



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Faculdade de Engenharia

Implementação de um Sistema de Injecção e Ignição Electronicamente Controlados num motor de Combustão Interna

Ricardo Barbosa Rodrigues Protásio

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Aeronáutica

(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Francisco Brojo

Covilhã, Junho de 2012

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer ao estimado orientador, Prof. Dr. Francisco Brojo. A sua presença e disponibilidade durante a elaboração desta dissertação tornaram-na possível, os seus conhecimentos sobre o tema desta dissertação e dos conceitos que a dissertação abrange são admiráveis. Foi sem margem de dúvida o docente que mais me ensinou e agradeço-lhe sinceramente por todo o conhecimento que me passou tal como a curiosidade que despertou em mim por saber mais.

Gostava também de agradecer ao Prof. Dr. Carrilho, por ter disponibilizado e permitido a utilização do laboratório de Energética e Máquinas Térmicas do Departamento de Electromecânica, da Universidade da Beira Interior. Gostaria também de agradecer a paciência do Prof. Dr. Carrilho, pois a barulho resultante de alguns testes durante esta dissertação foi partilhado também com o Professor.

Gostaria ainda de agradecer ao Técnico de Laboratório, Sr. João Correia, por todo o seu apoio e mais uma vez, por suportar o ruído criado em alguns testes.

Por fim, gostaria de agradecer a todos os que tiverem de alguma forma influência nesta dissertação, fosse por um mero conselho como por auxílio quando se encontraram dúvidas.

Muito Obrigado.

RESUMO

O principal objectivo desta dissertação prende-se na tentativa de controlar um motor de combustão interna utilizando uma centralina ou controlador electrónico. O motor utilizado neste trabalho foi o Honda GX25 da *Honda Engines*, motor o qual apresenta de origem, carburador para admissão de combustível e ignição por magneto.

O controlo dos sistemas de injeção de combustível e ignição pelo controlador electrónico foi possível recorrendo a uma variedade de sensores que informam a centralina dos diversos parâmetros de funcionamento do motor, tais como, temperatura do ar, temperatura do óleo e do motor, pressão do ar, posição do acelerador, posição da cambota. Para a incorporação dos sensores no motor foi necessário fabricar peças de suporte e auxílio. Uma vez estabelecidas as ligações entre os sensores e a centralina, todos os sensores e o injector foram calibrados recorrendo ao *software Tuner Studio MS*.

Primeiramente foi implementado e testado o sistema de injeção de combustível. Apenas quando o Honda GX25 apresentou um funcionamento estável com o controlo da injeção de combustível assegurada pela centralina se iniciou a implementação do sistema de ignição, retirando o sistema de ignição original, puramente mecânico. Uma vez implementados os dois sistemas o Honda GX25 encontrava-se controlado por uma centralina.

O Honda GX25 electronicamente controlado foi testado com o propósito de o comparar com o Honda GX25 original. Ao longo de toda a duração do teste a centralina registou as variações nos diferentes parâmetros de funcionamento do motor. Os dados recolhidos foram visualizados no programa *Mega Log Viewer* e posteriormente analisados e processados.

A comparação entre o Honda GX25 electronicamente controlado e o Honda GX25 original mostrou-se pouco conclusiva devido a problemas com o banco de ensaio. No entanto, neste trabalho assegurou-se o funcionamento do Honda GX25 com os sistemas de injeção e ignição electronicamente controlados e alargou-se os conhecimentos relativos a motores de combustão interna e o funcionamento de controladores electrónicos.

PALAVRAS-CHAVE

Centralina/Controlador Electrónico - Dispositivo Electrónico responsável pelo controlo de um ou mais sistemas electrónicos presentes num motor.

Honda GX25 - Motor alternado de combustão interna fabricado pela *Honda Engines*, utilizado neste trabalho prático.

Sistema de Injecção - Conjunto de peças e dispositivos responsáveis pela injeção de combustível de um motor de combustão interna, sistema controlado pela Centralina.

Sistema de Ignição - Conjunto de peças e dispositivos responsáveis pela ignição da mistura de Ar/Combustível dentro um motor de combustão interna, sistema controlado pela Centralina.

ASBTRACT

The main goal of this dissertation is to ensure the control of an engine using and ECU, Electronic Control Unit. The engine used was the Honda GX25 by *Honda Engines*, where the fuel admission and ignition systems were originally mechanical.

The control of the fuel injection system and ignition system by the ECU is achieved using a variety of sensors that inform the ECU of the engine's working parameters, such as, air temperature, oil and engine temperature, air pressure, throttle position and crankshaft position. To ensure the correct reading of the sensor a series of support and auxiliary components were made. Once the sensors and ECU were connected, using the software *Tuner Studio MS*, every sensor and the injector were calibrated.

Primarily the fuel injection systems was assembled and tested. Only when the Honda GX25 engine was running with the electronically controlled fuel injection was the ignition system implemented, removing the original mechanical ignition system. At this point the engine was running completely by the ECU.

The new electronically controlled Honda GX25 was tested in order to compare its performance against the original Honda GX25. During the test the ECU's software recorded the variations of the different parameters witch it controls. Using the software *Mega Log Viewer*, the data collected during the test was analyzed and processed.

In the end, the comparison between the original Honda GX25 and the ECU controlled Honda GX25 was not conclusive due to some problems regarding the test's work bench. Anyhow, a working Honda GX25 with an ECU control was achieved and the knowledge of internal combustion engines and ECU's was greatly improved.

KEY-WORDS

Electronic Control Unit (ECU) - Embedded system responsible for the control of one or more electrical systems present in an Internal Combustion Engine.

Honda GX25 - Internal Combustion Engine made by *Honda Engines*. Engine used for this paper.

Fuel Injection System - All parts and devices responsible for delivering fuel into the engine.

Ignition System - All parts and devices responsible for the ignition of the Air/Fuel mixture present in the internal combustion engine

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Considerações iniciais.....	1
1.2. Objectivos.....	3
1.3. Motivação	3
2. ESTADO DA ARTE	5
2.1. Termodinâmica do Ciclo de Otto	6
2.2. Componentes de um motor	7
2.3. Funcionamento de um motor a quatro tempos	11
2.4. Métodos de mistura	15
2.4.1. Mistura através de carburador	15
2.4.1.1. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO CARBURADOR	17
2.4.2. Mistura através de sistemas de injeção	17
2.4.2.1. Vantagens e Desvantagens dos sistemas de injeção	21
2.4.3. MÉTODOS DE IGNIÇÃO	23
3. MOTOR E CONTROLADOR ELECTRÓNICO.....	29
3.1. Motor Honda GX25 - Características.....	29
3.2. Centralina-descrição e funcionamento	33
3.2.1. Descrição da Centralina	33
3.2.2. Funcionamento da Centralina	37
4. TRABALHO EXPERIMENTAL	49
4.1. Equipamento Utilizado.....	49
4.1.1. Sensores Utilizados.....	49
4.1.2. Alterações no motor - Fase de projecto.....	51
4.1.3. Método de armazenamento de dados.....	53
4.2. PROCEDIMENTO	55
4.2.1. Alterações no motor -Construçãoe montagem de componentes	55
4.2.2. Testes - Fase Inicial - Calibração de componentes	61
4.2.3. Testes - Funcionamento da Injeção de combustível	67

4.2.4. Testes - Funcionamento da Ignição	71
4.3. Testes - Banco de ensaios	79
5. RESULTADOS.....	81
5.1. ANÁLISE DOS RESULTADOS	85
6. CONCLUSÃO	89
6.1. SÍNTESE	89
6.2. CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
6.3. PERSPECTIVAS FUTURAS	93
7. BIBLIOGRAFIA	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Honda GX 25 [1]	1
Figura 2 - Nikolaus Otto - engenheiro que deu o nome ao processo de funcionamento dos motores a quatro tempos [26].....	5
Figura 4 - Ciclo de Otto real [3].....	6
Figura 3 - Representação do ciclo de Otto no diagrama (p, v) [9]	6
Figura 5 - Bloco do motor (à esquerda) e cabeça do motor (à direita) [19] [20].....	7
Figura 6 - Cárter [21].....	8
Figura 7 - Êmbolos (à esquerda) e cambota (à direita) [14] [15].....	8
Figura 8 - Biela (à esquerda) e volante do motor (à direita) [18].....	9
Figura 9 - Árvore de Cames [12]	9
Figura 10 - válvulas (à esquerda) e engrenagens (à direita) [16] [17].....	10
Figura 11 - Quatro tempos de funcionamento de um motor; admissão, esquerda em cima; compressão, direita em cima; explosão, esquerda em baixo; escape, direita em baixo. [6].....	13
Figura 13 - Válvula Borboleta de um carburador [22]	16
Figura 12 - Ilustrações explicativas do funcionamento de um carburador. [22]	16
Figura 14 - Injetor de Combustível [13]	17
Figura 15 - Sistema de injeção de combustível Bosch L-Jetronic [3]	18
Figura 16 - Sensor MAP para leitura da pressão no colector de admissão, à esquerda; Sensor MAF, incorpora a tecnologia de fio quente para leitura do caudal mássico de ar no colector de admissão, à direita. [7] [8]	19
Figura 17 - Vela de ignição e respectivos constituintes [10]	23
Figura 18 - Tipos de velas de ignição [10]	24
Figura 19 - Nomenclatura utilizada nas velas de ignição NGK [10]	24
Figura 20 - Gráfico ilustrativo das diferentes regiões de funcionamento de uma vela de ignição comum [10]	25
Figura 21 - Sistema de Ignição Convencional [10]	26
Figura 22 - Diagrama do sistema de ignição por magneto do motor Honda GX25 [2]	27
Figura 23 - Motor Honda GX25 [11]	29
Figura 24 - Esquema ilustrativo do sistema OHC (<i>Overhead Camshaft</i>)[1]	30
Figura 26 - Curva de Binário e Curva de Potência respectivas ao Honda GX25 [1].....	31
Figura 25 - Cambota, êmbolo e biela do motor Honda GX25 [1]	31
Figura 27 - Gráfico de Barras comparando o consumo de um motor Honda GX25/35 com o consumo de um motor comum de funcionamento a 2 tempos. [1]	32
Figura 28 - Centralina <i>MegaSquirt MS II</i> distribuída por <i>ExtraEFI</i> [foto tirada pelo autor]	33
Figura 29 - Esquema ilustrativo das ligações entra uma centralina <i>MegaSquirt</i> , um computador portátil para configuração da centralina e os sensores e componentes que a centralina controla. [23]	35

Figura 30 - Centralina ou controlador <i>MegaSquirt MS-II</i> sem a caixa. [23].....	37
Figura 31 - Esquema Representativo do funcionamento de um injector quando controlado por uma centralina <i>MegaSquirt</i> . [23]	40
Figura 32 - Circuito Bateria - Injector - Centralina [23]	41
Figura 33 - Caixa da Centralina vista lateral onde se nota a entrada para o sensor MAP e a porta onde ligam todos os outros sensores e alimentação, à esquerda. Sensor MAP utilizado pela <i>MegaSquirt MS II</i> , à direita [fotos tiradas pelo autor].....	45
Figura 34 - Sensores de temperatura utilizados no Honda GX25; Sensor IAT, à esquerda. Sensor CLT, à direita [fotos tiradas pelo autor].....	47
Figura 36 - Sensor EGO genérico [25]	48
Figura 35 - Sensor TPS incorporado na válvula borboleta do carburador original de um Honda GX25. [foto tirada pelo autor].....	48
Figura 37 - <i>Render</i> s das duas peças constituintes do colector de admissão, suporte para o injector à esquerda, câmara de atenuamento para leitura da pressão no colector pelo sensor MAP e leitura da temperatura do ar, à direita. Fonte: Autor	51
Figura 38 - <i>Render</i> do colector de admissão, produzido no programa <i>Solid Works 2010</i> . Fonte: Autor	52
Figura 39 - <i>Render</i> do Disco de 3 ímanes. Fonte: Autor	52
Figura 40 - Extensão do colector de admissão, suporte para o injector (à esquerda, em cima; Suporte para o sensor IAT (à direita, em cima); Colector de admissão com os suportes para o injector e sensor IAT, também visível, tubo transparente, ligação entre o colector de admissão e o sensor MAP (em baixo). [fotos tiradas pelo autor]	55
Figura 41- Sensor TPS incorporado no carburador original do Honda GX25 [foto tirada pelo autor]	56
Figura 42 - Sensor CLT substituindo a tampa do óleo do cárter e informando a centralina da temperatura do óleo dentro do cárter [fotos tiradas pelo autor].....	57
Figura 43 - Disco com ímanes ligado à cambota do Honda GX25, à esquerda em cima e à direita em cima; Sensor Hall, em baixo. [Fotos tiradas pelo autor].....	57
Figura 44 - Sinal do sensor Hall para a centralina, imagem retirada do programa <i>PicoScope Automotive</i>	58
Figura 45 - Disco de ímanes enumerados tal como a centralina os classifica, <i>render</i> do programa <i>Solid Works 2010</i> . Fonte: Autor	58
Figura 46 - Motor de arranque utilizado no Honda GX25, incorporado no suporte do motor. [foto tirada pelo autor].....	59
Figura 47 - Honda GX25 no Banco de ensaio utilizado. Vista traseira ilustrando a ligação entre o motor e o disco de inércia, à esquerda. Vista frontal do motor no banco de ensaio, sendo visível maioria dos sensores, à direita. [fotos tiradas pelo autor].....	61
Figura 48 - <i>Display</i> do programa <i>Tuner Studio MS</i> para os valores das temperaturas do ar no colector de admissão (manómetro inferior) e do óleo no motor (manómetro superior).	62

