

## SEÇÃO IV

### APÊNDICES

#### APÊNDICE I

##### 1 Sensores e atuadores do sistema de gerenciamento

Para a determinação da relação ar/combustível mais adequada a cada regime de operação do motor, o sistema de gerenciamento eletrônico do motor necessita monitorar diversos parâmetros de seu funcionamento. De posse dessas informações são efetuados cálculos para determinação do tempo de injeção e avanço de ignição ideal (BOSCH, 1999).

###### 1.1 Sensor de vazão mássica do ar

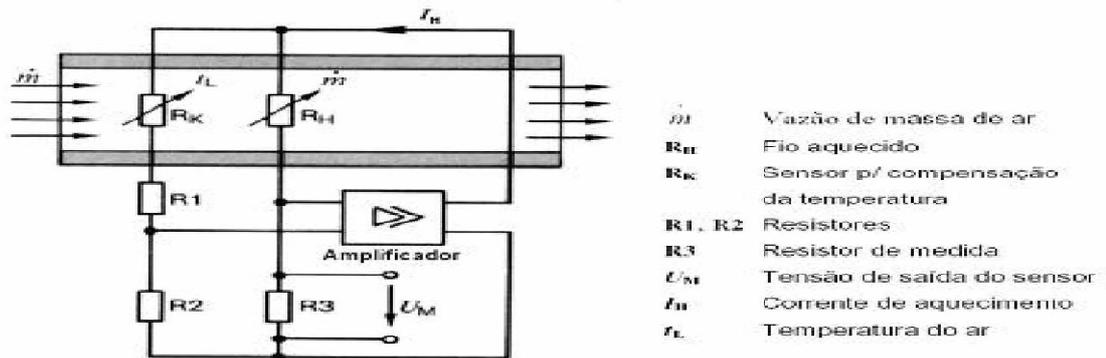
Tem como função informar a quantidade de ar admitida pelo motor. Segundo (MILHOR, 2002), a medida direta da massa de ar admitida é realizada por intermédio de um elemento quente. À medida que o ar passa pelo elemento aquecido, que deve permanecer a uma temperatura constante entre 100 e 200° C acima da temperatura do ar, ocorre uma troca de calor entre o elemento e o ar. Para que a temperatura do elemento quente fique constante é necessária uma variação da corrente elétrica que circula por ele. Essa variação é a base da medida do sensor.

O elemento aquecido é componente de uma ponte de *Wheatstone*, que desequilibrada promove uma variação de tensão, que é à saída de sinal do sensor.



**Figura 31 – Sensor de vazão mássica**

Ainda segundo (MILHOR, 2002), o sensor de vazão mássica, que é o tipo utilizado no motor do experimento realizado, apresenta vantagens sobre os sensores volumétricos e de rotação-velocidade. Além de não possuírem elementos mecânicos que possam gerar perda de carga, o cálculo da massa de ar admitido é direto, não necessitando correções ou processamentos devido às alterações de altitude e pressão atmosférica.



**Figura 32 – Circuito elétrico do sensor de vazão mássica**

O sensor de vazão mássica de ar é vital para que o sistema de controle determine a quantidade de combustível que deve ser misturada à quantidade de ar que o motor está consumindo a cada instante, em função das diversas condições de operação do motor e razão ar/combustível especificada.

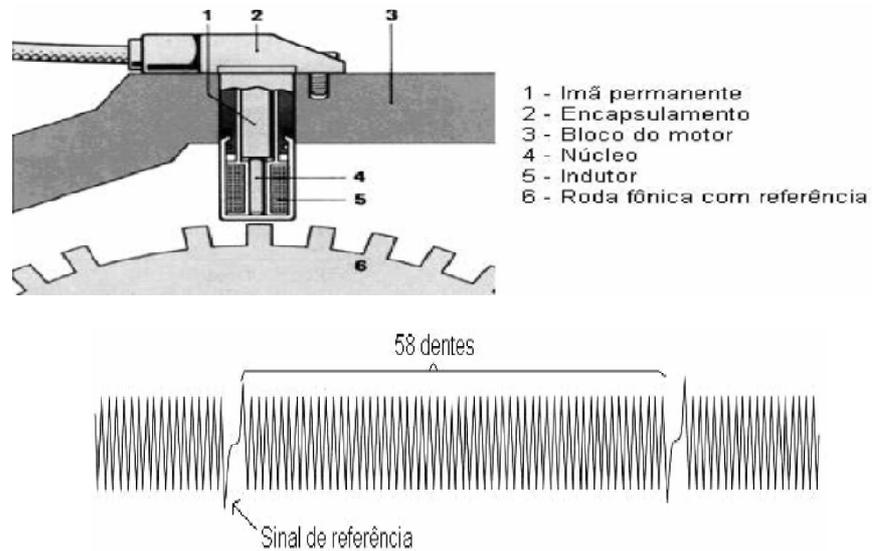
## 1.2 Sensor de rotação

Segundo (MILHOR, 2002), esse sensor tem como função informar a posição da árvore de manivelas (virabrequim) e a rotação do motor. Essas informações também são vitais para determinação do momento de abertura dos bicos e de centelha no sistema de ignição. O tipo de sensor de rotação mais comum é o indutivo ou relutância magnética. Trata-se de um encapsulamento contendo um ímã permanente e um enrolamento elétrico (indutor).

Situado próximo de uma roda dentada (denominada roda fônica), ele tem funcionamento baseado na força eletromotriz gerada devido à variação de fluxo magnético no indutor. A tensão gerada é proporcional à rotação da roda fônica.

Para que seja identificada a posição do virabrequim, existe uma falha correspondente a falta de dois dentes. Com um número total conhecido, 60 dentes na maioria dos casos, a central interpreta a modificação no sinal do sensor como referência para a chegada do pistão do primeiro cilindro ao PMS (VOLKSWAGEM b, 2000)

Na Fig.33 podem-se visualizar as partes internas do sensor e o gráfico de tensão gerada.



**Figura 33 – Sensor de rotação e sinal característico – ROBERT BOSCH GMBH, 1999**

### 1.3 Sensor de fase da ignição

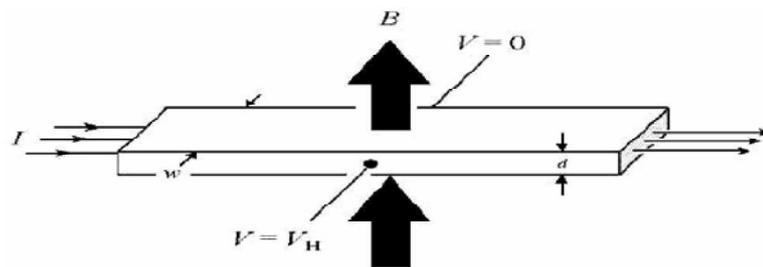
Localizado no comando de válvulas, esse sensor é responsável pela fasagem da injeção, ou seja, por identificar qual tempo que o primeiro cilindro está realizando. Ao chegar ao ponto morto superior, a central de controle precisa identificar se o cilindro está em fase final de compressão (necessitando ignição) ou em fase final de escape, na qual é necessário injetar o combustível. O sensor de rotação e referência, explicado anteriormente, não fornece subsídios a essa resposta. Para essa identificação um sensor é acoplado ao comando de válvulas - que gira à metade da rotação do virabrequim - e permite identificar a fase do motor (VOLKSWAGEN b, 2000).



**Figura 34 – Sensor de fase do motor**

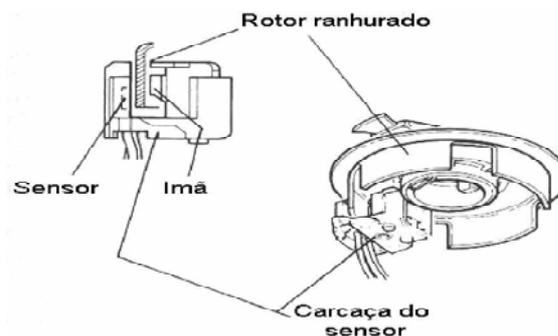
O sensor de fase pode ser indutivo ou por efeito Hall. Os do primeiro tipo têm funcionamento semelhante ao sensor de rotação descrito anteriormente. Em um sensor de efeito Hall, existe uma placa condutora chamada Célula Hall.

Segundo (DENTON, 2000), o efeito hall foi detectado pela primeira vez pelo Doutor E.H. Hall em 1879. Se um determinado tipo de cristal percorrido por uma corrente elétrica é submetido a um campo magnético perpendicular, ocorrerá a formação de uma diferença de potencial entre os dois lados do condutor. Essa ddp é proporcional ao campo magnético e à corrente elétrica que percorre o material. A Fig.35 ilustra efeito Hall.



**Figura 35 - Efeito Hall (Milhor 2002)**

No caso do sensor propriamente dito, o campo magnético é gerado por um ímã permanente e a corrente é fornecida ao sensor. Um sistema acoplado ao eixo de comando de válvula faz com que o ímã seja descoberto ou coberto, provocando variações na tensão elétrica gerada – Fig.36.



**Figura 36 – Funcionamento do sensor de fase – (DENTON, 2000)**

#### **1.4 Sensor de temperatura do motor**

É responsável pela informação da temperatura do motor, que pode ser aferida através da temperatura do fluido de arrefecimento em motores refrigerados a água e através do óleo, em motores com arrefecimento a ar. O sensor de temperatura do motor está instalado junto à

válvula termostática. É composto por um corpo de latão com um elemento resistivo constituído por um termistor do tipo NTC (Coeficiente de temperatura negativo). A resistência do mesmo diminui com o aumento da temperatura (FIAT, 1996).



**Figura 37 – Sensor de temperatura da água do motor**

Para fins de medição, a tensão de referência é de 5,0 Volts. Um circuito interno na central de controle do motor fornece essa alimentação através de um divisor de tensão. À medida que o motor se aquece, a queda na resistência do sensor faz com o valor de tensão cai. Essa tensão é monitorada pela central de controle, que pode através de algoritmos internos determinarem que temperatura corresponda a cada tensão medida (GM b, 1995).

### **1.5 Sensor de temperatura do ar de admissão**

De características semelhantes ao sensor de temperatura do motor, é um termistor do tipo NTC, que avalia a temperatura do ar admitido. Serve para corrigir o avanço de ignição e para permitir o cálculo da massa de ar admitido no tempo, para os sistemas que não possuem sensor de vazão mássica (FIAT, 1996).

### **1.6 Sensor de posição da borboleta de aceleração**

Segundo (MILHOR, 2002), a função desse sensor é informar a posição angular da borboleta de aceleração, permitindo que o sistema de gerenciamento efetue uma das estratégias descritas na Tabela 05.

