada um dos outros sensores (rotação, temperatura do ar admitido e líquido de arrefecimento, velocidade do veículo e posição da válvula borboleta), onde cada um obteve seu funcionamento conforme o esperado: apresentaram comportamento e valores típicos dos sensores reais do veículo e obtivemos a resposta adequada do tempo de injeção e também da criação da centelha pelo sistema criado. A figura 50 ilustra o comportamento do pulso de alimentação da válvula injetora conforme a variação do sinal de rotação do motor.



Figura 50 – Tempo de injeção em resposta ao sinal de rotação simulado.

Ao realizarmos esse segundo teste, observamos que mesmo os sinais sendo simulados corretamente para a interpretação da unidade de gerenciamento, o motor de combustão interna presente no veículo não funcionou corretamente, esse fato ocorreu devido à válvula borboleta de aceleração do veículo estudado ser de abertura mecânica, ou seja, há um conflito entre o volume de ar calculado pela unidade de gerenciamento e o que está realmente sendo admitido no motor.

Observando essas dificuldades optamos por somente observar o comportamento do tempo de injeção e a formação da centelha de ignição sem colocar o motor em funcionamento, para isso foi necessário desligar a bomba de combustível do veículo para não ocorrer o “afogamento” do motor.

4.3 Conclusões

Concluindo os testes, obtivemos como o resultado que, 5 dos 7 sensores estudados tiveram seu funcionamento conforme o previsto, porém por limitações de hardware não foi possível a reprodução dos sensores de pressão do ar admitido e sensor de oxigênio pelos motivos informados anteriormente.

Verificamos também que em veículos como o Volkswagen Gol ano 95 não é possível o funcionamento pleno do motor somente com sinais simulados, pois o mesmo possui uma válvula borboleta de acionamento mecânico. Mas também foi observado que a unidade de gerenciamento consegue entregar corretamente as informações de injeção e ignição utilizando somente os sinais simulados.

4.4 Sugestões de propostas futuras

Para melhorar o desempenho desse projeto algumas modificações e implementações podem ser feitas, alguns exemplos de modificações são:

- Utilizar um microcontrolador PIC para reproduzir os sinais gerados pelo *Labview*, pois esses componentes possuem um desempenho melhor em reproduzir sinais de alta frequência, além de possibilitar o uso de somente um dispositivo para simular todos os sinais disponíveis.
- Adaptar o software para reproduzir sinais de outros veículos;
- Incluir a simulação dos sinais dos sensores de detonação e sensor de fase do motor;
- Adaptar o programa para que seja possível a simulação do sistema de acelerador eletrônico;
- Estudar modelamento matemático de alguns sensores;

5 REFERÊNCIAS

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

BOSCH, Robert; *Manual de Tecnologia Automotiva*; Editora Edgard Blücher, 2005.

CÂMARA, Júlio César Chaves; *Monitoramento Eletrônico da Mistura ar/combustível em Motores de Combustão Interna Ciclo Otto*; Dissertação de Mestrado, UFB, Bahia, 2006.

DIAS, Bruno Martins de Alcântara; *Plataforma Didática de Injeção Eletrônica para Controle de Motores de Combustão Interna*; Monografia de Graduação, FATEC Santo André, São Paulo, 2011.

FORD; *PCM Pro Boss GT-40 EFI – Diagnostic Servicing*; Manual de Serviço.1996.

MILHOR, Carlos Alberto; *Sistema de Desenvolvimento para Controle Eletrônico dos Motores de Combustão Interna Ciclo Otto*; Dissertação de Mestrado, USP São Carlos, 2002.

NATIONAL INSTRUMENTS CORPORATION; *LabVIEW Fundamentals*, Material disponível em:

http://www.cours.polymtl.ca/mec6405/A2012/Doc%20LabVIEW/LV_Fundamentals.pdf

PUJATTI, Fabrício José Pacheco; *Desenvolvimento de um sistema de gerenciamento para Motores de Ignição por Centelha*; Tese de Pós-Graduação, UFMG, Minas Gerais, 2007.

RIBBENS, William B.; *Understandig Automotive Electronics*. 5ªed. ButterworthHeinemann, 1998.