Figura 49 - Menú do programa <i>Tuner Studio MS</i> destinado à calibração dos sensores de temperatura do ar no colector de admissão e a temperatura do líquido de refrigeração do motor.	63
Figura 50 - Menu do programa <i>Tuner Studio MS</i> onde se especifica o volume do motor, o número de cilindros, caudal do injector e relação Ar/Combustível.	64
Figura 51 - Menu de calibração do sensor TPS no programa <i>Tuner Studio MS</i>	64
Figura 52- Menu do programa <i>Tuner Studio MS</i> respectivo ao tipo de disco de auxílio ao sensor de posição do êmbolo.....	65
Figura 53 - Circuito de Ar comprimido utilizado como bomba de combustível. [foto tirada pelo autor]	67
Figura 54 - Manómetro com o valor da pressão na garrafa, à esquerda; Manómetro com o valor da pressão no depósito de combustível. [fotos tiradas pelo autor]	68
Figura 55 - Depósito de Combustível da <i>Shell</i> para a participação na <i>Shell Eco Marathon</i> . [foto tirada pelo autor].....	68
Figura 56 - <i>Print Screen</i> do programa <i>Mega Log Viewer</i> durante o funcionamento do Honda GX 25 com a injeção de combustível electronicamente controlada.	69
Figura 58 - Cachimbo de vela. [foto tirada pelo autor].....	71
Figura 57 - Bobina de Ignição, à esquerda; Módulo de Ignição, à direita. [fotos tiradas pelo autor]	71
Figura 59 - Componentes do sistema de ignição: Módulo de Ignição; Bobina; Cachimbo de vela; Vela de Ignição. [foto tirada pelo autor]	72
Figura 60 - Menus de configuração e informação do Sistema de Ignição em uso; Plataforma digital: <i>Tuner Studio MS</i>	73
Figura 61 - <i>Print Screen</i> retirado do programa <i>Pico Scope</i> ilustrando os sinais de ambos sistemas de ignição, vermelho - ignição por magneto, azul - ignição controlada pela centralina.	74
Figura 62 - <i>Print Screen</i> retirado do programa <i>Pico Scope</i> ilustrando os sinais de ambos sistemas de ignição, vermelho - ignição por magneto, azul - ignição controlada pela centralina.	74
Figura 63 - Mapa Tridimensional da Tabela 1 do Avanço da Ignição; fonte: <i>Tuner Studio MS</i>	76
Figura 64 - Mapa Tridimensional da Tabela 2 do Avanço da Ignição; fonte <i>Tuner Studio MS</i>	76
Figura 65- <i>PrintScreen</i> do programa <i>PicoScope</i> ilustrando os saltos de faísca do sistema de ignição por magneto e do sistema de ignição electronicamente controlado quando utilizada a Tabela 2.	77
Figura 66 - <i>PrintScreen</i> retirado da plataforma <i>Mega Log Viewer</i> respectivo ao intervalo de tempo para o qual serão feitos os cálculos de performance.....	81
Figura 67 - O gráfico serve simplesmente para concluir que o registo do tempo do teste está preciso.....	82
Figura 68 - Variação do valor das RPM com o tempo.	82
Figura 69 - Variação da posição da Válvula Borboleta com o tempo.	83
Figura 70 - Variação do valor de <i>Pulse Width</i> ao longo do teste realizado.....	84
Figura 71 - Esquema representativo do disco de inércia presente no banco de ensaio.	85

Figura 72 - Curva de Binário do Honda GX25, durante o intervalo de estudado.....	85
Figura 73 - Curva de Potência do Honda GX25, durante o intervalo estudado.	86
Figura 74 - Gráfico relacionando o tempo de teste com a dimensão do raio do disco de inércia para diferentes valores de peso do disco de inércia. Fonte Autor	93

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de Avanço de Ignição original da centralina <i>MegaSquirt II</i> ; fonte <i>Tuner Studio MS</i>	75
Tabela 2 - Tabela de Avanço da Ignição após alterações.....	76
Tabela 3 - Tabela do programa <i>Mega Log Viewer</i> , ilustrando os diferentes valores da eficiência volumétrica.	83
Tabela 4 - Tabela do programa <i>Mega Log Viewer</i> , ilustrando os valores do avanço da ignição tal como os restantes valores de avanço da ignição.	84

LISTA DE ACRÓNIMOS

Pot - Potência

Cil - Cilindrada

P, V - Pressão, Volume

PMS - Ponto Motor Superior

PMI - Ponto Morto Inferior

MPI - *Multi Point Injection*

SPI - *Single Point Injection*

TBI - *Throttle Body Injection*

MAP - *Manifold Air Pressure*

MAF - *Manifold Air Flow*

NGK - NGK Spark Plugs ®

OHC - *Over Head Camshaft*

RPM - *Revolutions per Minute*, Rotações por Minuto

LED - *Light Emitting Diode*

P - Pressão

V - Volume

N - Número de Moles

R - Constante dos Gases Perfeitos

T - Temperatura

M - Massa de Ar

VE - Eficiência Volumétrica

IAT - *Intake Air Temperature*

MM_{air} - Massa Molar do Ar

Req_Fuel - *Required Fuel*

Cyl_disp - *Cylinder Displacement*

CIL - *Cylinder Displacement in Cubic Inches*

AirDen - *Massa Específica do Ar*

NCYL - *Number of Cylinders*

InjFlow - *Injector Flow, Caudal do Injector*

Temp - *Temperatura*

PW - *Pulse Width*

ADC - *Analog Digital Converter*

CLT - *Coolant Temperature*

TPS - *Throttle Position Sensor*

EGO - *Exhaust Gas Oxygen*

WOT - *Wide Open Throttle*

MAT - *Manifold Air Temperature*

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No presente trabalho pretende-se explorar os benefícios que resultam da alteração do sistema de injeção e ignição de um pequeno motor. Mudando de um sistema puramente mecânico, original do motor utilizado, para um sistema electronicamente controlado, baseado em informação relativa ao funcionamento do motor. Esta informação é disponibilizada por sensores e interpretada por um controlador electrónico (centralina) que realizará os cálculos relativos à injeção de combustível e ignição, averiguando a quantidade de combustível a injectar e o avanço da ignição respectivamente.

O motor escolhido para realização deste ensaio é um Honda GX25, que apresenta alimentação de combustível com o auxílio de um carburador, o qual será removido e substituído por um sistema de injeção, ou seja, por um injector comandado por uma centralina.

O motor Honda GX25 é um pequeno motor alternativo de ignição por faísca (Figura 1), mono cilíndrico de 25 cm³ com uma potência de 0,72 kW, aproximadamente 1 cavalo (HP), a 7000 rotações por minuto, é recomendado para uso em bombas de água, máquinas agrónomas de pequeno porte, entre outras. [2]



Figura 1 - Honda GX 25 [1]

1.2. OBJECTIVOS

Pretende-se com o presente trabalho o melhoramento do desempenho do motor Honda GX25. O conceito de desempenho de um motor engloba uma série de características, nomeadamente, potência, consumo e rendimento, entre outras.

A alteração do método de injeção recorrendo à electrónica permite um alargado controlo de parâmetros cruciais no desempenho do motor, possibilitando uma calibração precisa e focada em uma ou várias das referidas características do motor, como por exemplo o seu consumo e potência.

1.3. MOTIVAÇÃO

Actualmente, os motores alternativos, como o caso do Honda GX25, continuam a possuir o mesmo princípio de funcionamento que os motores alternativos do início do século XX. No entanto, ao recuar 100 anos, até à altura do primeiro carro produzido em série, encontra-se o Ford T que tinha um motor de 2,9 Litros de cilindrada com apenas 20 cavalos de potência. Com a evolução tecnológica no século XX é hoje possível produzir 20 cavalos de potência com motores de dimensões consideravelmente menores. Podendo um motor de cilindrada, 2,9 Litros produzir uma potência de 255 cavalos, como o caso do motor do Porsche Boxster. Por outras palavras, ao longo dos anos têm-se vindo a desenvolver novas tecnologias que melhoraram consideravelmente o desempenho dos motores de combustão interna. [4] [5]

Posto isto, e atentando o motor que será utilizado para este ensaio, pretende-se obter um melhoramento no desempenho deste, atendendo a que se irá introduzir tecnologia mais avançada que aquela com que o Honda GX25 se encontra de série.

Prevê-se que os melhoramentos a efectuar no Honda GX25, nomeadamente a introdução de um sistema de injeção e ignição electronicamente controlados por uma centralina, possibilitará um controlo mais rigoroso do consumo específico, avanço da ignição e estequiometria da mistura Ar/Combustível.

O controlo electrónico do Honda GX25 torna também possível uma programação da centralina, mapeamento, visando um valor de potência mais elevado que o original, ou um consumo mais baixo e menos poluente, ou dito de forma mais simples, um melhor funcionamento do Honda GX25 uma vez que os seus sistemas de injeção e ignição não se encontram mecanicamente limitados como os originais.

Exemplificando um enfoque na potência, se calcularmos a relação potência/cilindrada para o famoso Ford T obtemos o seguinte:

$$Relação_{\frac{Pot}{Cit}} = \frac{20 \text{ hp}}{2900 \text{ cm}^3} = 0.0069 \frac{\text{hp}}{\text{cm}^3} \quad (1.1a)$$

Para o Honda GX25 de série esta relação já se encontra bastante melhorada:

$$Relação_{\frac{Pot}{cil}} = \frac{1 \text{ hp}}{25 \text{ cm}^3} = 0.04 \frac{\text{hp}}{\text{cm}^3} \quad (1.1b)$$

Para um Porsche Boxter, cuja injeção é controlada electronicamente esta relação é a seguinte:

$$Relação_{\frac{Pot}{cil}} = \frac{255 \text{ hp}}{2900 \text{ cm}^3} = 0.088 \frac{\text{hp}}{\text{cm}^3} \quad (1.1c)$$

Como é fácil notar, nos últimos cem anos a evolução no desempenho de motores de ignição por faísca foi considerável. O que se pretende com este trabalho é verificar as melhorias resultantes da troca do sistema de injeção de um pequeno e recente motor (Honda GX25) esperando obter uma relação de potência/cilindrada semelhante à de um motor recente e igualmente electronicamente controlado (Porsche Boxter). Pois, quanto maior for a relação potência/cilindrada melhor será o desempenho do motor para fins aeronáuticos em que o peso e dimensão são factores a ter em grande consideração.

2. ESTADO DA ARTE

O motor eleito para este ensaio apresenta um funcionamento a quatro tempos, logo, torna-se crucial uma breve explicação da evolução deste tipo de motores tal como uma introdução sobre os constituintes base de um motor.

Os motores a quatro tempos apresentam um funcionamento que é descrito pelo ciclo de Otto. Nikolaus Augusto Otto, alemão, nascido em 1832, foi o primeiro engenheiro a conseguir construir um carro com um motor de funcionamento a quatro tempos. Ficou conhecido este funcionamento como o ciclo de Otto. Contudo, existe alguma polémica quanto a quem inicialmente desenvolveu este ciclo pois, acredita-se que Alphonse Beau de Rochas, engenheiro francês, já teria elaborado e patenteado este ciclo em 1861, no entanto nunca o conseguiu incorporar numa máquina elaboradora de força motriz. Para continuar a polémica já existente, há também provas que dois engenheiros italianos, Eugenio Barsanti e Felice Matteucci, no período entre 1854 a 1857 desenvolveram um motor com funcionamento muito similar, acredita-se que a patente deste motor italiano foi perdida. [6]



Figura 2 - Nikolaus Otto - engenheiro que deu o nome ao processo de funcionamento dos motores a quatro tempos [26]

Conhece-se Nikolaus A. Otto devido ao ciclo termodinâmico correspondente ao funcionamento a quatro tempos, o qual se denomina Ciclo de Otto que, apesar de ter sido descoberto no século XIX, ainda hoje é utilizado em maioria dos motores de alternativos.