Tabela 05: Estado da Borboleta de Aceleração

ESTADO DA BORBOLETA DE ACELERAÇÃO			ESTRATÉGIA		
Borboleta fechada			Marcha lenta		
			Cut-off*-corte da injeção		
			Dash-pot* *-Desaceleração grdi		
Velocidade de abertura da borboleta			Aceleração rápida		
Totalmente aberta			Plena carga		
Parcialmente aberta			Carga parcial		
Ângulo da borboleta			Definição do ângulo de ignição		

CUT - off\*- Estratégia que corta a injeção de combustível durante as desacelerações – borboleta fechada e rotações altas;

Das-pot\*\*- Impede a súbita queda de pressão no coletor durante desacelerações;

Definição do ângulo de ignição\*\*\*- Utilizado como valor de carga do motor para os sistemas que não possuem sensor de pressão no coletor.

Tabela 05 - Estratégia em função da posição da Borboleta de aceleração (MILHOR, 2002). O sensor da posição da borboleta é um potenciômetro mecanicamente acoplado à borboleta de aceleração – Fig.38. Um circuito divisor de tensão é responsável por fornecer uma relação linear entre o ângulo de abertura da borboleta e a tensão de saída do sensor.



Figura 38 – Potenciômetro sensor da posição da borboleta de aceleração

### 1.7 Sensor de detonação

Consiste de um transdutor piezométrico acoplado ao bloco do motor. No caso da ocorrência de vibrações provenientes de detonação, o sensor enviará um sinal elétrico à central de controle. Um algoritmo dedicado trata esse sinal, diferenciando situações de detonação de queima normal e identificando em qual cilindro ocorreu o fenômeno (GM a, 1995). Uma vez

detectada a detonação, a central de gerenciamento eletrônico do motor promove alterações no avanço de ignição, de modo a evitar que o fenômeno ocorra (RIBBENS, 2003). As características do cristal piezelétrico utilizado no sensor permitem que ao sofrerem deformações decorrentes das vibrações da detonação, um sinal de tensão seja gerado, conforme se vê na Fig.39, onde estão representadas duas situações: queima normal e queima com ocorrência de detonação, juntamente com o gráfico da elevação da pressão no cilindro.



**Figura 39 – Sinais do sensor de detonação x pressão no cilindro - (BOSCH, 1999)**

Para o controle efetivo da detonação, existe uma rotina no software de gerenciamento do motor que observa o momento em que a detonação ocorreu. A detonação ocorre após o PMS e dura de 3 a 5 MS. Essas informações servem para filtrar ruídos indesejados e identificar qual cilindro ocorreu detonação. Dessa forma a correção no ponto de ignição pode ser efetuada de forma individualizada (GM a, 1995).

### **1.8 Sensor de oxigênio**

Acoplado ao sistema de escapamento, detecta a presença de oxigênio nos gases de escapamento em relação ao ar atmosférico – Fig.40. Com essa informação é feito um controle em malha fechada da mistura ar/combustível, de modo a garantir a maior eficiência do conversor catalítico e, por conseguinte, um maior controle das emissões de poluentes (GM a, 1995).



**Figura 40 – Sensor de oxigênio**

Segundo (MILHOR, 2002), o sensor de oxigênio opera baseado no princípio de uma célula galvânica para concentração de oxigênio com eletrólito de estado sólido.

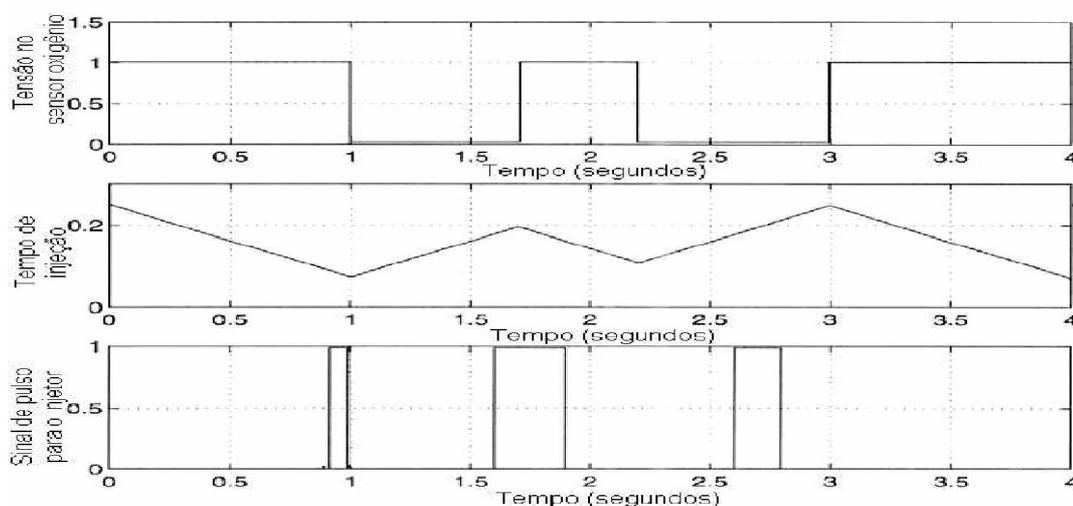
O sensor é constituído de um corpo cerâmico de dióxido de zircônio e estabilizado com óxido de ítrio, encapsulado em metal. As faces em ambos os lados é composta por uma fina camada de platina permeável a gás.

Ainda segundo (MILHOR, 2002), o material cerâmico se torna condutor a uma temperatura de cerca de 350° C. Se houver diferença de concentração de oxigênio entre as extremidades do sensor, será gerada uma diferença de potencial proporcional a essa diferença. Como uma das extremidades está no interior do escapamento e a outra em contato com o ar atmosférico e, considerando que a quantidade de oxigênio nos gases de escapamento é 130, fortemente influenciada pela razão ar/combustível recebida pelo motor, o sinal gerado age como informação de feed back da mistura admitida, permitindo um controle em malha fechada.

A tensão gerada pelo sensor é proporcional à diferença de concentração de oxigênio.

Dessa forma a tensão varia de cerca de 100 milivolts para uma mistura pobre, ou seja muito oxigênio nos gases de escapamento, até cerca de 900 milivolts, em uma mistura rica, com baixa concentração na exaustão do motor (HEISLER, 2002).

O sistema em malha fechada faz com que a tensão do sensor fique oscilando, de forma que, na média, é buscada a mistura ideal, garantindo alta eficiência do conversor catalítico. Na fig.41 pode-se ver um conjunto de gráficos que demonstra mais claramente a malha fechada onde se pode verificar o sistema enriquecendo a mistura quando o sensor de oxigênio detecta mistura pobre e vice-versa (RIBBENS, 2003).



**Figura 41 – Formas de onda simplificadas em um sistema de controle de combustível em malha fechada – (RIBBENS, 2003)**

### **1.9 Atuadores do sistema de gerenciamento**

São comandados pela central eletrônica que, com os cálculos realizados com as informações dos sensores, permitem que o motor opere com a maior eficiência possível (BOSCH, 1999).

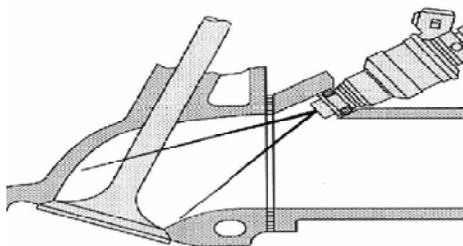
### **1.10 Relé da bomba de combustível**

Responsável por acionar a bomba elétrica de combustível. Uma vez que a bomba consome uma corrente elétrica relativamente alta, a mesma é acionada por intermédio de um relé. Dessa forma a central comuta correntes menores e com maior segurança, garantindo uma maior confiabilidade e menores dimensões e temperaturas de operação da central de controle (GM b, 1995).

Um relê é basicamente uma chave elétrica que é comutada por intermédio do eletromagnetismo de uma bobina. A bobina faz parte do sistema acionador, sendo completamente isolada eletricamente dos contatos que comutam a bomba elétrica.

### **1.11 Eletro injetor**

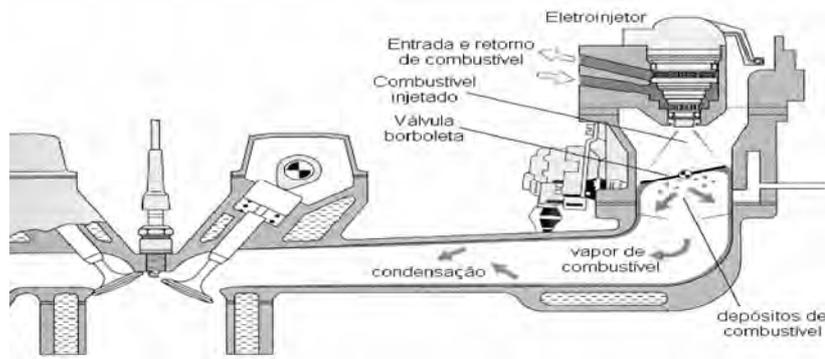
São responsáveis por injetar a quantidade de combustível que o motor necessita em cada instante. Os sistemas de gerenciamento de motor atuais possuem um injetor para cada cilindro, sendo denominados multipontos. Os injetores situam-se no final do coletor de admissão próximo às respectivas válvulas de admissão, dessa forma o coletor de admissão conduz praticamente somente ar, conforme se pode visualizar na Fig.42.



**Figura 42 – Formação da mistura e posicionamento dos injetores em sistemas multiponto (BOSCH, 1999)**

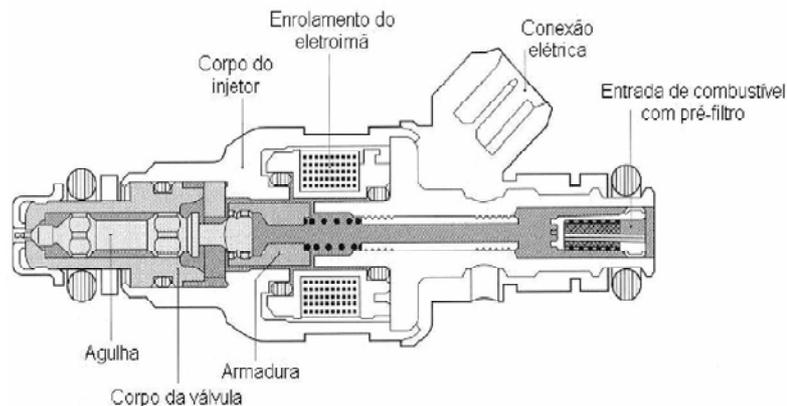
Sistemas mais antigos possuíam apenas um injetor, acima do corpo da borboleta, em uma região central. O coletor de admissão, nesse caso, era responsável por conduzir a mistura formada por ar e combustível até os cilindros (DENTON, 2000). Segundo (BOSCH, 1999) esses sistemas - denominados mono ponto - apresentam problemas de condensação de

combustível no coletor em condições de baixa temperatura. O fenômeno pode ser melhor visualizado na Fig.43.