SOUZA, Albino Alberto de; *Simulador de Sinais de Sensores para Testar ECUs EEC-IV*; Monografia de Graduação, FATEC Santo André, São Paulo,2013.

VARELLA, Carlos Alberto Alves; *Histórico e Desenvolvimento dos Motores de Combustão Interna*; Material disponível em:

http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/Aulas/historico_e_desenvolvimento_dos_motores.pdf

Acessado em 01/12/13

VEIGA, Gilberto Gil Dias; ANDRADE, Sérgio Felipe; *Sensores no Automóvel – Injecção Eletrônica*, Material disponível em:

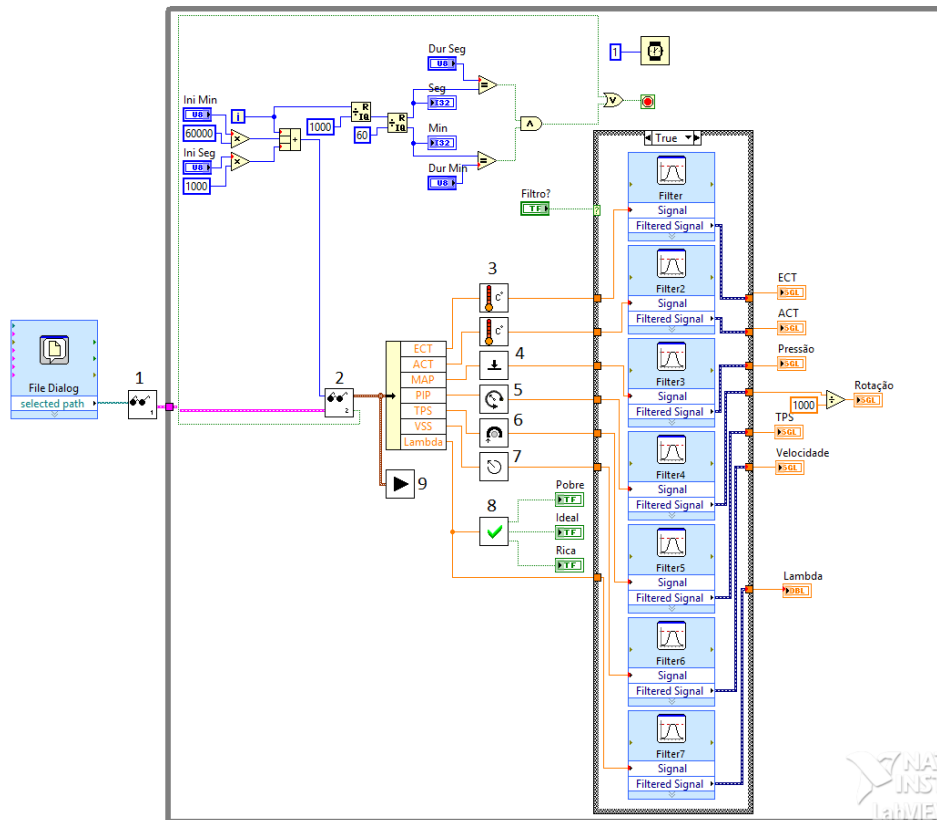
http://ave.dee.isep.ipp.pt/~mjf/act_lect/SIAUT/Trabalhos%202007-08/Trabalhos/SIAUT_Sensores.pdf

VEMULKAR, Ayappa; *Intermediate LabVIEW Tutorial*, Material disponível em:

<http://www.hmc.edu/files/engineering/clinic/LabVIEW%20tutorial.pdf>

6 ANEXOS

6.1 Diagrama de Blocos completo do software de tratamento de dados



LEGENDA:

- 1 - Leitura de dados 1
- 2 - Leitura de dados 2
- 3 - Conversão para temperatura.
- 4 - Conversão para pressão.
- 5 - Conversão para rotação.
- 6 - Conversão para ângulo de abertura.
- 7 - Conversão para velocidade.
- 8 - Conversão para fator Lambda.
- 9 - Reprodução de dados.

6.2 Fluxograma de funcionamento do projeto.