2.1. Termodinâmica do Ciclo de Otto

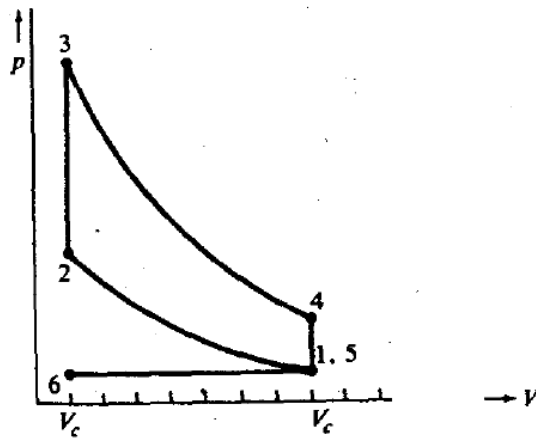


Figura 3 - Representação do ciclo de Otto no diagrama (p, v) [9]

O ciclo de Otto ideal representa-se graficamente da seguinte forma (Figura 3):

Sendo caracterizado pelos seguintes processos:

6 - 1: **Admissão isobárica** (pressão constante);

1 - 2: **Compressão isentrópica**, isto é, não há trocas de calor com a vizinhança;

2 - 3: **Combustão isocórica** (volume constante);

3 - 4: **Expansão isentrópica** - apenas é realizado trabalho necessário para a alimentação de todos os outros processos;

4 - 5: **Expansão isocórica** - abertura da válvula de escape, por onde se irá ceder o calor residual ao ambiente;

5 - 6: **Expansão isobárica** (pressão constante).

No entanto, o ciclo de Otto real, Figura 4, difere ligeiramente do ciclo ideal pois considera as perdas encontradas num motor de combustão interna de 4 tempos.

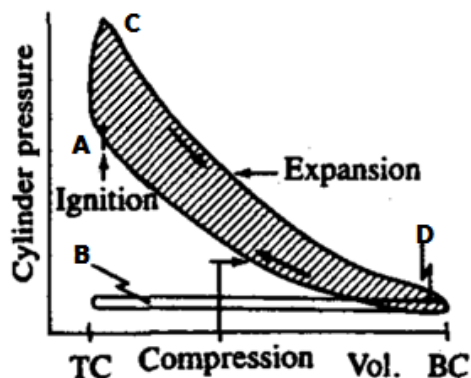


Figura 4 - Ciclo de Otto real [3]

2.2. COMPONENTES DE UM MOTOR

Para um melhor entendimento do funcionamento de um motor a quatro tempos, como o ensaiado neste trabalho, é importante uma breve introdução aos componentes base de um motor alternativo de ignição por faísca.

Os componentes principais de um motor podem dividir-se em três grupos:

- Componentes Fixos;
- Componentes Móveis;
- Componentes de Vedação;

Os componentes fixos englobam três elementos:

- **Bloco do motor** - consiste no alojamento principal dos componentes do motor. É o elemento estrutural do motor, no qual estão localizados e fixados vários dos componentes móveis (Figura 5, à esquerda). Por dentro do bloco existem condutas e orifícios por onde passam óleo lubrificante e líquido de refrigeração.

- **Cabeça do motor** - é fixada na parte superior do bloco, acima dos cilindros, abrigando os seguintes componentes:

- Válvulas (admissão e escape);
- Árvore de comando das válvulas (árvore de cames);
- Injectores (No caso de injeção electrónica);
- Velas de ignição;

É ainda o componente responsável pelo fluxo de gases através do motor. Nele são fixados os colectores de admissão e escape, situados opostamente na cabeça do motor. Na Figura 5, à direita, é apresentado um exemplo de uma cabeça do motor.

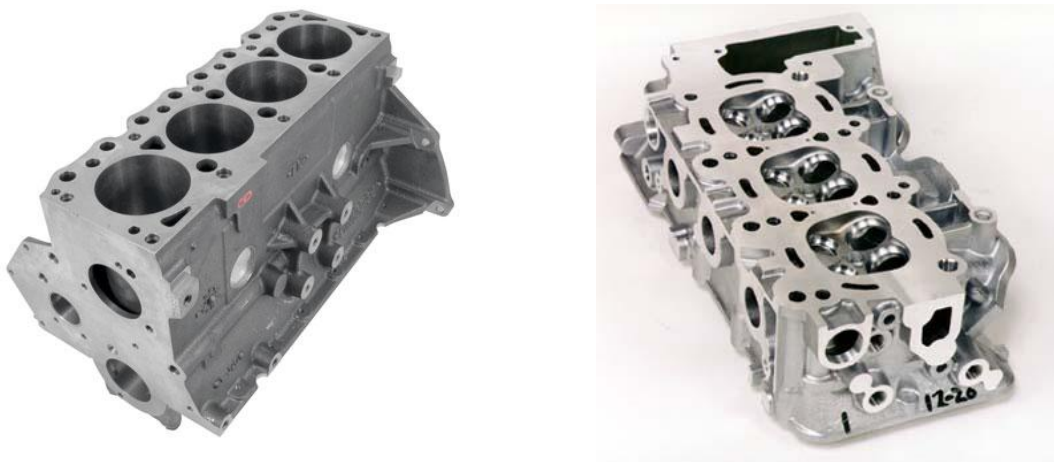


Figura 5 - Bloco do motor (à esquerda) e cabeça do motor (à direita) [19] [20]

- **Cárter** - consiste, simplesmente, no reservatório do óleo do motor, situando-se por baixo da cambota, lubrificando a mesma em cada rotação do motor (Figura 6).



Figura 6 - Cárter [21]

Os componentes móveis:

- **Êmbolos** - são componentes que se movimentam dentro dos cilindros do bloco do motor (Figura 7, à esquerda). Os êmbolos são as peças móveis mais sujeitas à variação de temperatura e devem resistir às altas pressões. São fabricados com materiais de liga de alumínio, para que resistam a estas condições. Possuem canais laterais, onde são colocados os anéis de compressão, raspagem e de lubrificação.
- **Cambota** - designação do componente do motor responsável pela transformação dos movimentos ascendente e descendente do êmbolo em rotação (Figura 7, à direita).



Figura 7 - Êmbolos (à esquerda) e cambota (à direita) [14] [15]

- **Bielas** - as bielas são responsáveis pela fixação do êmbolo à cambota. O conjunto cambota/biela é responsável pela transformação do movimento do êmbolo em rotação (Figura 8, à esquerda).

- **Volante do motor** - é o componente que armazena e fornece energia para o sistema, compensando o intervalo das explosões que ocorrem dentro do cilindro, de modo a estabilizar o funcionamento do motor (Figura 8, à direita).



Figura 8 - Biela (à esquerda) e volante do motor (à direita) [18]

- **Árvore de Cames** - através de uma correia de distribuição, de engrenagens, ou de correntes uma pequena porção do trabalho realizado pelo motor é gasto neste eixo, que controla a abertura das válvulas conforme a rotação do motor (Figura 9). O eixo possui ressaltos com o nome de cames que abrem ou fecham cada válvula, para cada válvula existe um came.



Figura 9 - Árvore de Cames [12]

- **Válvulas** - as válvulas são os componentes responsáveis pela entrada e saída da mistura Ar/Combustível e dos gases de escape, respectivamente (ver Figura 10, esquerda). Distinguem-se entre válvulas de escape e de admissão e abrem durante os períodos de escape e admissão, explicados no Capítulo 2.3.

- **Engrenagens** - são os componentes responsáveis por transmitir o movimento circular do volante do motor para qualquer outro componente (ver Figura 10, direita).



Figura 10 - válvulas (à esquerda) e engrenagens (à direita) [16] [17]

Tal como o nome indica, os componentes de vedação englobam as peças que asseguram vedar o motor, protegendo-o de fugas ou perdas de pressão:

- **Juntas** - servem para evitar perdas de pressão ou de fluidos existentes no motor, como óleo, combustível e água.
- **Anéis/Segmentos** - envolvendo o êmbolo evitam perdas de pressão dentro do cilindro.
- **Retentores** - Tal como o nome indica, têm o propósito de reter os fluidos do motor tal como óleo ou água.

2.3. FUNCIONAMENTO DE UM MOTOR A QUATRO TEMPOS

Introduzidos os componentes base de um motor, pode-se descrever com maior rigor o funcionamento de cada um dos quatro tempos que caracterizam o ciclo de Otto (ver Fig. 11).

1º Tempo - Admissão

Começa com o êmbolo dentro do cilindro na sua posição mais elevada, ou seja, o curso máximo que o êmbolo dentro do cilindro pode alcançar quando sobe, Ponto Morto Superior (PMS). Acaba quando o êmbolo se encontra na sua posição mais baixa, ou seja, o curso máximo que o êmbolo alcança durante a sua descida, Ponto Morto Inferior (PMI). Traduzindo-se este deslocamento do êmbolo, de PMS para PMI, em 180° de deslocamento no motor, ou seja, meia volta, e completando-se um tempo.

Durante este primeiro tempo, com a descida do êmbolo cria-se uma depressão dentro do cilindro. Esta depressão irá “puxar” a mistura Ar/Combustível que se encontra no colector de admissão. Para controlar a entrada da mistura recorre-se a uma válvula de admissão que será aberta teoricamente quando o êmbolo se encontra no PMS (na realidade a abertura da válvula de admissão ocorre ligeiramente antes do PMS). Uma vez aberta a válvula a mistura entrará no cilindro para igualar a diferença de pressão entre cilindro e colector de admissão criada pelo movimento descendente do êmbolo.

2º Tempo - Compressão

O segundo tempo começa com o êmbolo na sua posição inferior limite e dura até o êmbolo alcançar novamente o limite superior ou PMS. No final do primeiro tempo encontramos o cilindro cheio de mistura pronta a ser queimada. Uma vez que pretendemos aproveitar não a energia térmica da mistura mas sim a elevada pressão resultante da combustão do combustível, é fácil compreender que quanto mais comprimida estiver a mistura mais eficiente será a produção de trabalho no cilindro. Neste segundo tempo, o êmbolo sobe do ponto morto inferior para ponto morto superior, sendo este movimento assistido pelo momento gerado na cambota nos ciclos anteriores (para o caso de um motor mono cilíndrico) ou por um outro cilindro sincronizado de modo, a produzirem trabalho alternadamente (caso de um motor pluricilíndrico) e pela energia armazenada no volante do motor.

A subida do êmbolo irá empurrar a mistura para o topo do cilindro onde ambas as válvulas de escape e admissão se encontram fechadas. Uma vez alcançado o ponto morto superior e conseqüentemente a compressão máxima da mistura parte-se para o tempo seguinte tendo a cambota concluído 360 graus.

3º Tempo - Expansão

Começando o terceiro tempo, o êmbolo encontra-se no PMS e a mistura comprimida, é então accionada a faísca, através da vela, que irá incendiar a mistura. A combustão da mistura irá gerar calor e um grande aumento de pressão dentro do cilindro devido à expansão dos gases. Para “aliviar” a alta pressão e uma vez que as válvulas permanecem fechadas, o êmbolo será uma outra vez empurrado para a posição de ponto morto inferior concluindo-se o terceiro tempo. Pode considerar-se o terceiro tempo como o mais importante para o motor, pois é o único tempo em que se produz trabalho (força motriz e binário). No final do terceiro tempo a cambota deslocou-se 540 graus.

4º Tempo - Escape

Uma vez admitida, comprimida e queimada a mistura, falta apenas a expulsão da mesma de dentro do cilindro para que se possa começar um novo ciclo. Neste último tempo do ciclo de Otto, o cilindro encontra-se cheio de gases resultantes da combustão da mistura e o êmbolo encontra-se no PMI. O momento gerado na cambota pelo tempo anterior, em que se produziu trabalho, irá empurrar o êmbolo para cima. Também ligada à cambota está a válvula de escape que irá abrir durante todo este quarto tempo para que os gases resultantes da combustão ao serem empurrados pela subida do êmbolo saiam do cilindro para o colector de escape e posteriormente para a atmosfera. Ao final do 4º tempo a cambota completou duas voltas completas, sendo que só em meia volta houve produção de trabalho. O êmbolo ao final do quarto tempo encontra-se novamente no PMS pronto para uma nova admissão e ciclo seguinte.