**Figura 43 – Sistema mono ponto e fenômeno da condensação com motor frio – (BOSCH, 1999).**

Comandados diretamente pela central de controle eletrônico do motor, os eletro injetores são válvulas de agulhas acionadas por intermédio de um eletroímã. Uma mola fecha a válvula quando a mesma é desenergizada. Na Fig.44 podem-se visualizar as partes internas de um eletro injetor.



**Figura 44 – Injetor típico e suas partes internas – (BOSCH, 1999)**

## 2 Principais componentes do sistema da ignição

De acordo com (MARTINS, 2005), os principais componentes de um sistema de ignição, são:

- Bateria – carregada pelo alternador, a bateria alimenta não só o sistema de ignição, como também todos os demais componentes elétricos do veículo. A bateria é um acumulador que armazena energia elétrica em forma de energia química;

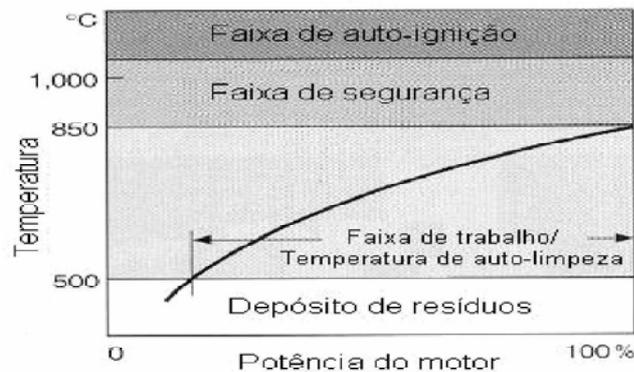
- Bobina de ignição – é um transformador que eleva uma tensão contínua pulsante, permitindo transformar uma corrente contínua em pulsos de alta tensão que serão conduzidos às velas de ignição – Fig.45. Modernamente, a(s) bobina(s) é acionada pela central de gerenciamento do motor. Em motores mais antigos, as bobinas eram acionadas por um contato elétrico instalado dentro do distribuidor (platinado) (MARTINS, 2005);



**Figura 45 – Bobinas de ignição – (BOSCH, 1999)**

- Distribuidor – como o próprio nome indica, realiza a distribuição da alta tensão gerada pela bobina às respectivas velas de cada cilindro, segundo a ordem de queima do motor. Uma peça denominada rotor gira internamente ao distribuidor, fazendo a distribuição da corrente elétrica. Não existe contato físico entre as partes, a alta tensão consegue transpor a pequena distância existente entre os contatos. Modernamente o distribuidor foi substituído por bobinas de ignição duplas ou individuais, em um sistema denominado Sistema de Ignição Direta ou Ignição estática, devido ao fato de não possui componentes móveis no trajeto de alta tensão (BOSCH, 1999);
- Cabos de vela – são cabos especialmente resistentes à alta tensão e às altas temperaturas existentes no compartimento do motor. Conduzem a alta tensão do distribuidor às velas. Existem alguns cabos de vela que são resistivos, essa característica visa eliminar interferências eletromagnéticas produzidas pela alta tensão (faísca). Essas interferências podem prejudicar o funcionamento dos componentes eletrônicos do veículo, tais como: rádio, unidade de comando da injeção eletrônica, etc. (DENTON, 2000);
- Vela de ignição - a função da vela de ignição é conduzir a alta voltagem elétrica para o interior da câmara de combustão, convertendo-a em faísca para inflamar a mistura ar/combustível. A vela de ignição deve trabalhar numa faixa de temperatura entre 500 a

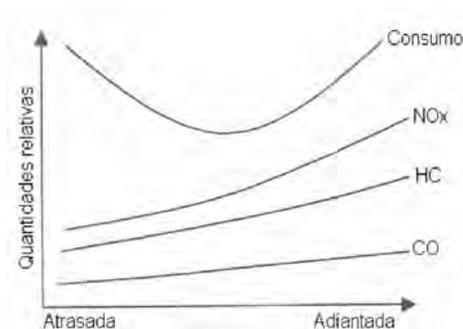
850° C nas condições normais de uso – conforme se vê na Fig.46. Portanto a vela deve ser escolhida para cada tipo de motor de tal forma que alcance a temperatura de 500 ° C (temperatura de autolimpeza) na ponta ignífera em baixa velocidade e não ultrapassar 850° C em velocidade máxima (BOSCH, 1999).



**Figura 46 – Faixa ideal de trabalho da vela de ignição**

## 2.1 Avanços da ignição

Segundo (DENTON, 2000), o momento em que a centelha elétrica é gerada em relação à posição do pistão provoca significativa diferença no resultado da queima, especialmente devido às diferentes pressões atingidas em função desse ângulo. Alterações nas emissões de gases e no consumo de combustível podem ser observadas quando o ponto de ignição é alterado para um mesmo regime de funcionamento do motor, conforme se pode verificar na Fig.47.



**Figura 47 – Alterações no consumo de combustível e emissão de alguns gases com alteração no ângulo de ignição.**

O ângulo de ignição é controlado pelo sistema eletrônico de controle do motor, em função de diversos parâmetros, tais como:

- Temperatura do motor;
- Temperatura do ar de admissão;
- Rotação;
- Carga;
- Situações de controle de detonação e controle de torque;
- Entre outros.

Segundo (MILHOR, 2002), a determinação do ângulo de ignição ideal para cada situação de carga e rotação é definida em bancadas dinamométricas, durante a calibração do motor. Os dados levantados formam o chamado mapa de ignição, que é uma curva tridimensional com o avanço ideal para cada situação do motor. Essa informação fica memorizada na central de gerenciamento do motor.

## **2.2 Tipos de sistemas de ignição**

Um motor de combustão interna pode possuir sistemas de ignição com controles mecânicos, eletrônicos ou integrados ao gerenciamento eletrônico do motor. Devido ao escopo desse trabalho tratar de sistemas modernos, será apresentado apenas o sistema de ignição estática integrado ao Gerenciamento do Motor, que inclusive é o tipo utilizado nos motores automotivos atuais.

## **2.3 Ignições estáticas**

Também denominado sistema de Ignição Direta – DIS (*direct ignition system*) tem como principal característica a ausência de distribuidor. São utilizadas bobinas individuais ou bobinas para cada dois cilindros. O sistema de ignição direta, por não possuir peças móveis, também é denominado sistema de ignição estática (DENTON, 2000).

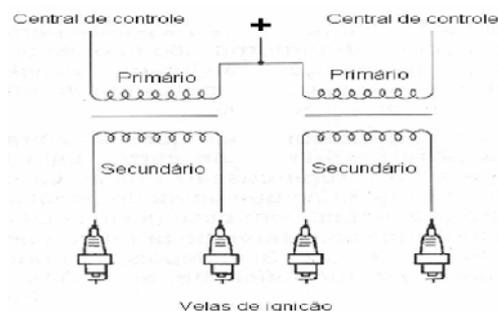
As bobinas DIS enviam a corrente de alta tensão diretamente às velas através dos cabos de vela. O momento e avanço da centelha são determinados pelo módulo de gerenciamento eletrônico do motor, com base nas seguintes informações:

- Rotação e carga do motor;
- Fase do motor;

- Temperatura do líquido de arrefecimento;
- Temperatura do ar de admissão. Uma vez que no sistema não há a intermediação do distribuidor entre a bobina e as velas, apresenta as seguintes vantagens:
- Alta precisão no ponto de ignição, característica importante para um bom rendimento do sistema e um baixo nível de emissões;
- Grande isolamento do sistema, o que determina alta resistência a umidade;
- Baixa manutenção, uma vez que não necessita de ajuste do ponto de ignição e não possui rotor. Segundo (DENTON, 2000), o sistema de ignição direta ou estática apresenta custo mais elevado, devido à maior complexidade do gerenciamento do sistema. A necessidade de uso de sistemas mais precisos e confiáveis, os elevados níveis de produção e a menor manutenção, no entanto, fazem com que esse sistema seja cada vez mais utilizado.

#### 2.4 Bobinas duplas com centelha perdida

Esse sistema de ignição direta tem cada bobina alimentando as velas de dois cilindros – Fig.48. Nesse caso, as duas centelhas são geradas em cilindros gêmeos, ou seja, enquanto um encontra-se ao final da compressão necessitando efetivamente da faísca, o outro estará ao final do escapamento, onde ocorrerá a centelha perdida, e vice-versa. A diferente razão dielétrica dos gases determina uma centelha com maior intensidade do cilindro que efetivamente estiver necessitando da centelha (final da compressão) (DENTON, 2000). Esse sistema garante uma boa eficiência com um menor custo em relação ao sistema que possui bobinas individuais.



**Figura 48 – Funcionamento da Ignição DIS com bobina dupla, centelha perdida.**

## 2.5 A Central eletrônica de gerenciamento

É a central de processamento de todo o sistema de gerenciamento. Segundo (BOSCH, 1999), a central incorpora funções e algoritmos para processar os sinais de entrada recebidos dos sensores. Esses sinais constituem entrada para cálculos que determinarão os sinais de controle dos atuadores, o que é realizado através de estágios (*drivers*) de saída adequados.

Segundo (MENNA, 2004), as centrais de gerenciamento tiveram uma evolução significativa em sua capacidade de processamento. No início da década de 80, as unidades de controle utilizadas em veículos eram gerenciadas por microprocessadores de 8 bits e controlavam apenas as funções mais básicas do motor como razão ar/combustível e temporização da ignição. No início da década de 90, algumas dessas unidades de controle já utilizavam microprocessadores de 16 bits e seu uso se propagou para outros sistemas veiculares como transmissão e freios ABS. Ao longo da década de 90 até os dias de hoje, unidades de controle mais complexas com microprocessadores de 32 bits, vêm sendo utilizadas para controlar sistemas completos de *powertrain* e chassis. Essas unidades de controle executam algoritmos mais sofisticados e, em alguns casos, operam via rede com outras centrais, integrando todo o funcionamento do sistema eletro-eletrônico do veículo.

De forma simplificada a central eletrônica possui as seguintes partes (GM a, 1995):

- Estabilizador de tensão – fornece a corrente elétrica em tensão constante para a alimentação do sistema a partir dos 12 Volts disponível;
- Conversores de sinais – permitem a conversão de sinais analógicos em sinais digitais e adequam os sinais recebidos pelos sensores para níveis compatíveis com o sistema de processamento;
- Memórias – armazena o software que roda no sistema, armazena dados de onde o motor instalado e são utilizadas pelo processador;
- Processador – executa todos os cálculos e operações necessárias ao funcionamento do sistema de controle;
- Estágios (*drivers*) de saída – são acionados pelo processador para que acionem os atuadores. Permite que o processador comande atuadores de corrente considerável, como a bobina de ignição, por exemplo, com total segurança.



**Figura 49 – Central eletrônica de gerenciamento do motor Bosch Motronic.**

## APÊNDICE II

### 1 Controle das emissões em motores de combustão interna

Os efeitos tóxicos agudos dos gases de exaustão são conhecidos desde o advento das máquinas de combustão interna. Essas máquinas libertam quantidade suficiente de poluentes para causar a morte por intoxicação quando funcionando em ambientes fechados, ou para provocar efeitos danosos ao meio ambiente, como o aquecimento da Terra, a chuva ácida e o efeito estufa. A concentração destes compostos, acima de níveis aceitáveis, interfere diretamente na qualidade de vida dos habitantes das grandes cidades, pois estes poluentes afetam o metabolismo celular e, conseqüentemente, a saúde do indivíduo (ZOTIN e outros 1999).

A partir da década de 70, visando minimizar a presença desses poluentes na atmosfera, alguns países estabeleceram legislações restritivas às emissões de CO, Nox e hidrocarbonetos. Evoluções nos motores, sobretudo no sistema de alimentação de combustível e ignição, promoveram substanciais avanços na redução das emissões, mas o uso de conversores catalíticos tornou possível se atingir níveis mais rigorosos. Esses equipamentos promovem reações químicas de modo a transformar parte dos gases poluentes em gases menos poluentes ou de pouca agressividade ao meio ambiente (RANGEL e CARVALHO, 2002).

Para garantir uma correta operação do equipamento, faz-se necessário um controle rigoroso da mistura ar/combustível, uma vez que a eficiência de conversão dos gases cai de forma significativa em caso de mistura rica ou pobre. Segundo (RANGEL e CARVALHO, 2002), a conversão global não é determinada apenas pela atividade dos catalisadores para promover essas reações, mas também pela disponibilidade dos agentes redutores e oxidantes.

Um controle efetivo da mistura queimada só pode ser atingida com a aplicação de dispositivos eletrônicos de controle e monitoramento do motor e sua combustão.

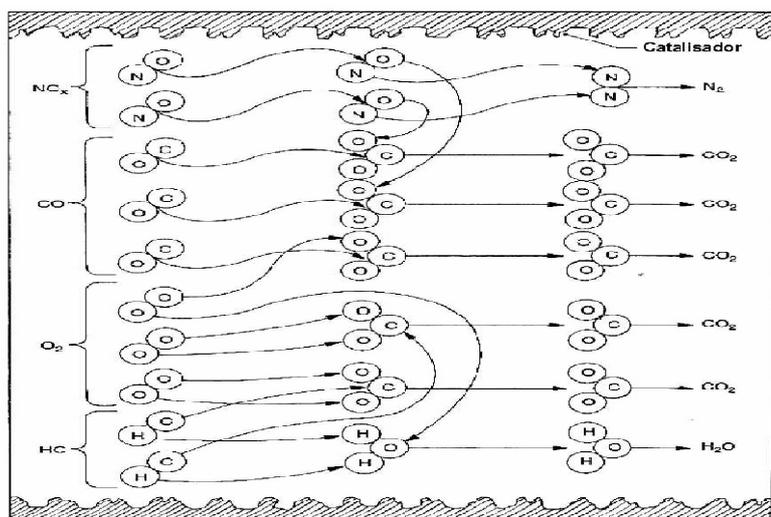
#### 1.1 Conversores catalíticos

A função básica dos conversores catalíticos é de propiciar a transformação química de alguns gases poluentes em dióxido de carbono, água e Nitrogênio. De acordo com (HEISLER, 2002), as principais reações químicas promovidas no interior do conversor catalítico, que podem ser visualizadas na Fig. 50, são:

\* Oxidação do monóxido de carbono e de hidrocarbonetos para formar dióxido de carbono e água – equações (1) a (3);

\* Redução dos Óxidos de Nitrogênio a Nitrogênio – equações (4) a (6). Outras reações também podem ocorrer, de acordo com a descrição de (RANGEL e CARVALHO, 2002):

Uma vez que os catalisadores conseguem remover três substâncias indesejáveis-NOx, CO e Hidrocarbonetos, os mesmos são freqüentemente chamados de conversores catalíticos de três vias ou triplo efeito.

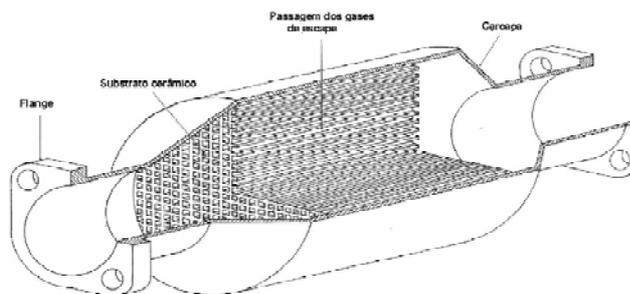


**Figura 50 – Reações químicas que ocorrem em um conversor catalítico, (HEISLER, 2002)**

Para cumprir devidamente o seu papel, os catalisadores devem desempenhar as seguintes funções, segundo (DE NEVERS, 1995):

- Promover a transformação de pelo menos 90% do CO, HC e NO<sub>x</sub>;
- Deve ser composto por uma embalagem compacta, fácil de ser instalada em um automóvel compacto;
- Deve começar a operar o mais rápido possível após a partida;
- Não deve promover aquecimento excessivo do painel corta fogo ou assoalho do veículo;
- Durabilidade superior a 100.000 km;
- Deve exercer uma contrapressão mínima no sistema de escapamento, de modo a não prejudicar a operação e rendimento do motor;
- Deve estar apto a processar as pequenas quantidades de enxofre presentes na gasolina, evitando transformá-las em elementos demasiadamente tóxicos, como o SO<sub>3</sub>.

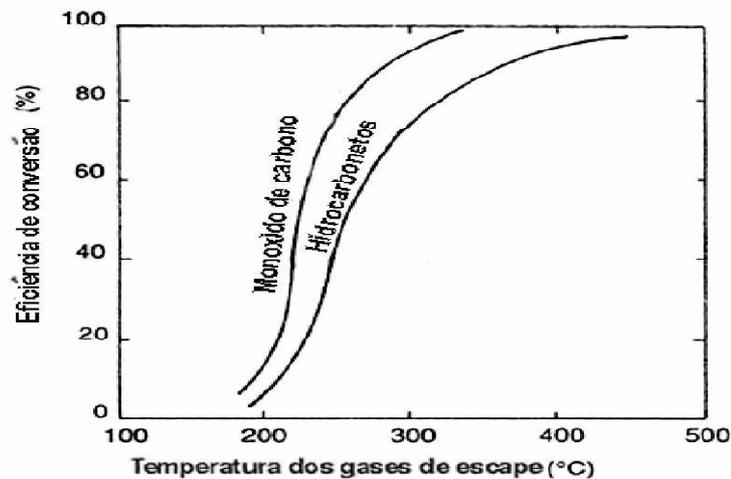
As reações químicas demorariam muito tempo ou até mesmo não ocorreriam em sua plenitude devido ao tempo reduzido em que permanecem no sistema de escapamento. Para acelerar esse processo são utilizados elementos químicos catalisadores, que são substâncias que aumentam as taxas de reações químicas sem, no entanto, sofrerem mudanças permanentes em sua composição.



**Figura 51– Aspecto interno de um conversor catalítico.**

Nos conversores catalíticos automotivos mais comuns, são utilizados substratos com basicamente dois metais nobres em sua composição: o ródio e o paládio (ZOTIN e outros, 1999). O primeiro consegue acelerar a redução dos óxidos de Nitrogênio em situações de mistura estequiométrica ou ligeiramente enriquecida. O último acelera a oxidação dos hidrocarbonetos e do monóxido de carbono, bastando estar submetido a uma mistura estequiométrica ou ligeiramente pobre.

Para que essas reações possam ocorrer com a maior parte dos gases, o conversor catalítico deve ter uma grande área de contato com os gases. Isso é obtido graças ao arranjo de colméia. Outra condição para a correta operação do conversor é que o mesmo esteja operando em uma temperatura superior a 300 graus Celsius. Nessas condições, a eficiência de conversão para monóxido de carbono é superior a 98%, e em torno de 95% para hidrocarbonetos (HEISLER, 2002). Em temperaturas menores a eficiência de conversão dos gases é bastante reduzida, conforme se pode visualizar no gráfico da Fig. Seguinte.



**Figura 52 – Eficiência do conversor catalítico versus temperatura de operação.**

Durante a operação normal de um motor, os gases de escape podem variar de 350 graus em marcha lenta a 900 graus Celsius em condições momentâneas de carga total no motor em altas rotações. O catalisador deve ser projetado para operar nessa ampla faixa de temperatura, sabendo que se o mesmo for submetido a excesso de temperatura durante períodos mais longos poderão ocorrer danos ao substrato, com conseqüente redução na vida útil do componente.

A eficiência de conversão também está intimamente ligada à situação da mistura ar/combustível. Misturas ricas e pobres, enfim fora da razão estequiométrica, provocam redução na eficiência de conversão. Para que exista uma efetiva redução na emissão de poluentes pela ação do conversor catalítico, é imprescindível que a mistura ar/combustível seja controlada adequadamente. Esse controle, conforme veremos posteriormente são bastante efetivos quando realizado eletronicamente por intermédio de sensores que fornecem o *feedback* da queima de combustível pelo motor (BALLUCHIT, 1999).

Nos primeiros sistemas de controle eletrônico de motores, para um ajuste fino da mistura e, conseqüentemente uma menor emissão de gases, era feito um ajuste em um potenciômetro com o uso de um analisador de gases. Esse ajuste, também denominado de ajuste de CO, não era muito efetivo, pois desconsiderava os diversos variantes que ocorrem durante a operação do motor, tais como: diferentes temperaturas, pequenas alternâncias na composição do combustível, diversas situações de rotação e carga e até mesmo mínimos desajustes que ocorrem naturalmente com o desgaste e uso de um motor. A natureza oscilatória da relação ar/combustível no sistema de exaustão levava a significativas variações na composição

química dos gases de escapamento, prejudicando as conversões efetuadas no conversor catalítico.