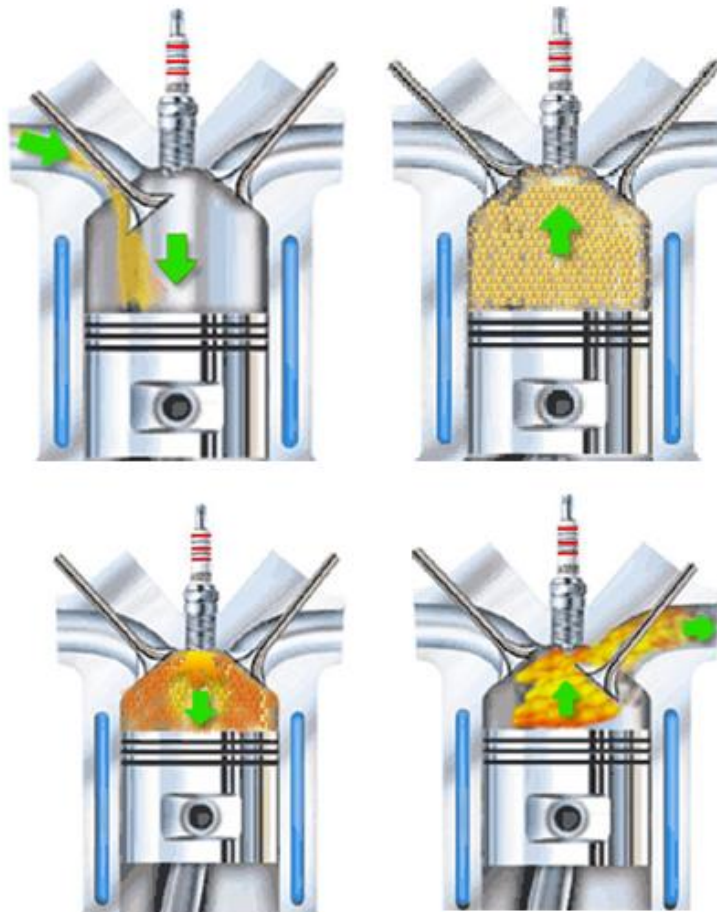


Figura 11 - Quatro tempos de funcionamento de um motor; admissão, esquerda em cima; compressão, direita em cima; explosão, esquerda em baixo; escape, direita em baixo. [6]

Uma vez, entendido o funcionamento de cada tempo dos motores de quatro tempos pode-se continuar a contextualização, explicando sucintamente os métodos de injeção que, permitem o enchimento do cilindro de combustível no segundo tempo, o qual será queimado no terceiro tempo, o único tempo em que se gera trabalho positivo.

2.4. MÉTODOS DE MISTURA

Os dois métodos de mistura mais utilizados em motores de combustão interna são o carburador e o sistema de injeção de combustível. A grande diferença entre estes dois métodos está no seu princípio de funcionamento, uma vez que o carburador mistura mecanicamente o combustível com o ar, enquanto a injeção pulveriza combustível, directamente para a câmara de combustão ou para o colector de admissão onde se efectua a mistura de ar com combustível, a injeção de combustível é assegurada por meio de um injector. Os sistemas de injeção podem ser mecânicos embora sejam, na grande maioria, electronicamente controlados.

2.4.1. MISTURA ATRAVÉS DE CARBURADOR

Quando o carburador é o componente responsável pela alimentação de um motor de explosão, a mistura de ar com combustível é conseguida através de diferenças de pressão. O procedimento de mistura num carburador é simples, uma vez que o ar, ao passar pela secção principal do carburador, perde pressão, pois esta secção ou venturi apresenta um diâmetro menor que a secção de entrada (convergente-divergente). A diminuição do diâmetro da secção obriga o ar que passa a acelerar, segundo a equação de Bernoulli, e esta aceleração por sua vez, traduz-se numa diminuição da pressão do ar. A esta secção está ligado um pequeno depósito, a cuba, onde se encontra o combustível vindo do depósito principal. Na cuba, o nível de combustível é mantido constante, por meio de uma bóia e válvula de agulha, ligeiramente semelhante ao mecanismo utilizado num autoclismo (ver Fig. 12).

A cuba encontra-se ligada à secção principal (onde o ar é acelerado e a pressão diminuída) por um pequeno orifício tapado por uma fina e leve agulha. Existe ainda uma entrada de ar na cuba, situada antes do venturi para proporcionar uma maior queda de pressão com o aumento do caudal de ar.

Deste modo, é possível encontrar num carburador uma pressão inferior na secção onde o ar é acelerado e uma pressão maior no depósito de combustível. Esta diferença de pressão irá vencer o peso da agulha que separa o combustível do ar e estes ir-se-ão misturar.

Para regular o funcionamento do carburador existe uma pequena peça chamada *slide*, que é uma válvula tipo guilhotina que ao descer ou subir diminui ou aumenta respectivamente o diâmetro do venturi, controlando a diminuição da pressão. A esta peça encontra-se ligada a pequena agulha, que cobre a entrada de combustível na corrente de ar. Com a subida do *slide* sobe também a agulha facilitando a entrada de combustível na conseqüente maior corrente de ar.

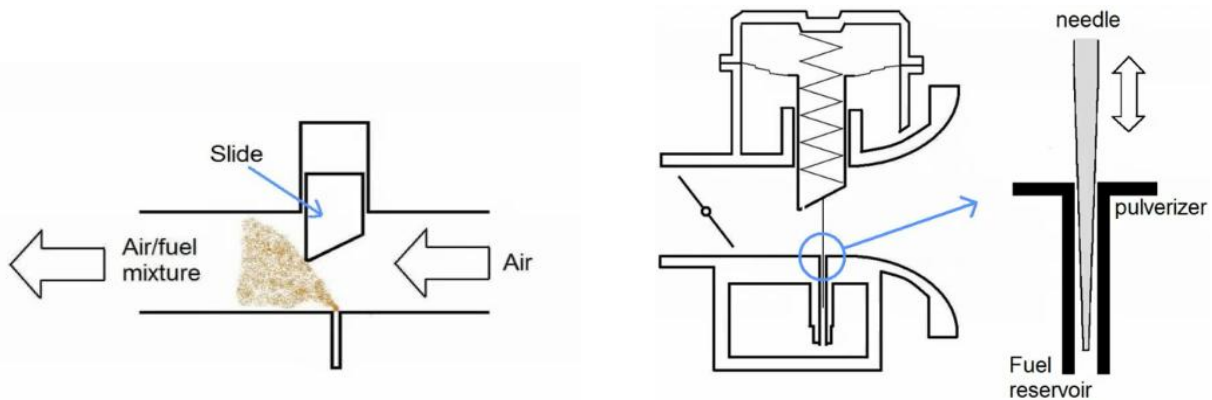


Figura 12 - Ilustrações explicativas do funcionamento de um carburador. [22]

Para controlar a quantidade de mistura que entra para o colector de admissão existe uma válvula tipo borboleta (*throttle valve*), que se encontra depois do venturi do carburador. Esta válvula, controlada pelo acelerador, quando completamente aberta permite a passagem da maior quantidade de mistura e quando completamente fechada não permite passagem, no entanto para que o motor não pare de funcionar, o prato da válvula ou borboleta apresenta um pequeno orifício que deixará passar mistura suficiente para manter o motor em funcionamento, situação de *ralenti* ou em inglês *idle* (ver Fig. 13).

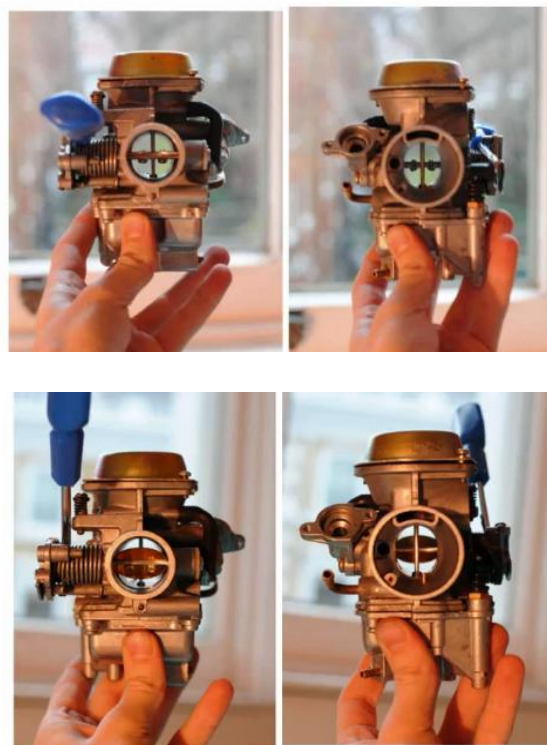


Figura 13 - Válvula Borboleta de um carburador [22]

2.4.1.1. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO CARBURADOR

As principais vantagens dos carburadores como método de injeção são o seu preço, confiança e adaptabilidade. Por possuir um funcionamento de certo modo simples, o carburador é uma peça barata e que raramente avaria, podendo ainda ser trocado ou utilizado noutra motor com praticamente nenhuma modificação.

Apesar de serem sistemas de mistura bastante fiáveis devido à sua natureza simples, também devido a esta apresentam algumas falhas e desvantagens quando empregues.

Os carburadores mesmo quando muito bem afinados apresentam grandes dificuldades em misturar o ar e combustível segundo a estequiometria, ou seja, aproximadamente 14,1 kg de ar para 1 kg de combustível (no caso da gasolina). Estas dificuldades devem-se a variações na densidade do ar, devido a variações de temperatura ou altitude, a que o carburador não se consegue adaptar correctamente.

2.4.2. MISTURA ATRAVÉS DE SISTEMAS DE INJEÇÃO

Os primeiros sistemas de injeção foram desenvolvidos na Alemanha, nos anos compreendidos entre a primeira e a segunda Guerras Mundiais, com o objectivo de aumentar a potência.

Os injectores funcionam com o auxílio de uma bomba de combustível, a qual mantém o combustível a pressão elevada. O injector comum, electronicamente activado, debita combustível conforme o sinal eléctrico que recebe, funcionando como uma “porta” que abre quando passa corrente e fecha quando a corrente pára (ver Fig. 14). Portanto um injector está constantemente a ser “ligado e desligado”, aberto e fechado. Os injectores, conforme a geometria da sua “porta” podem disparar sob a forma de *spray*, aproximadamente atomizada de fácil vaporização, ou sob a forma de jacto que pode ser apontado para uma zona quente, como a cabeça da válvula de admissão ajudando a evaporar a gasolina injectada.



Figura 14 - Injector de Combustível [13]

Após o aparecimento dos primeiros sistemas de injeção, em que o combustível era injectado directamente para a câmara de combustão (designada injeção directa), apareceram os sistemas de injeção indirecta onde o injector se encontrava junto da válvula de admissão em vez de dentro da câmara de combustão.

Independentemente do tipo de injeção (directa ou indirecta), para um motor de vários cilindros são necessários vários injectores, denominando-se este tipo de injeção como injeção multiponto (em inglês, MPI - *Multi Point Injection*), pois a injeção de combustível ocorre em mais que um lugar no motor (ver Fig. 15).