Para automatizar esse ajuste foi necessário o uso de sensores para monitoramento da queima, dando assim subsídios para que o sistema de controle interviesse no controle da mistura ar/combustível, buscando manter a mistura próxima da estequiométrica na maior parte do tempo de operação do motor. Além de proporcionar máximo aproveitamento do combustível, o gerenciamento da mistura ar/combustível minimiza os níveis de emissões gasosas, com o aumento da eficiência da queima e melhor operação do conversor catalítico (MENNA, 2004).

## **1.2 Método de monitoramento da combustão em um motor**

Vamos descrever aqui alguns sistemas e métodos, com suas principais características.

### **1.2.1 Monitoramento da quantidade de oxigênio nos gases de escape**

Bastante utilizado pela indústria automobilística, esse método utiliza-se basicamente de um ou mais sensores de oxigênio (ilustrado na Fig.53). Também conhecido como sonda lambda, o dispositivo gera um sinal elétrico para que a unidade de comando possa variar a quantidade de combustível injetado, garantindo uma mistura ar/combustível ideal, o que reduz o nível de emissão de gases poluentes (MORAES, 2003). O sensor tem como princípio de operação a avaliação da diferença de concentração de oxigênio entre a atmosfera e os gases no interior da tubulação de escapamento.



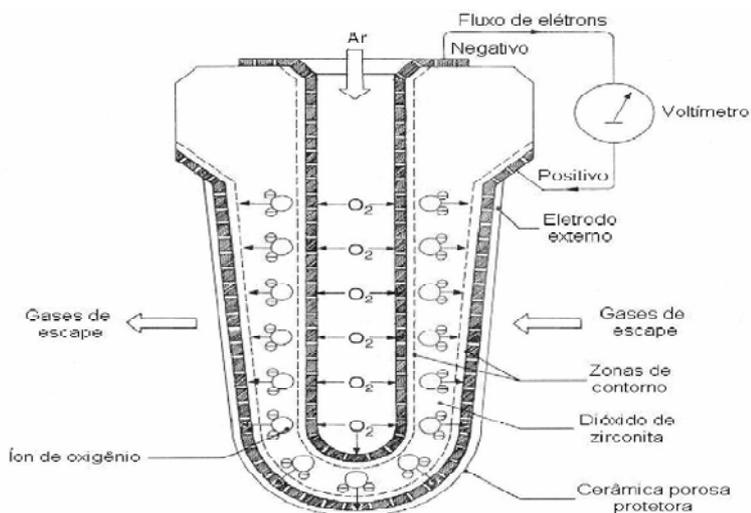
**Figura 53– Sensor de oxigênio.**

### **1.2.2 Funcionamento dos sensores de oxigênio**

O funcionamento da sonda lambda baseia-se nas propriedades elétricas de um material cerâmico de gerar uma diferença de potencial elétrico quando submetido a diferentes concentrações de oxigênio. O sensor, então, envia uma tensão elétrica que varia em função da condição da mistura queimada. A maioria dos sensores de oxigênio de Zircônio, para aplicação automotiva, referenciam misturas pobres para tensões elétricas abaixo de 450 milivolts e acima de 450 mV para misturas ricas em combustível. O valor de

aproximadamente 450 milivolts corresponde a uma mistura ideal, que o sistema de controle eletrônico objetiva alcançar na maior parte do funcionamento do motor (BROWN, 2004).

O sensor lambda consiste de elemento ativo de Óxido de Ítrio ( $Y_2O_3$ ) parcialmente estabilizado com Zircônio ( $ZrO_2$ ), que é ativado pela diferença de concentração de oxigênio entre as camadas externa e interna. Como dito anteriormente, quanto maior a diferença na concentração de oxigênio, maior será a tensão gerada pelo sensor. Os eletrodos, interno e externo consistem de tiras condutivas de platina *cermet1* resistentes a altas temperaturas e de alta aderência, que são fixos com alta pressão em um selo de anel metálico, grampeado em uma manga de junção. A pressão de contato é produzida por um disco mola.



**Figura 54 – Princípio de funcionamento do sensor de oxigênio.**

Quando a mistura de ar/combustível está rica, há muito pouco oxigênio livre dentro dos gases de escape para reagir como uma provisão de oxigênio para alimentar as reações químicas do catalisador. Porém, o oxigênio fica disponível por esvaziamento da zona de contorno externa do eletrólito sólido de oxigênio, causando a migração de um grande número de íons negativamente carregados do eletrodo interno rico em oxigênio, que é exposto à atmosfera para o eletrodo externo tão logo seja atingida a temperatura de condução do sólido – acima de 280°C. Com a migração de íons, uma diferença de potencial é formada entre o eletrodo interno e o externo, tensão essa que é proporcional à quantidade de íons que migrarem.

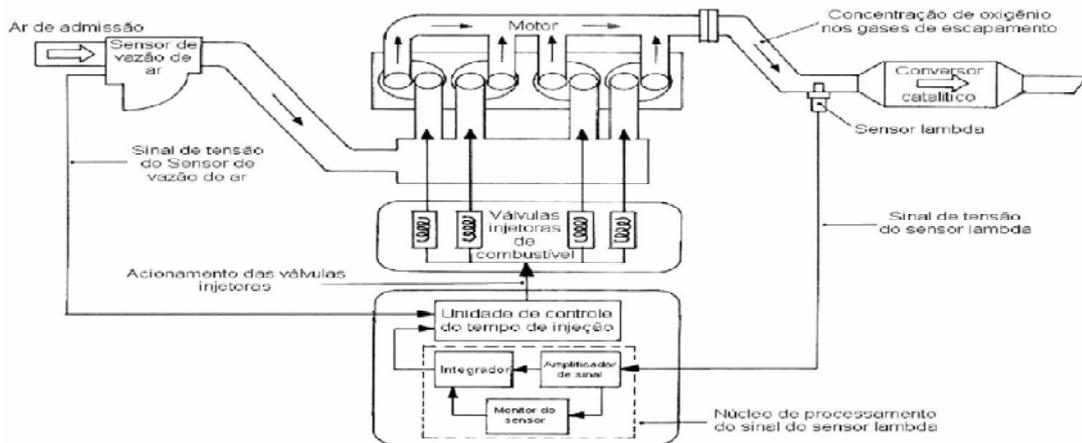
Quando a mistura ar/combustível está pobre em relação à estequiométrica, o oxigênio em excesso nos gases de escape oxidará o monóxido de carbono e hidrocarbonetos na redondeza do eletrodo de platina exterior, em preferência aos íons de oxigênio que se difundem pelo

eletrólito cerâmico. Isto resulta em muito pouca tensão que é gerada entre os eletrodos externo e interno.

A magnitude da tensão gerada é dependente da diferença na concentração de oxigênio entre as regiões de limite interna e externa. Esse valor por sua vez, é uma medida do conteúdo de oxigênio dentro dos gases de escape a qualquer momento e, dessa forma, relaciona diretamente a razão ar/combustível que é queimada nos cilindros.

### 1.2.3 Controle em malha fechada

O sistema de controle do motor utiliza o sinal de tensão proveniente do sensor de oxigênio para efetuar a correção na razão ar/combustível fornecida para o motor, mantendo-a o maior tempo possível estequiométrica, melhorando assim os níveis de emissão de poluentes – Fig.55.



**Figura 55 – Controle do motor em malha fechada monitorando o sensor lambda.**

Durante a fase de aquecimento do motor, o sistema de controle operará em malha aberta até que o sensor lambda, devidamente aquecido, inicie a geração de sinais válidos. Enquanto o sistema estiver em malha aberta, o tempo de injeção de combustível será igual ao tempo base ( $T_b$ ).

O tempo base de injeção depende da medição de algumas variáveis tais como carga e temperatura do motor, dentre outras. Uma vez que qualquer sistema físico é susceptível a mudanças nas condições de operação, – composição do combustível – ou tempo – desgaste dos componentes do motor –, a operação em malha aberta deve ser por um menor tempo possível, de forma a garantir a baixa emissão de poluentes.

A malha fechada é ativada quando o sensor lambda está corretamente aquecido, o que pode ser percebido pelo envio de tensões válidas, ou seja, que cheguem próximos a 1,0 Volts, nas situações de mistura rica corriqueiras de um motor em fase de aquecimento.

O fornecimento de combustível ao motor é feito por válvulas injetoras acionadas eletricamente. O acionamento das mesmas se dá por pulsos provenientes da central de controle do motor, que determina o tempo de injeção ideal para cada condição do motor. O sistema de controle ajusta continuamente esse tempo de injeção, de acordo com diversos parâmetros de funcionamento do motor e em função do fator de correção da malha fechada, operada por monitoramento do sensor lambda.

## 2 Analisador de gases do motor

Equipamento eletrônico com interface para PC que permite a leitura dos gases emitidos por motores de combustão interna. Com o equipamento é possível se medir a quantidade de oxigênio nos gases de escape e o fator lambda, informação esta que para os fins experimentais substitui a informação fornecida pelo sensor de oxigênio originalmente instalado no motor.

A medição das emissões de gases poluentes é realizada por este analisador de gases (CO, CO<sub>2</sub>, HC e NO<sub>x</sub>). Este analisador determina as concentrações de HC, CO e CO<sub>2</sub> através do método de absorção de infravermelho. As análises das emissões de NO<sub>x</sub> são determinadas através de um detector químico-luminescente. A medição de opacidade é realizada por meio de opacímetro de fluxo total que não mede a massa das partículas emitidas, apenas uma estimativa dos níveis de emissão mássica.



**Figura 56 – Analisador de gases.**

## APÊNDICE III

### Experimentos realizados

#### 1 Combustíveis aplicados em ensaios

As experiências foram realizadas com óleo Diesel derivado de petróleo associado a três óleos vegetais. Também pesquisamos outros tipos de óleo, a fim de se considerar tanto as características termodinâmicas quanto as características de viscosidade do fluido.

A tabela seguinte mostra características de alguns óleos.

Tabela 06: Características de óleos

Características/Óleos	Diesel	Amendoim	Soja	Algodão	Girassol	Babaçu	Dendê	Mamona
Densidade relativa	0.828	0.919	0.920	0.919	0.923	0.921	0.915	0.959
Visc. Cinemática	1,6-6,0	38	36	40	37	32	39	297
Início destilação	165	173	152	-	211	-	-	-
Resíduo de carbono	0,3(max)	0,42	0,45	0,42	0,42	0,22	-	0,18
Número de cetano	45(min)	33	36	40	39	38	42	-
Poder calorífico Inf. Kcal/l	8.400	7.900	7.850	8.050	7.950	7.800	8.330	8.000
Água por destilação	<0,05	<0,05	<0,08	<0,05	<0,05	<0,05	-	0,20
Ponto de névoa	9-19	19,0	13,0	9,0	-	26,0	-	-
Enxofre	1,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

O primeiro parâmetro importante a definirmos foi aproximar o máximo possível a viscosidade dos óleos vegetais com a do óleo Diesel, para isso necessitamos alterar a temperatura dos mesmos.