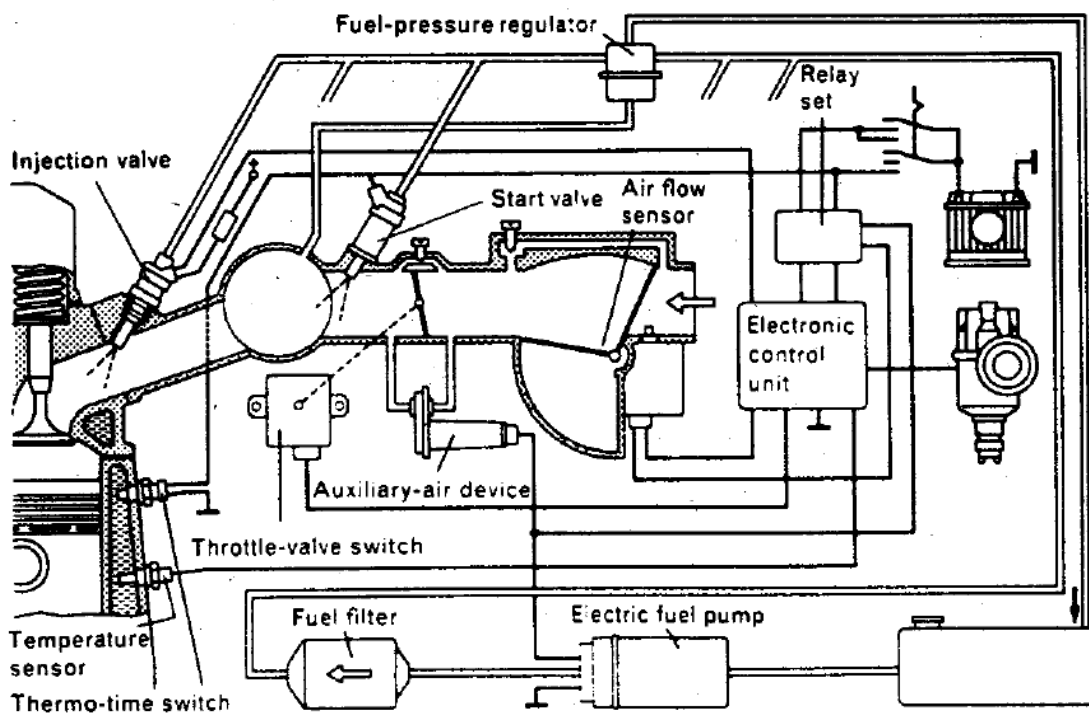


Figura 15 - Sistema de injeção de combustível Bosch L-Jetronic [3]

Inicialmente, para simplificar e diminuir o preço dos sistemas de injeção apareceram os sistemas de injeção monoponto (em inglês, SPI - *Single Point Injection* ou TBI - *Trottle Body Injection*), nos quais apenas um injector ocupa a função do carburador alimentando todos os cilindros do motor. Neste tipo de sistemas de injeção o injector encontra-se após uma válvula borboleta no início do colector de admissão, que controla a quantidade de ar que entra no colector de admissão conforme a posição do acelerador.

O princípio de funcionamento de qualquer sistema de injeção electrónica consiste na medição do caudal mássico de ar a entrar no colector de admissão e na injeção de gasolina proporcional ao caudal de ar.

A medição da massa do ar pode ser efectuada por um sensor que possui um prato que se desloca numa conduta de secção crescente. Na posição de repouso, ou seja, sem passagem de ar, o prato tapa completamente a entrada e com o caudal de ar crescente o prato vai-se deslocando na secção abrindo passagem para este. Este tipo de sensor é utilizado nos sistemas da Bosch *K-Jetronics*, em que o funcionamento é mecânico e nos sistemas Bosch *L-Jetronics*, nos quais o funcionamento é electrónico.

Outros sistemas de medição do caudal de ar, medem a velocidade de rotação do motor tal como a posição da borboleta do acelerador, ou recorrem à depressão num venturi para efectuar a leitura do caudal de ar. Estes sistemas baseiam-se na leitura do caudal volúmico do ar tendo este de ser convertido em caudal mássico, para tal é necessário saber a pressão do ar para se efectuar a conversão. Esta conversão é indispensável em motores sobre alimentados, ou motores sujeitos a variações da pressão atmosférica.

O caudal volúmico pode também ser medido por um sensor de pressão do ar (MAP - Manifold Air Pressure), que compara a depressão no colector com o vácuo utilizando um material piezoeléctrico que fornece uma tensão de saída proporcional à deformação do mesmo (ver Fig. 16 - à esquerda).

Em sistemas electrónicos mais recentes, a leitura do caudal mássico de ar é efectuada pelo método de “fio quente” (ver Fig. 16 - à direita). Neste método recorre-se a um fio metálico de dimensões reduzidas, que é mantido a uma temperatura fixa por meio de uma tensão eléctrica, consequentemente a passagem de ar irá arrefecer o fio, no qual será aumentada a tensão eléctrica para compensar a descida de temperatura causada pela passagem de ar, a fim de repor a temperatura originalmente fixada ou programada, esta variação na tensão é então convertida por um controlador electrónico num sinal interpretado como caudal de ar, sabendo-se assim quanto combustível deve ser injectado. Uma vez lida a quantidade de ar e calculada a quantidade de combustível é então emitido um sinal eléctrico para os injectores que debitaram a determinada quantidade de combustível.

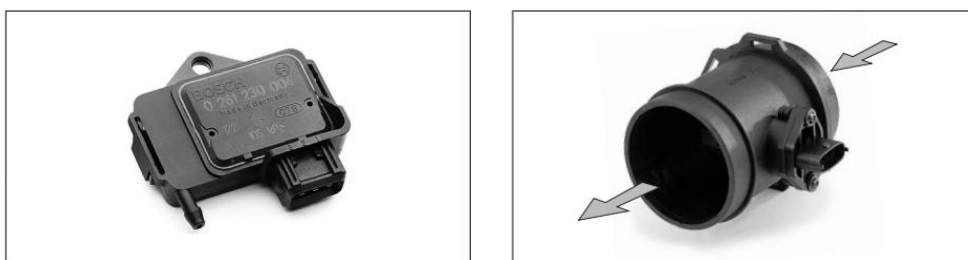


Figura 16 - Sensor MAP para leitura da pressão no colector de admissão, à esquerda; Sensor MAF, incorpora a tecnologia de fio quente para leitura do caudal mássico de ar no colector de admissão, à direita. [7] [8]

2.4.2.1. VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS SISTEMAS DE INJEÇÃO

Em virtude do aumento de potência, os sistemas de injeção electrónica permitem injectar combustível directamente para a câmara de combustão, descartando o uso do carburador. Sem carburador desaparece o problema do combustível não vaporizado e passa a poder controlar-se melhor a quantidade de combustível que entra no motor. O facto de se inserir o combustível depois do colector de admissão, permite que o colector de admissão possa ser dotado de uma geometria que acentue os efeitos de ressonância, *ram pipes*, que melhoram a entrada e passagem de ar até a câmara de combustão e permitem uma maior taxa de compressão sem problemas de sobre aquecimento pois o combustível injectado arrefece a mistura. Ou seja, o resultado final seria mais ar, mais combustível, mais pressão, mais eficiência e mais potência.

A razão pela qual os sistemas de injeção não vieram a dominar por completo o mercado dos métodos de injeção, advém da sua extrema complexidade e custo. Deste modo, actualmente, os motores pequenos e baratos como o utilizado neste trabalho são geralmente manufacturados de origem com a admissão assistida por um carburador.

2.4.3. MÉTODOS DE IGNIÇÃO

Após a introdução dos métodos de injeção mais utilizados pode-se introduzir os métodos de ignição da mistura.

O motor escolhido para a elaboração do presente estudo apresenta uma ignição por faísca, pelo que, recorrerá a uma vela de ignição.

A vela de ignição encarrega-se de criar uma pequena faísca que irá incendiar a mistura de ar e combustível que se encontra dentro do cilindro. A faísca criada é fruto de uma elevada tensão que é conduzida para a vela.

O correcto funcionamento da vela de ignição é crucial para o bom desempenho do motor, uma vez que, dela dependem o tempo da faísca e a sua potência, os quais se encontram directamente relacionados com a queima da mistura, que por sua vez, irá ser determinante no rendimento do motor, emissões e consumos.

A vela de ignição comum apresenta as características e constituintes indicados na Figura 17.

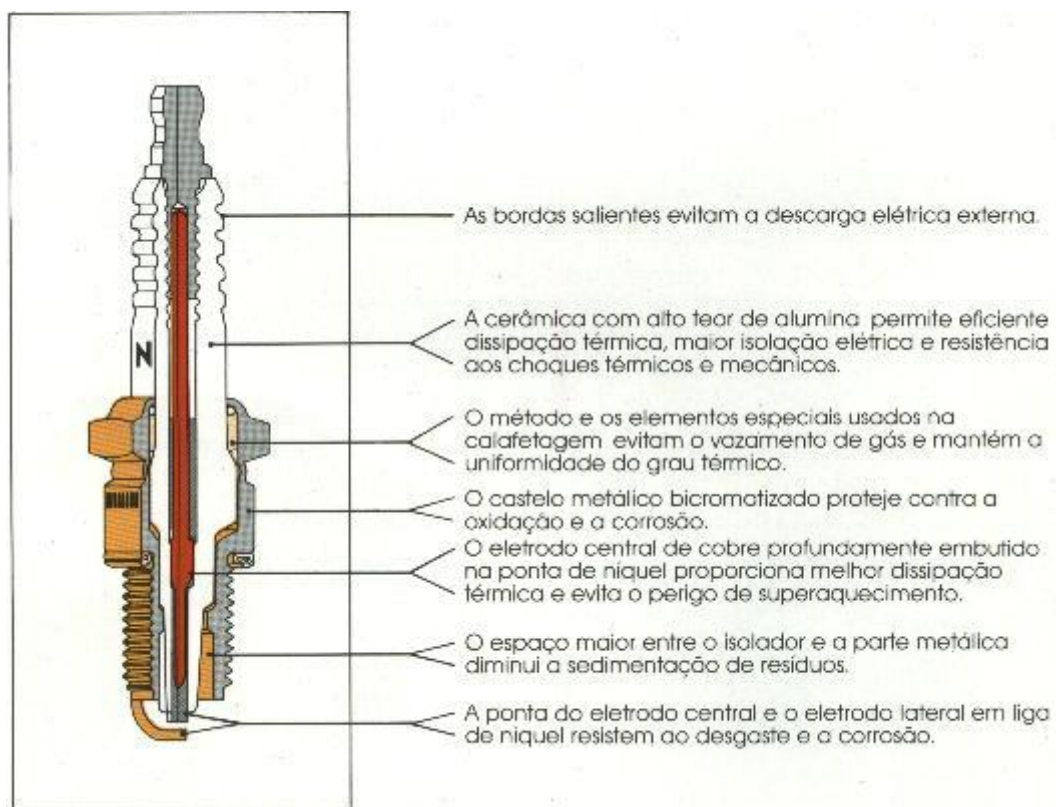


Figura 17 - Vela de ignição e respectivos constituintes [10]

A vela de ignição encontra-se parcialmente dentro da câmara de combustão, permitindo que o calor gerado pela queima da mistura actue directamente na vela. Por esta razão, a vela de ignição é constituída por materiais de elevada condutividade térmica, para dissipar o elevado calor gerado na combustão do combustível. Porém, é necessário salientar que o sistema de refrigeração do motor, como o nome indica, se encarregará de dissipar parte do calor gerado na combustão.

Para diferentes tipos de motores existem vários tipos distintos de velas, indo do tipo quente ao tipo frio, como demonstrado na Figura 18.

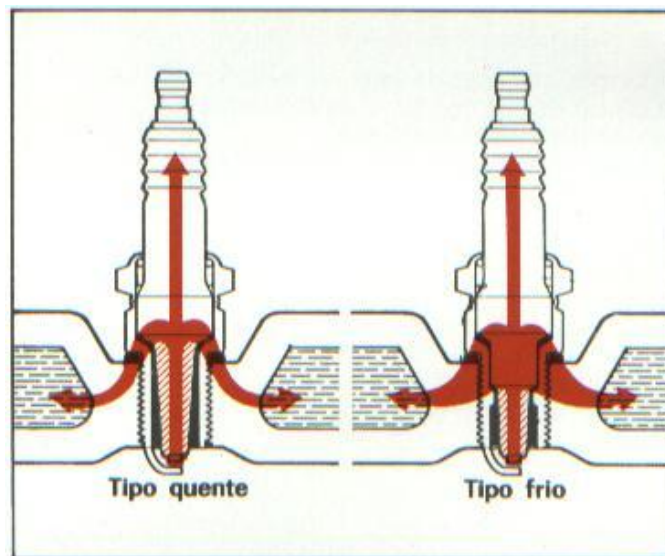


Figura 18 - Tipos de velas de ignição [10]

Da observação da Figura 18, é possível notar que as velas tipo quente apresentam uma maior zona de dissipação de calor, mantendo a ponta do isolador a uma temperatura mais elevada. Esta temperatura elevada será utilizada para queimar possíveis depósitos de carvão que se possam formar quando o motor se encontra a regimes baixos.

As velas de tipo frio, conseqüentemente, irão apresentar um curso de dissipação menor sendo a dissipação de calor mais rápida. Contudo, a temperatura de funcionamento da vela é ainda suficientemente alta para eliminar possíveis depósitos de carvão, em regimes baixos. As velas de tipo frio são mais indicadas para regimes altos.

A nomenclatura utilizada nas velas de ignição NGK para indicação do seu grau térmico (tipo quente, tipo frio) é indicada na Fig. 19.