O processo utilizado para suprir essa necessidade foi um preaquecimento dos produtos. Esse preaquecimento foi realizado com uma resistência em forma de fita que foi enrolada em torno das linhas que levam o combustível até a bomba injetora, como mostra a figura 57.



Figura 57 – Traço térmico enrolado na tubulação de alimentação de combustível.

## 2 Sistema de filtragem para o combustível

O sistema de filtragem original foi substituído por dois sistemas paralelos, um para óleo vegetal e outro para óleo Diesel. Os sistemas consistem de novos filtros de óleo, da marca Vox, modelo FSB 6004, originais dos tratores Valmet, ligados às solenóides e a uma junta em T que leva finalmente à bomba injetora. O sistema possui uma pré-bomba do tipo diafragma, que ajuda o combustível a chegar aos bicos, pois o tanque original fica abaixo do motor, fazendo-se necessária uma pressurização extra para vencer a gravidade. No projeto esse problema não existe, pois as balanças ficaram acima do nível da bomba injetora. Por esse motivo e por conta da adaptação do novo sistema, esta bomba foi desligada do sistema de alimentação, e como a mesma se encontra fixa no bloco do motor, foi feito um isolamento e um retorno direto para que o combustível que ela puxe do tanque, volte a ele, como mostra a figura 58.

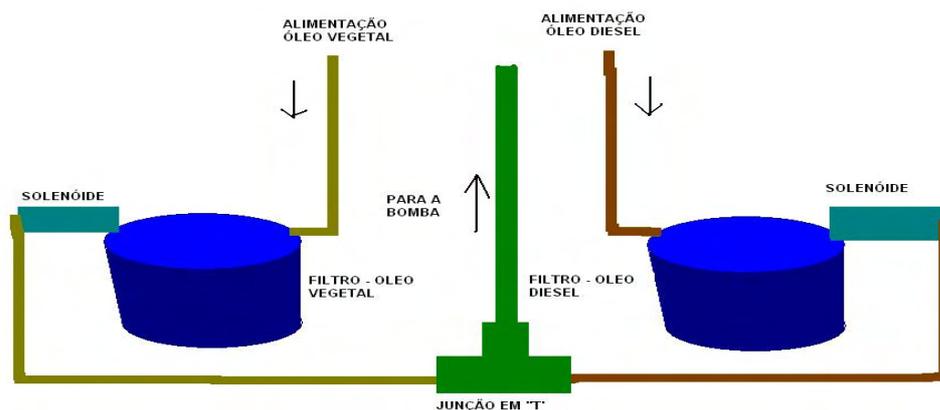


Figura 58 - Alimentação de combustível.

## 3 Controle de combustível

Para a troca de combustível sem interrupção do funcionamento do motor foi criado um sistema de controle elétrico, através de duas válvulas solenóides corta-combustível, uma para óleo Diesel e outra para óleos vegetais.

## 4 Medição do consumo do combustível

As medições de consumo de combustível serão realizadas, utilizando-se uma balança eletrônica de alta precisão para medir a massa de combustível consumida em um determinado intervalo de tempo, ligada a um computador para aquisição de dados, através do software

LABVIEW. Este sistema nos fornece a cada intervalo de 30 segundos, o valor da vazão mássica de óleo combustível.

## 5 Partida do motor

O processo de pré-aquecimento de combustível permite que o motor possa dar partida já com uso direto de óleo vegetal. Para confirmar este fato foram realizados alguns testes nos quais o motor era desligado com esse tipo de combustível na linha de alimentação, e no dia seguinte foi realizada a partida sem qualquer problema. Estes testes foram realizados com óleos de babaçu e de macaúba, e com os dois tipos o motor entrou em funcionamento imediatamente.

## 6 Temperatura do óleo injetado

Para obtermos uma estimativa da temperatura de injeção dos combustíveis foram instalados termopares na entrada dos bicos injetores, para efeito de qualquer problema em relação à viscosidade efetuar correção através do controle da temperatura.

Agrupamos em planilhas de Excel os dados do consumo de combustível e da carga aplicada em cada processo experimental.

As figuras 59, 60, 61 e 62 mostram os resultados gráficos obtidos nesta etapa experimental em relação a consumo litros por hora e potência gerada.

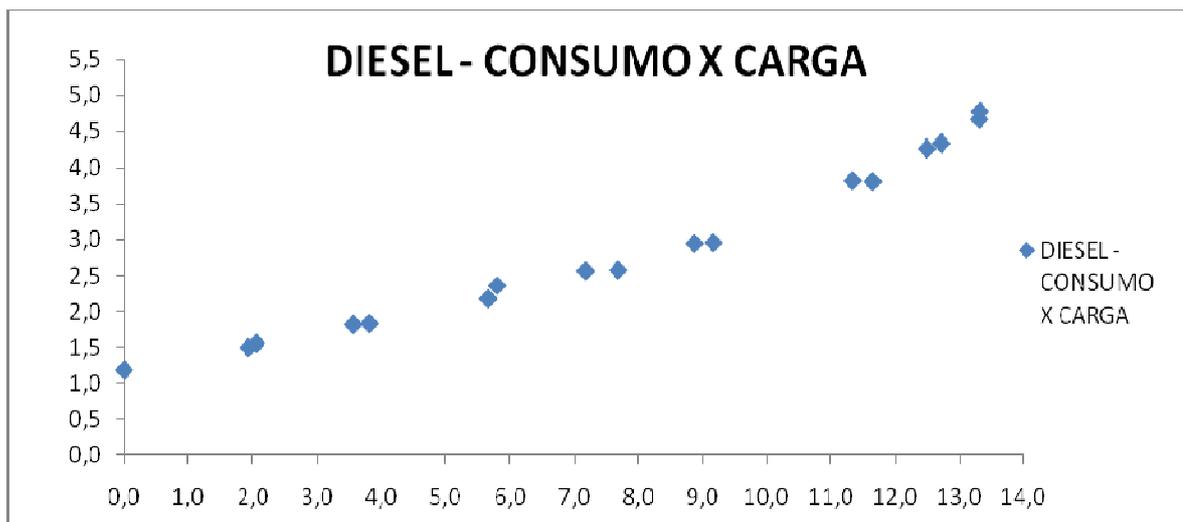


Figura 59 – Consumo kg/h x carga aplicada kW- Diesel.

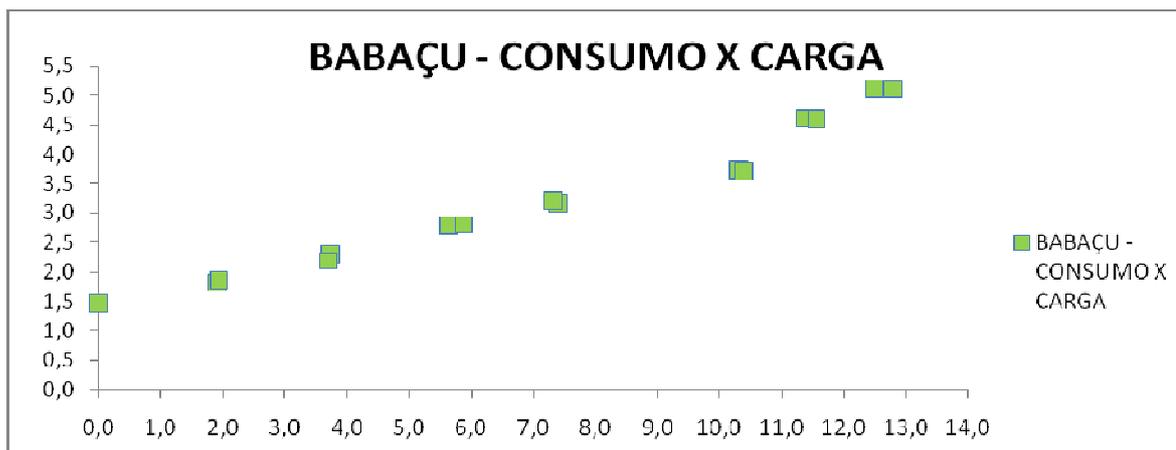


Figura 60 – Consumo kg/h x carga aplicada kW- babaçu.

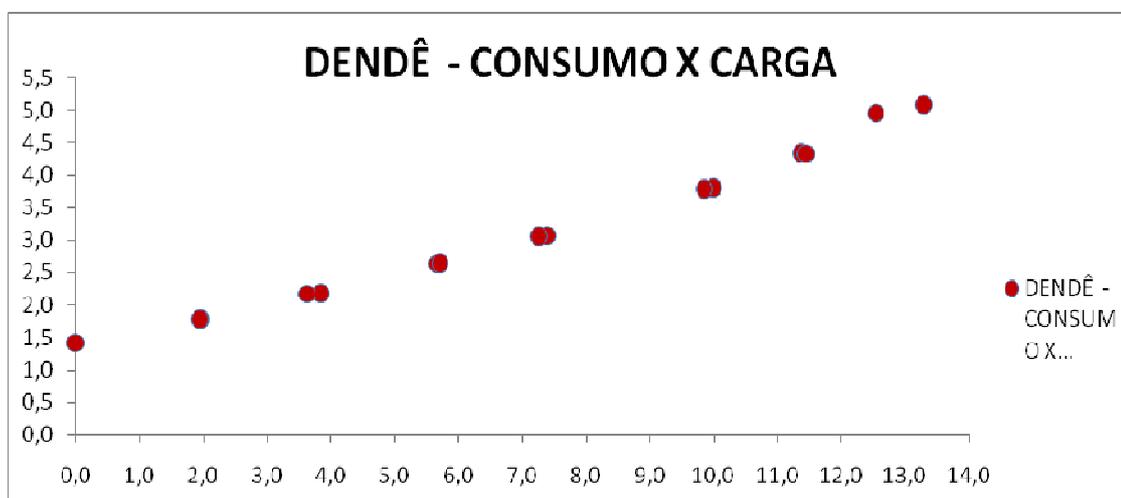


Figura 61 – Consumo kg/h x carga aplicada kW – dendê.

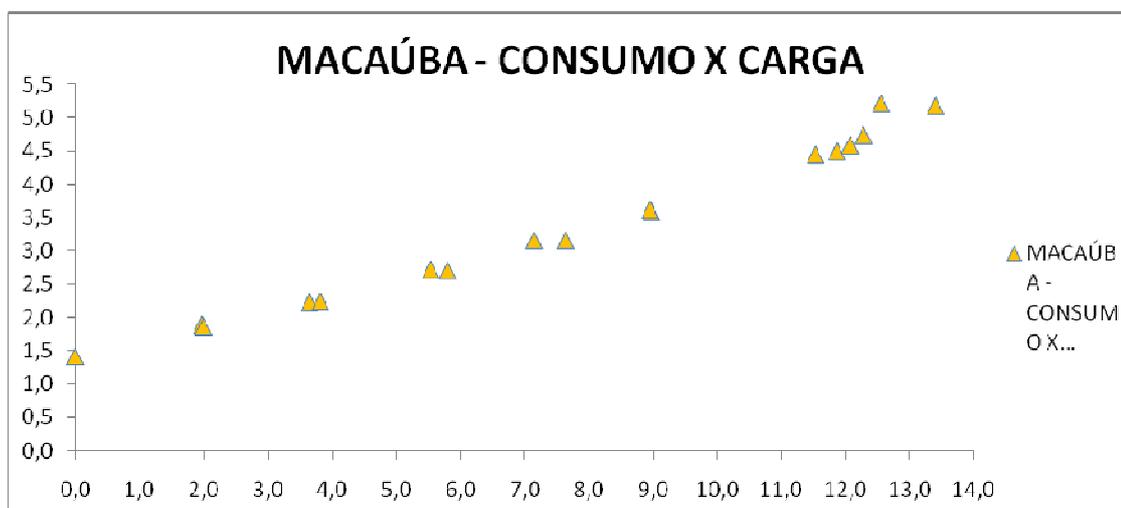


Figura 62 – Consumo kg/h x carga aplicada – macaúba.

Comparando os dados obtidos experimentalmente com os dados dos óleos encontrados em pesquisas, podemos notar que ou o consumo ou a potencia máxima fornecida variou de acordo com o poder calorífico de cada óleo, conforme mostra a tabela 3 a seguir.

Tabela 07: Relação potência x consumo

<b>OLEO</b>	<b>PODER CALORIFICO (kJ/kg)</b>	<b>MAIOR CARGA SUPORTADA (kW)</b>	<b>CONSUMO EM MAIOR CARGA (kg/h)</b>	<b>EFICIÊNCIA EM MAIOR CARGA</b>
<b>DIESEL</b>	<b>42.703,2</b>	<b>13, 303</b>	<b>4,78</b>	<b>0, 2737</b>
<b>BABAÇU</b>	<b>36.305,2</b>	<b>12, 780</b>	<b>5,10</b>	<b>0, 2899</b>
<b>DENDE</b>	<b>38.115,9</b>	<b>13, 294</b>	<b>5,04</b>	<b>0, 2907</b>
<b>MACAÚBA</b>	<b>37.577,0</b>	<b>13, 400</b>	<b>5,17</b>	<b>0, 2897</b>

Fazendo uma análise mais aprofundada fizemos uma comparação da eficiência do motor com o uso de cada um dos combustíveis, conforme mostra a figura 63.

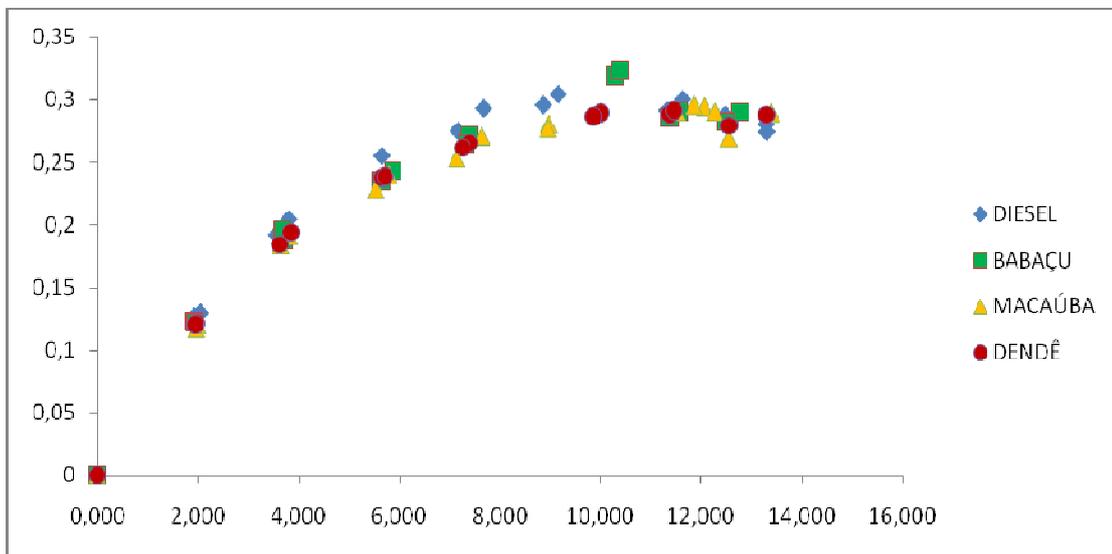
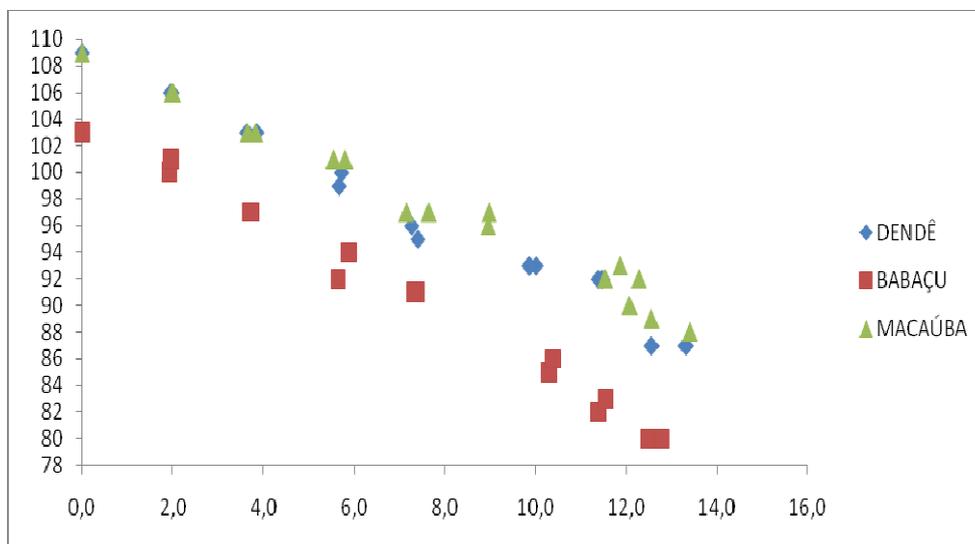


Figura 63 – Comparação da eficiência do motor.

A temperatura de injeção do óleo vegetal é um fator bastante importante para o bom funcionamento do motor. Esta temperatura, para os óleos ensaiados, deverá permanecer

sempre acima dos 70°C, para que sua viscosidade esteja sempre semelhante à Diesel. A figura 64 apresenta como a temperatura sempre deve permanecer acima dos 70°C.



**Figura 64 – Gráficos das temperaturas de injeção para os três óleos**

## APÊNDICE IV

### 1 Emissões de Gases em um Motor de combustão Interna

Um motor de combustão interna real não consegue efetuar a queima completa do combustível. Segundo (MARTINS, 2005) diversos fatores ocasionam a queima incompleta do combustível, dentre eles:

- Tempo reduzido para a reação entre o combustível e o oxigênio do ar;
- A mistura ar/combustível não é formada perfeitamente, deixando locais com excesso de oxigênio e outros com falta, tornando a queima no interior da câmara de combustão heterogênea;
- O ar admitido contém outros elementos além do oxigênio (Nitrogênio e outros gases em menor proporção);
- O combustível não é puro;
- A chama tem contato com superfícies resfriadas no interior dos cilindros;
- A geometria da câmara de combustão não permite que todo o seu volume seja atingido pela frente de chama resultante da centelha da vela de ignição. Um exemplo é os pequenos espaços formados entre os pistões, anéis de segmento e cilindro;
- Variações de carga, rotação, temperatura do ar e do próprio motor provocam alterações na combustão, demandando o fornecimento de misturas fora da razão estequiométrica.

Em um funcionamento hipotético de um motor ideal, seria consumida uma mistura ar/combustível estequiométrica - que é aquela que mantém a proporção ideal entre os reagentes para a ocorrência de uma queima completa. Nessa hipotética combustão completa, os únicos subprodutos resultantes da queima da gasolina são o dióxido de carbono, Água e Nitrogênio.

A mistura real proporciona uma queima não ideal, produzindo outros subprodutos, muitos dos quais, tóxicos e com emissões restritas pelo PROCONVE – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (CÂMARA 2006).

#### 1.1 Gases poluentes

Apesar de comporem apenas 1% dos gases expelidos, são extremamente danosos à saúde e ao meio ambiente, o que os torna indesejados e alvo de restrito controle pelas legislações ambientais ao redor do mundo, são eles (SZWARCFITER, 2004):

- Monóxido de carbono – inodoro e incolor, o CO é extremamente tóxico. Respirá-lo em uma concentração de 0,3% em volume mata em minutos. O gás se combina aos glóbulos vermelhos do sangue, impedindo o transporte de oxigênio. A eficiência dos catalisadores e sistemas de gerenciamento de motores atuais elimina até 99% do CO emitido (MARTINS, 2005);
- Óxidos de Nitrogênio – representados genericamente por NOx, são formados pela oxidação do Nitrogênio atmosférico, em temperaturas próximas a da combustão de combustíveis, e pela oxidação de compostos de Nitrogênio presentes no próprio combustível (CÓNSUL e outros, 2003). Combinados com o vapor d'água na atmosfera, os NOx podem formar o ácido nítrico. Esses elementos, além de nocivos à saúde, são fatores responsáveis pela formação de chuva ácida;
- Hidrocarbonetos – correspondem ao combustível não queimado, ou queimado parcialmente. Forma fuligem – aquela substância que escurece os tubos de descarga dos carros;
- Compostos de enxofre – o enxofre, não totalmente eliminado na produção da gasolina, pode provocar a formação de compostos que, combinados ao vapor d'água, se transformam em ácidos sendo nocivos à saúde e danificando o escapamento e causando o envenenamento do catalisador, uma vez que os metais nobre, desses são susceptíveis a reações com compostos de enxofre que podem causar a desativação dos catalisadores (ZOTIN, 1999);
- Aldeídos (CHO) – são voláteis cancerígenos e provocam irritações nas vias respiratórias. São especialmente gerados através da queima do álcool puro (etanol) ou do álcool anidro presente à gasolina. Segundo (RANGEL e CARVALHO, 2002), os veículos que rodam com gasohol (Gasolina com álcool) emitem álcool não queimado, especialmente quando frios. Os veículos automotores leves são responsáveis por grande parte das emissões de aldeídos presentes na atmosfera urbana, uma vez que emitem aldeídos primários pelo gás de escape, além de óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos, que são formadores de aldeídos secundários (AMARAL, 2000).