Figura 19 - Nomenclatura utilizada nas velas de ignição NGK [10]

Da nomenclatura apresentada na Figura 19, o número central indica o tipo de vela, sendo um valor mais alto respectivo a uma vela tipo frio, enquanto, um número mais baixo corresponde a uma vela tipo quente.

A gama de temperaturas adequadas para o funcionamento da vela de ignição, seja o combustível gasolina, álcool ou gás, encontra-se no intervalo entre os 450°C e os 850°C para condições normais. Posto isto, a escolha da vela de ignição deve atender a este intervalo de modo a que, a baixos regimes a temperatura da vela ultrapasse ligeiramente os 450°C, temperatura de auto limpeza, e a regimes altos a temperatura da vela não ultrapasse os 850°C. A determinação da vela de ignição mais apropriada para cada motor é conseguida através de uma vela termométrica que, através do termo-par *alumel-chromel* soldado na ponta do eléctrodo central, permite determinar a temperatura nos diferentes regimes do motor. (Figura 20)

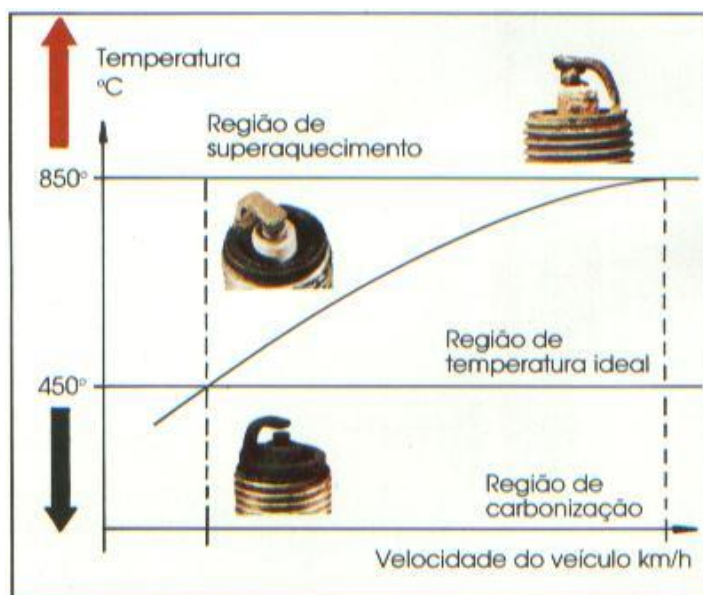


Figura 20 - Gráfico ilustrativo das diferentes regiões de funcionamento de uma vela de ignição comum [10]

Introduzidas as velas de ignição, resta apresentar o conceito de sistema de ignição. Ao sistema de ignição compete a tarefa de fornecer alta tensão à vela de ignição, para esta produzir a faísca que incendiará a mistura.

Existem diversos tipos de sistemas de ignição. Começando por descrever o **Sistema de Ignição Convencional**. Neste sistema, a alta tensão é conseguida através do trabalho conjunto da bateria e de uma bobina.

Na Figura 21, é possível observar que a bobina é dotada de dois enrolamentos, o primário e o secundário. Da bateria, é passada corrente para o primário da bobina, no entanto, esta corrente não é ainda suficiente para produzir a faísca (apenas 12 Volts). O enrolamento secundário

permite então intensificar a tensão. Quando a corrente da bateria atravessa o primário da bobina gera-se um campo magnético, quando o platinado corta a corrente, interrompe também o campo magnético provocando uma alta voltagem no secundário da bobina. O secundário da bobina encontra-se ligado ao distribuidor, no caso de múltiplas velas, que por sua vez, passa esta alta tensão para a vela.

Este tipo de sistema de ignição apresenta algumas desvantagens. Com o aumento da rotação do motor o tempo em que o circuito se encontra “fechado” é menor logo, o campo magnético criado é de menor intensidade e por consequência a tensão debitada para o distribuidor pelo secundário da bobina é menor.

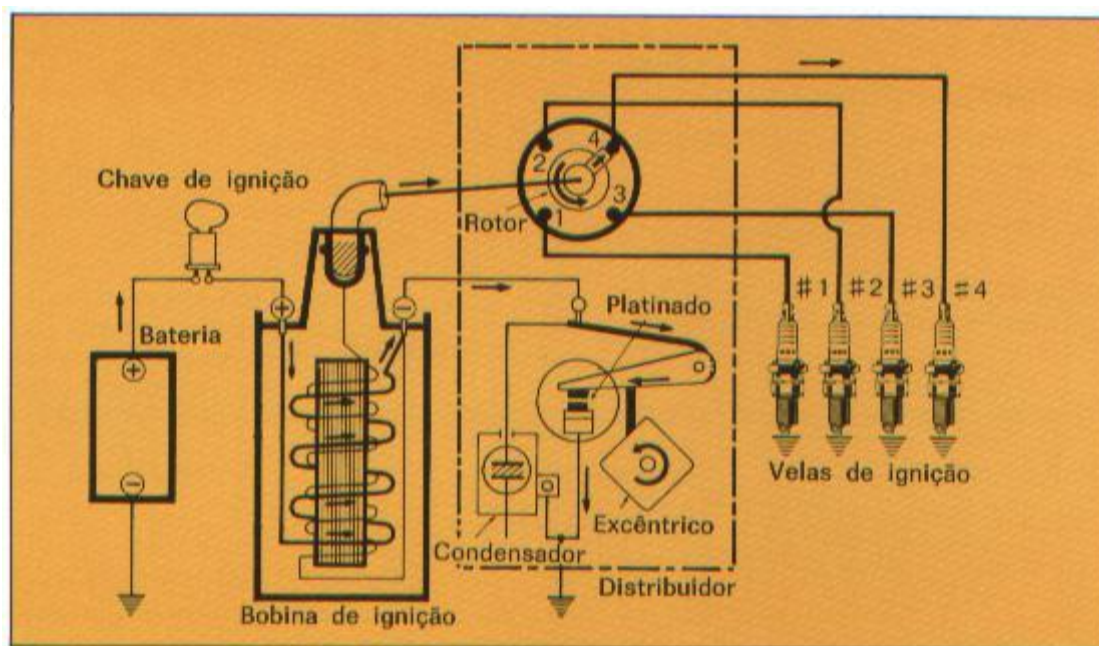


Figura 21 - Sistema de Ignição Convencional [10]

Outro tipo de sistema de ignição conhecido é o **Sistema de Ignição por Magneto** (ver Fig. 22). Este sistema de ignição é largamente utilizado em motores de pequeno porte, como o Honda GX25, pois não requer uma bateria para produção da faísca.

Um sistema de ignição por magneto funciona, basicamente, como um gerador elétrico, no entanto, em vez de ser produzida corrente contínua é produzido um pulso de alta tensão que será utilizado pela vela de ignição para realizar a faísca.

O princípio de funcionamento deste sistema de ignição é bastante simples: um ou vários ímãs, movidos pelo motor, rodam de modo a produzir um fluxo magnético variável, ou seja, formando um fluxo alternado que passando pela armadura irá criar uma corrente elétrica na bobina, mais especificamente no primário da bobina. Quanto mais rapidamente se movem os ímãs maior é o fluxo logo maior é a corrente gerada no primário. No primário a voltagem pode atingir 200 Volt, o que não é suficiente para incendiar a mistura e, para amplificar esta tensão, existe dentro da

bobina o secundário, com cerca de 100 vezes mais espiras que o primário, sendo então capaz de tensões na ordem dos 20 mil volts. A tensão produzida no secundário já é suficiente para fazer saltar a faísca. Contudo, para passar a tensão do primário para o secundário é necessário interromper o circuito no primário no momento exacto. Isto é feito através de um interruptor, accionado pela rotação do motor e constituído por disjuntores de contacto ou um transístor que, em paralelo com um condensador, interrompem o circuito primário sem que se produza uma faísca nessa interrupção mas sim na vela. Para que isto se verifique, o condensador é o componente essencial, pois este carrega enquanto se interrompe o circuito primário descarregando quando o circuito se encontra novamente fechado.

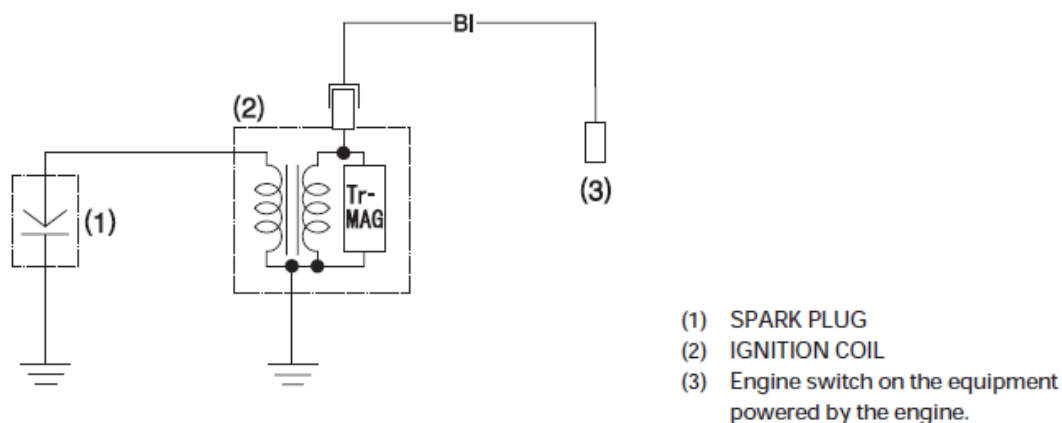


Figura 22 - Diagrama do sistema de ignição por magneto do motor Honda GX25 [2]

O sistema de ignição mais utilizado actualmente denomina-se **Ignição de Descarga Capacitiva, CDI**, e foi desenvolvido visando a melhoria da ignição de motores multi cilíndricos. Como qualquer outra evolução da indústria automóvel, foi primeiramente implementada em veículos de competição.

A principal inovação deste sistema de ignição compreende-se no facto da energia para gerar a faísca ser armazenada no campo eléctrico de um condensador, logo o nome “Descarga Capacitiva”.

Este sistema de ignição recorre ao uso de uma bateria para gerar a faísca. No entanto, a bateria comum disponibiliza apenas 12 Volts. Através de um circuito inversor, ou seja simplificando, dois transístores em contra fase, desligando e ligando a altas velocidades (entre 500 a 5000 vezes por segundo), conseguem uma tensão na ordem dos 6000 Volts. Esta tensão será utilizada para carregar o ou os condensadores.

A tensão armazenada no ou nos condensadores será, numa segunda fase, passada para o primário da bobina de ignição que, por sua vez, o passará para o secundário, do qual a corrente passará para o distribuidor para chegar à vela e produzir a faísca. O que distingue este tipo de sistema de ignição é a grande velocidade de descarga conseguida através do uso de condensadores.

3. MOTOR E CONTROLADOR ELECTRÓNICO

3.1. MOTOR HONDA GX25 - CARACTERÍSTICAS

O motor escolhido para o trabalho em questão foi o Honda GX25 (ver Fig. 23), uma pequena introdução a este motor alternativo de ignição por faísca já foi feita no Capítulo 1, Introdução. Uma vez que os conceitos fundamentais sobre o funcionamento de motores deste tipo também já se encontram esclarecidos, pretende-se no presente subcapítulo apresentar uma descrição mais aprofundada do motor utilizado.

O Honda GX25 é um motor alternativo de ignição por faísca, sem sistema de arrefecimento (isto é, arrefecido com o ar envolvente). Apresenta um funcionamento de 4 tempos, cujo funcionamento já foi mencionado no Capítulo 2.3. As válvulas são accionadas segundo um sistema OHC (*OverheadCamshaft*). [2]



Figura 23 - Motor Honda GX25 [11]

O Honda GX25 tem um diâmetro de 35 mm e um curso de 26 mm que resultam num volume de 25 cm³, aproximadamente. A potência debitada por este pequeno motor é de aproximadamente 1 HP ou 0,72 KW, e é registada a um regime de 7000 RPM. O binário máximo acontece a 5000 RPM e é de aproximadamente 1 Nm. [2]

A razão de compressão é de 8,0:1. A mistura do ar com a gasolina é realizada por um carburador e a ignição é desenvolvida através de um magneto, (Sistema de ignição por Magneto, introduzido no Capítulo 0). O método de arranque é manual como se consegue notar na Figura 23. O Honda GX25 utiliza gasolina comum e possui um depósito de 0,58 Litros. O peso do Honda GX25 é de 2.7 kg, sem óleo ou combustível. [2]

As válvulas de escape de admissão do Honda GX25 são comandadas por um sistema OHC (*Overhead Camshaft*), o qual controla a abertura e fecho das válvulas da cabeça do motor, assim como a sua permanência em cada uma das posições. A Figura 24 proporciona um simples e rápido entendimento do funcionamento deste sistema.