## APÊNDICE V

### 1 Curva de conversão de instrumentos da bancada de ensaios

Transformação de tensão do termômetro de platina para tensão do termopar tipo K:

$$volt_T = -8,10755 + 0,07954 volt_p + 0,0003 (volt_p)^2 \quad (14)$$

Sabendo que:

VoltT: tensão de referência para o termopar tipo K (mV);

VoltP: tensão de referência gerada pelo termômetro de platina (mV).

Termopar de baixa temperatura:

$$T = 0,02793 + 25,23181 Volt - 0,26421 Volt^2 \quad (15)$$

Sabendo que:

T: temperatura (°C);

Volt: tensão gerada pelo termopar somada com a tensão de referência (mV)

Termopar de alta temperatura:

$$T = -4,7371 + 24,8335 Volt + 0,03813 Volt^2 \quad (16)$$

Sabendo que:

T: temperatura (°C);

Volt: tensão gerada pelo termopar somada com a tensão de referência (mV)

Sensor de pressão:

$$p = -1,711 + 0,826092 Volt \quad (17)$$

Sabendo que:

P: pressão (bar);

Volt: tensão gerada pelo sensor (V).

Sensor de rotação:

$$N = 1000 Volt \quad (18)$$

Sabendo que:

N: rotação (RPM);

Volt: tensão gerada pelo sensor (V).

Sensor de carga

$$F = 0,1528 + 14,5298$$

**(19)**

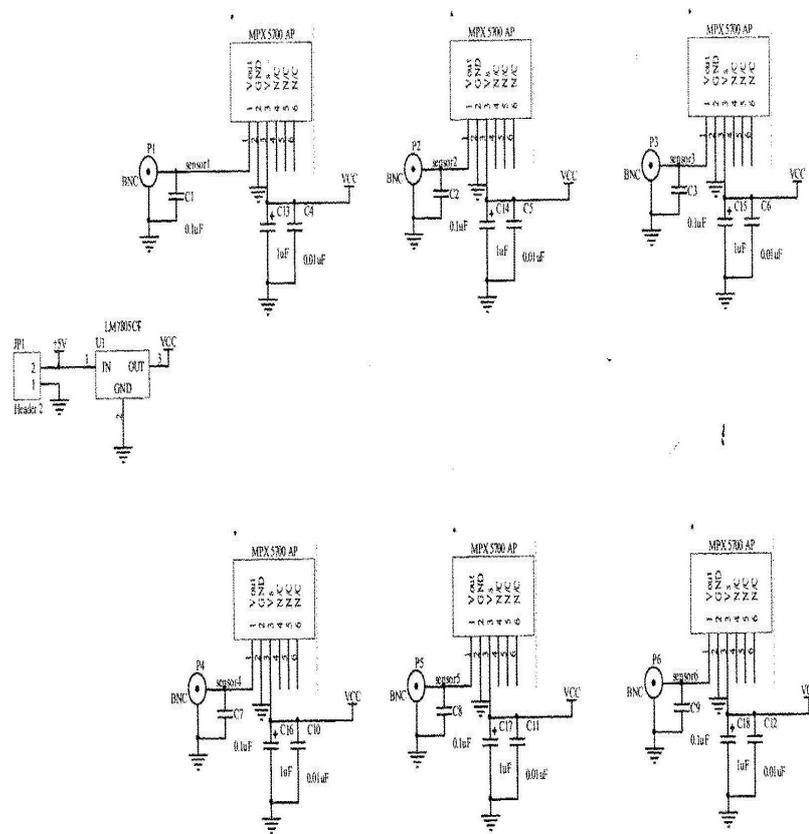
Sabendo que:

F: carga (Kgf);

Volt: tensão gerada pelo sensor (V)

# APÊNDICE VI

## Diagramas



Placa Transdutora de Pressão

Figura 65 – Placa transdutora de Pressão.

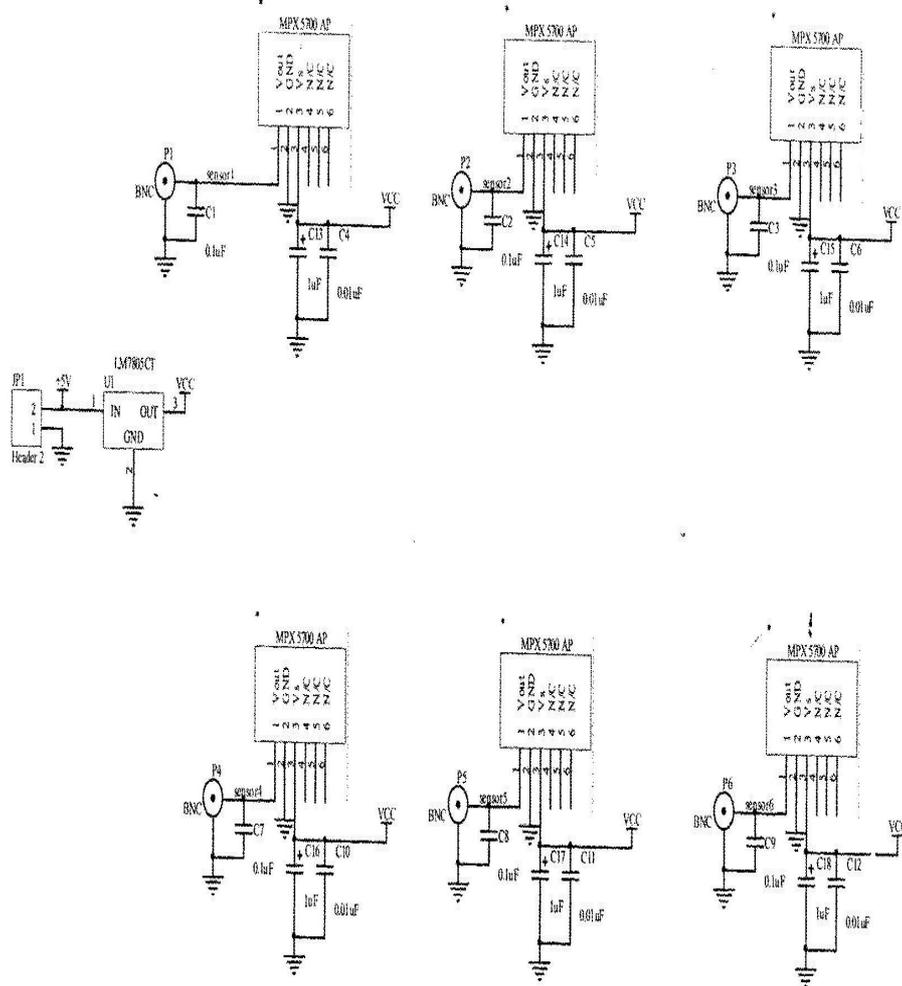


Figura 66 – Placa transdutora de Pressão.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5477: apresentação de desempenho de motores alternativo de combustão interna. Rio de Janeiro, 1982**

**NBR ISO/IEC 17025: requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaios e calibração. Rio de Janeiro, 2005.**

**NBR 5484: motores Alternativos de combustão interna de ignição por centelha ou compressão. Rio de Janeiro, 1985.**

**NBR 1585: motores para veículos terrestres. Rio de Janeiro, 1985.**

**ANDERSON, Ingmar. Cylinder Pressure and ionization Current Modeling for Spark Ignited Engines. Division of Vehicular Systems, department of Electrical Engineering. Linköping university, Sweden, 2002.**

**BALLUCHIT, A.; BENVENUTI, L.; BENEDETTO, M.D.; CARDELLINO S.; ROSSI C. BROWN, Warwick. Defining Engine Closed-Loop Control for Individual Cylinder Signature. Monash University. Austrália, 2004, 50 p.**

**CHOLLET, H. M., Mecânicos de Automóveis, O Motor e seus Acessórios. Hemus: São Paulo, 1996, 402p.**

**EURACHEM. Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement. 2nd.ed. 2000.**

**INMETRO. Guia para a Expressão da Incerteza de Medição. 3. Ed. brasileira, 2003.**

**Vocabulário de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia. 1985.**

**Jr. CARVALHO, João Andrade. Artigo publicado. Editora da UFSC, 2007.**

SILVA, José Eustáquio. **Artigo publicado**. CETEC, 2007.

VIM. **Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia**, 1995.

VINCENTEELLI, S. **Hybrid Control of the Air-fuel ratio in Force Transients for Multi-point Injection Engines**. University of California, EUA, 1999.

## **ANEXOS:**

### **PROGRAMA DO CURSO:**

Agosto de 2007

Matrícula nas disciplinas obrigatórias

1- Métodos experimentais

2- Métodos numéricos

Setembro/Outubro/Novembro de 2007

1- Desenvolvimento de um trabalho experimental em gerador de energia aplicando programas em LABVIEW.

2- Trabalho teórico com aplicação do método de Ishikawa no funcionamento de um dinamômetro.

3- Desenvolvimento de programas com aplicação das linguagens Fortran, C++ e Matlab.

Dezembro de 2007

Conclusão e apresentação dos trabalhos do semestre

Janeiro de 2008

Leitura de indicações bibliográficas

Fevereiro de 2008

Matrícula nas disciplinas:

Métodos matemáticos

Termodinâmica clássica

Tópicos especiais em ciências mecânicas

Aquisição de materiais bibliográficos para o projeto

Março/Abril/Maio de 2008

1- Desenvolvimento de pesquisa sobre ENTROPIA, com apresentação de seminário.

2- Conclusão de atividades da disciplina Métodos Matemáticos com apresentação de um livro texto.

3- Apresentação de seminário sobre escoamentos ambientais.

Junho/Julho de 2008

Desenvolvimento do projeto para o exame de qualificação

Defesa de experimentos em seminário

Agosto de 2008

Matrícula na disciplina COMBUSTÃO

Defesa do exame de qualificação

Setembro/Outubro/Novembro de 2008

Acompanhamento de um trabalho experimental com uso de biocombustíveis na combustão de motores à Diesel.

Desenvolvimentos de seminários

Preparação do Laboratório para o dinamômetro de testes

Aquisição de componentes eletrônicos para montagem dos experimentos.

Dezembro de 2008

Montagem da bancada experimental

Preparação de um artigo para o COBEM 2009

Janeiro de 2009

Conclusão do artigo para o COBEM

Início aos experimentos na bancada dinamométrico

Continuidade na dissertação

Fevereiro/Março/Abril/Maio de 2009

Envolvimento na atividade experimental

Conclusão da dissertação

Dados bibliográficos

Junho/Julho de 2009

1- Fechamento dos trabalhos

2- Defesa da tese.