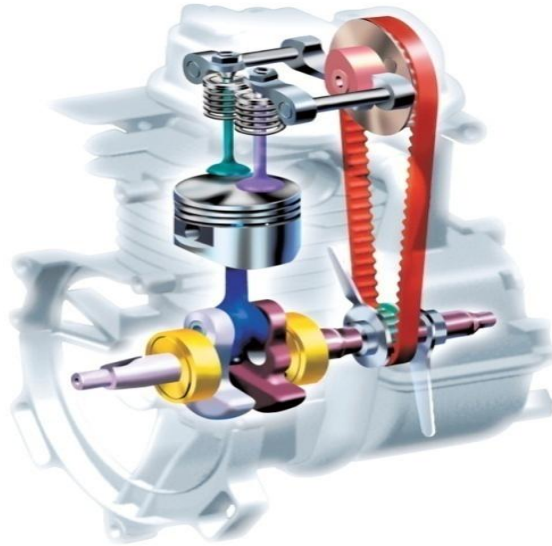


Figura 24 - Esquema ilustrativo do sistema OHC (*Overhead Camshaft*)[1]

O comando das válvulas é realizado indirectamente pela cambota que, através de uma correia de transmissão de borracha, permite mover um disco com uma geometria específica de modo a accionar as válvulas de acordo com os tempos do motor.

Na Figura 25 apresenta-se um exemplo de uma cambota do motor Honda GX25. É possível distinguir o êmbolo, ligado à cambota através de uma biela. É de notar que a pequena roda dentada visível na extremidade da cambota é a responsável pelo movimento da correia de transmissão, a qual participa no controlo das válvulas.



Figura 25 - Cambota, êmbolo e biela do motor Honda GX25 [1]

As pequenas pás fixas na roda dentada ajudam na circulação de óleo que cobre os componentes móveis do motor observáveis na Figura 25.

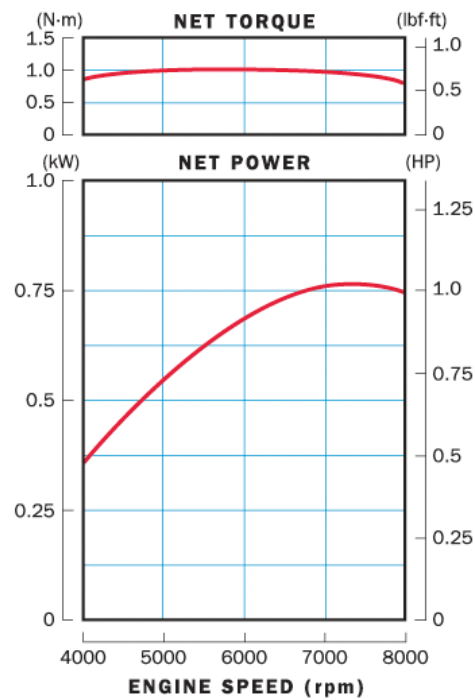


Figura 26 - Curva de Binário e Curva de Potência respectivas ao Honda GX25 [1]

Na Figura 26 são apresentadas as curvas de potência e de binário do GX 25 em função da velocidade de rotação do motor, segundo o fabricante.

Como consta no gráfico da Figura 26, o binário máximo é encontrado às 5000 RPM e prolonga-se quase até as 7000 RPM. A potência máxima é produzida entre às 7000 RPM e encontra um valor máximo de pouco acima de 1 HP. [2]

Seguidamente, a *Honda Engines* disponibiliza o seguinte gráfico de barras em que é comparado o consumo de um típico motor a dois tempos com o consumo do Honda GX25 (Figura 27).

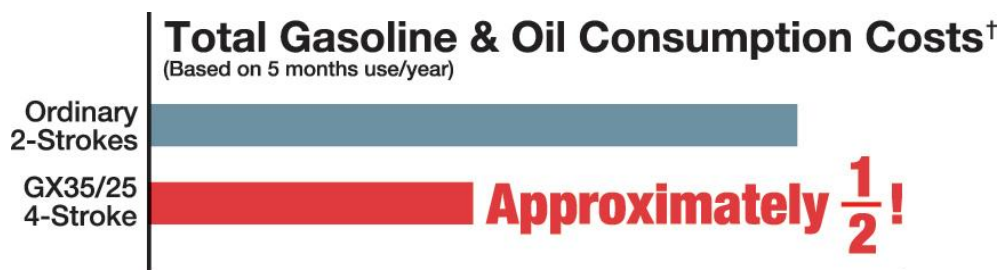


Figura 27 - Gráfico de Barras comparando o consumo de um motor Honda GX25/35 com o consumo de um motor comum de funcionamento a 2 tempos. [1]

A comparação, evidente no gráfico da Figura 27, faz-se entre o Honda GX25 ou Honda GX35, com funcionamento a 4 tempos, e um motor comum com o funcionamento a 2 tempos. Esta comparação é disponibilizada pela *Honda Engines* [1], pois as utilizações típicas do Honda GX25 são também desempenhadas por motores de pequeno porte de 2 tempos. No entanto, é notável a diferença de consumos entre ambos, sendo portanto o Honda GX25 uma melhor e mais económica escolha. Segundo o manual do motor [2], o consumo específico do Honda GX25 é de 340g/kWh.

Como mencionado no Capítulo 0, no presente trabalho prático pretende-se proporcionar um melhor desempenho do Honda GX25, prevendo-se portanto uma melhoraria no gráfico da Figura 26 e um menor consumo.

Para alcançar as melhorias pretendidas o Honda GX25 será dotado de uma centralina. Resumidamente, uma centralina é simplesmente um pequeno processador com a capacidade de armazenar dados, e que apresenta como principal função o controlo electrónico do funcionamento do motor, permitindo desse modo um funcionamento mais eficaz. O subcapítulo 3.2 explica com maior detalhe em que consiste uma centralina e qual o seu princípio de funcionamento.

3.2. CENTRALINA - DESCRIÇÃO E FUNCIONAMENTO

A centralina é um dispositivo electrónico que permite controlar diversos dispositivos (mecânicos e eléctricos) do motor. Actualmente, a maioria dos automóveis possui um motor controlado por uma ou mais centralinas.

3.2.1. DESCRIÇÃO DA CENTRALINA

Para ser possível o controlo electrónico do motor, pela centralina, é necessário que sejam disponibilizadas diversas informações sobre o funcionamento do motor, tais como a temperatura do motor, a temperatura do ar, a posição do acelerador e o caudal de ar no colectador de admissão, entre outras. Estas informações sobre o funcionamento do motor são transmitidas até à centralina através de sensores que, por norma, emitem uma tensão variável consoante o estado em que se encontra o que pretendem medir. Por outras palavras, a centralina através de várias tensões disponibilizadas pelos sensores reúne dados suficientes para saber quanto combustível deve ser injectado e quando deverá saltar a faísca na vela (ignição).

Para a realização do trabalho experimental em questão, a centralina utilizada foi uma *MegaSquirt II*, adquirida *on-line* através do site www.extraEFI.co.uk (Figura 28).



Figura 28 - Centralina *MegaSquirt MS II* distribuída por *ExtraEFI* [foto tirada pelo autor]

De acordo com informações do fornecedor [24], qualquer uma das centralinas comercializadas apresenta quatro características principais:

- 1- **Processador** - conforme o produto adquirido pode ser de 8MHz ou de 24MHz (a MSII é de 24 MHz)
- 2- **MegaSquirt Main Board (Placa mãe)** - placas que se responsabilizam por incluir os componentes necessários para o funcionamento da centralina e permitir a compatibilidade entre os diferentes fabricantes. Podem, deste modo, variar em tamanho e fabricante.
- 3- **Embedded Code or Firmware** - código carregado para a placa mãe e que deve ser escolhido de acordo com o processador em uso.
- 4- **Tuning Software** - o software que permite a ligação entre um computador e o controlador permitindo o manuseamento e alteração das diversas opções que qualquer um dos controladores comercializados pela *MegaSquirt* possui.

Na Figura 29 é apresentado o esquema do funcionamento de um sistema de controlo electrónico comandado pela centralina *MegaSquirt II* no qual é possível identificar as quatro principais características descritas.

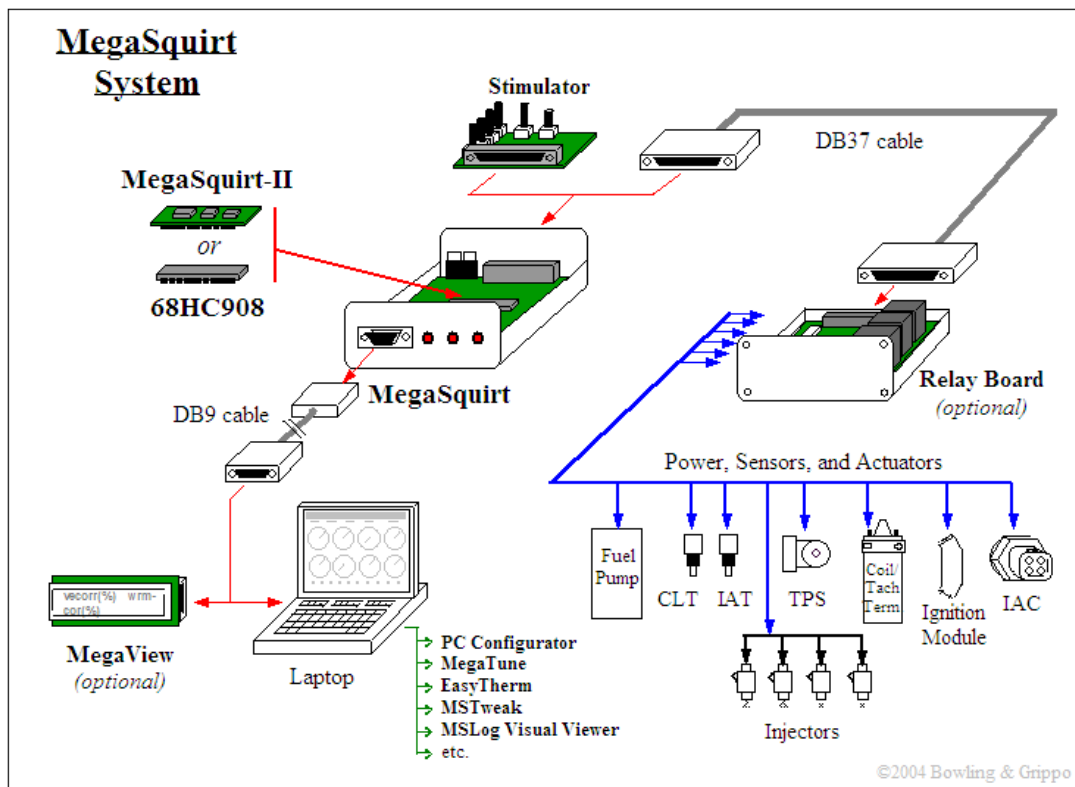


Figura 29 - Esquema ilustrativo das ligações entra uma centralina *MegaSquirt*, um computador portátil para configuração da centralina e os sensores e componentes que a centralina controla. [23]

De notar, que no esquema da Figura 29 o controlador (ou centralina) apresenta a hipótese de ser conectado a um circuito simulador. Este simulador é um circuito desenvolvido também pela *MegaSquirt* e cumpre o objectivo de duplicar os sinais que seriam recebidos pela centralina se montada no motor de um carro, por exemplo. É portanto, um circuito de simulação que intenta o aumento da experiência do consumidor no manuseamento do *Tuning Software* e melhor compreensão do funcionamento de uma centralina *MegaSquirt*. Serve também para testar o funcionamento da centralina.

3.2.2. FUNCIONAMENTO DA CENTRALINA

O *hardware* da centralina é composto por (ver Figura 30):

- Um processador (CPU), que se encarrega dos processos de cálculo.
- Um porto série (*Serial Communications port*), que permite a ligação entre o *Tuning Software* e o controlador, possibilitando a leitura e escrita de parâmetros no controlador.
- Fonte de alimentação, responsável por manter uma constante tensão de 5 Volts que alimentará os outros componentes do *hardware*.
- Diversos circuitos de condicionamento da entrada (*input*), como condensadores, resistências e diodos. Incluindo ainda um sensor MAP MPX4250, e um isolante para o sinal da ignição.
- Diversas saídas para controlar injectores e os LEDs presentes na caixa que protege a placa mãe do controlador.

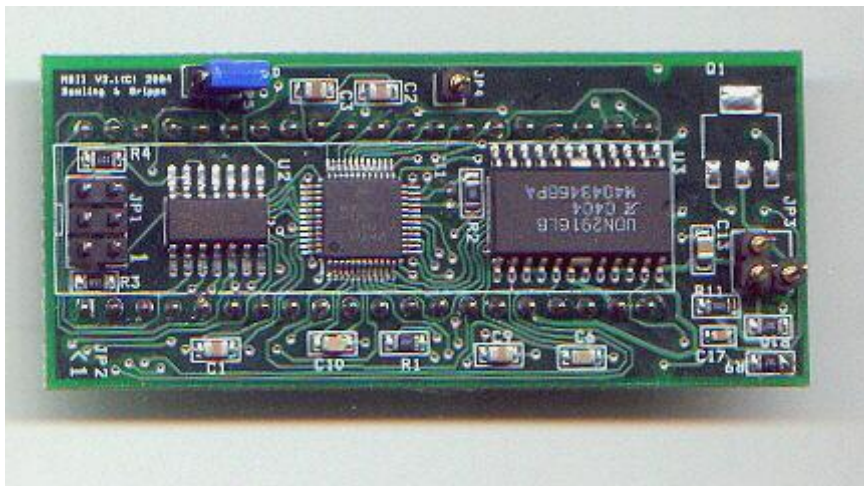


Figura 30 - Centralina ou controlador *MegaSquirt MS-II* sem a caixa. [23]

O processador é controlado por um software embestado gravado na memória não volátil do processador (tipo de memória que não se perde quando se desliga a alimentação). Outra parte da memória do processador encontra-se gravada na BIOS, que cumpre a função de traduzir e guardar novas versões do software embestado que venham a ser carregadas através do porto série.

O software embestado utiliza um algoritmo que analisa os sinais de entrada (*inputs*) e calcula os sinais de saída (*outputs*). Os sinais de entrada são tensões eléctricas, do tipo *On/Off* ou de tensão variável, como por exemplo um sensor de temperatura que altera a tensão de emissão conforme as variações na temperatura.

O processador lê um sinal de 5 volts como sendo o *On*, ou *True*, e um sinal de 0 volts como *Off*, ou *False*. Existem, no entanto, no processador, pinos *pull up* os quais consideram *On* um sinal *not grounded*, de tensão maior que zero, e consideram *Off* um sinal *grounded*, tensão 0 V.

As saídas também possuem dois estados, *On* e *Off*, que são controlados por um bit que pode assumir os valores 1 e 0 respectivamente. Quando o valor do bit é 1, a saída encontra-se *On*, uma pequena carga eléctrica é registada na saída. Esta carga apresenta um valor muito reduzido, tanto que necessita de ser amplificada para que possa ser transmitida ao componente que controla. Para desligar o componente o valor do bit passa a 0, a pequena carga é anulada e a tensão que alcança o componente é aproximadamente zero. No entanto, é necessário salientar que os referidos componentes por vezes apresentam uma alimentação externa, sendo que neste caso o sinal de saída proveniente da centralina funciona apenas como um interruptor.

Os controladores *MegaSquirt* permitem um controlo do combustível injectado mas para calcular a quantidade de combustível a injectar é necessário ter em conta diversos factores que influenciam os cálculos realizados pelo processador.

Um dos factores de maior influência é a Lei dos Gases Perfeitos, que oferece uma relação entre a quantidade de ar, a sua pressão, volume e temperatura. Esta lei é utilizada no software embebido.

Os outros factores que influenciam o cálculo do combustível são externos ao código da centralina, ou seja, apesar de entrarem nos cálculos e logo estarem embutidos no código, são valores medidos por sensores, e referem-se ao funcionamento do motor. São por exemplo, o valor da pressão no colectador de admissão, temperatura do motor e do ar a entrar no motor, as rotações por minuto, entre outros.

Os parâmetros de calibração, disponíveis e ajustáveis através de *Tuning Software*, afectam também os cálculos. Estes parâmetros são por exemplo, o tempo de abertura do injector e o combustível necessário, entre outros.

Todos estes factores e parâmetros são analisados e utilizados pela centralina para determinar o Pulso de Injecção (*Fuel Pulse Width*) que será maior para mais combustível injectado e menor para a injecção de menos combustível.

A matemática primária que permite o cálculo do valor do Pulso de Injecção baseia-se inicialmente na Lei dos Gases Perfeitos (*embedded software*).

A equação representativa da Lei dos Gases Perfeitos é:

$$PV = nRT \quad (3.1)$$

Onde:

P - Pressão

V - Volume

n - número de moles (que está relacionado com a massa do gás, $1 \text{ mol} = 6.023 \times 10^{23}$ moléculas de gás, n é então a relação entre a massa, gramas, e a massa molar, MM)

R - Constante universal dos gases perfeitos

T - Temperatura Absoluta

A Lei dos Gases Perfeitos encontra-se relacionada com o funcionamento de uma centralina e de um sistema de injeção electrónico no âmbito que é a partir da mesma que se consegue calcular a massa de ar que entra para o colector de admissão. Sensores colocados no colector de admissão informam sobre os valores de pressão e temperatura do ar (a temperatura tem de ser expressa em Kelvin, logo ao valor da mesma em graus Célsius tem de ser acrescido de 273).

A eficiência volumétrica, valor expresso em percentagem, relaciona a pressão dentro do cilindro com a pressão no colector de admissão. E uma vez sabendo o volume do curso do motor é então possível calcular a massa de ar dentro do cilindro.

Deste modo, pode desenvolver-se a partir da equação da Lei dos Gases Perfeitos, o cálculo da Massa de Ar (M):

$$PV = nRT(=)n = \frac{PV}{RT} \quad (3.2)$$

$$M = n \times MM(=)M = \frac{PV}{RT} \times MM \quad (3.3a)$$

$$M = \frac{VE \times MAP \times CYL_DISP}{R \times (IAT + 273)} \times MM_{air} \quad (3.3b)$$

Onde:

$$P = VE \times MAP \quad (\text{pressão no cilindro, em KPa})$$

MAP – Pressão no colector de admissão, em KPa

VE – Eficiência Volumétrica

$$V = CYL_DISP \quad (\text{volume do curso do motor, em Litros})$$

$$R = 8.3143510 \text{ J / molK}$$

$$T = IAT + 273^\circ \quad (\text{conversão da temperatura de Celcius para Kelvin})$$

IAT – Intake Air Temperature, em graus Celcius

$$MM_{air} = 28.97 \text{ g/mol (Massa molar do Ar)}$$

$$M = \text{Massa de Ar}$$

Os valores das constantes **R** e MM_{air} podem ser combinados e incluídos no software embebido e desprezados nas equações.

Através do sensor **MAP** e do sensor **IAT**, assim como os valores de **VE**, provenientes do *tuning software* (podem ser alterados no *tuning software* através de um computador ligado ao controlador) conseguimos encontrar o valor da massa de ar (**M**) que está a entrar no colector de admissão. Multiplicando o valor da massa de ar por 14,7 (razão ar/combustível), aproximadamente, encontramos o valor da massa de combustível a injectar para que a combustão seja estequiométrica, ou seja todo o oxigénio do ar admitido é utilizado na combustão de todo o combustível injectado.

No Capítulo 2.4.2, introduziu-se brevemente o componente responsável pela injeção do combustível, o injector. O manual disponibilizado pela *MegaSquirt*[23] apresenta informações adicionais relativas ao funcionamento de um injector quando incorporado num sistema de injeção controlado por uma centralina *MegaSquirt*.

Como representado na Figura 31, o injector é alimentado por uma tensão de 12 Volt que opera o solenóide, abrindo a válvula na ponta inferior do injector. O injector é activado e desactivado pelo controlador *MegaSquirt*, sendo este controlo obtido através de interrupções na massa do injector. Como se regista na Figura 31 a massa do injector é ligada ao controlador.

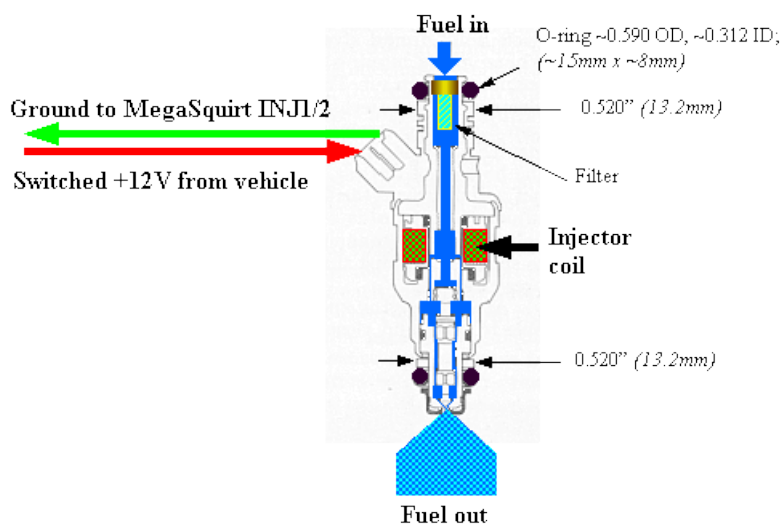


Figura 31 - Esquema Representativo do funcionamento de um injector quando controlado por uma centralina *MegaSquirt*. [23]

O controlador acciona o injector quando se lhe permite a ligação à massa e interrompe a injeção desligando a ligação à massa. Isto quer dizer, que o injector está constantemente alimentado por uma tensão de 12 Volts sendo a ligação com à massa intervalada para controlo do injector. De notar que alguns injectores, os denominados de baixa impedância, necessitam de

limitadores de corrente para evitar sobre aquecimento. O injector utilizado neste trabalho não requer limitador de corrente.

Devido ao método de abertura e fecho da válvula do injector e da pressão a que se encontra o combustível injectado, um injector apresenta apenas dois estados de funcionamento, aberto ou fechado (a abertura e fecho da válvula, que controla a injeção, consideram-se quase instantâneos atendendo a que são aproximadamente apenas um milissegundo).

Na Figura 32, apresenta-se o esquema do método de controlo do injector por parte da centralina.

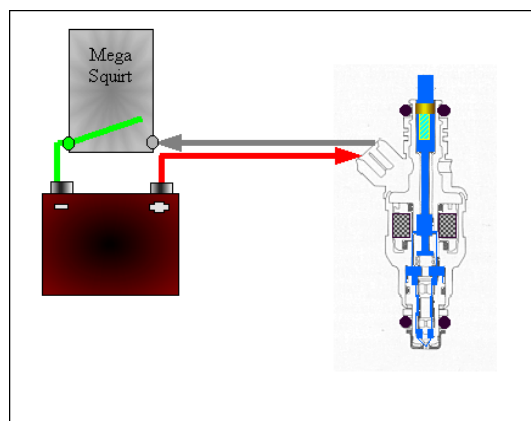


Figura 32 - Circuito Bateria - Injetor - Centralina [23]

No *tuning software* utilizado no controlo da centralina, é necessário especificar a capacidade de débito do injector, isto é, o volume ou peso de combustível injectados num determinado período de tempo, considerando que o injector de encontra aberto durante todo esse período. Esta informação é fulcral para o cálculo do **REQ_FUEL**.

OREQ_FUEL, abreviando *required fuel*, é o parâmetro, calculado através do *tuning software*, que informa a centralina do tamanho do injector. Outros parâmetros necessários para o cálculo do **REQ_FUEL** são o **CYL_DISP**, o volume do deslocamento do êmbolo, e a razão ar/combustível estequiométrica.

O *required fuel* é expresso em milissegundos uma vez que consiste no período de tempo em que a centralina activa o injector para que este forneça combustível respeitando a estequiometria para um valor de eficiência volumétrica de 100%, uma pressão no colector de admissão de 100 KPa e uma temperatura de 70 °F (aproximadamente 21 °C), para um ciclo completo do motor. [23]

A razão Ar/Combustível refere-se à relação entre massa de ar e massa de combustível, a relação entre os seus respectivos volumes é muito maior, cerca de 9000:1 e, varia consideravelmente com a temperatura.

O valor 14,7, utilizado pelo controlador para o cálculo do *required fuel* consiste na relação Ar/Combustível quimicamente correcta para que se queime todo o combustível e se use todo o ar (oxigénio) para o fazer, no entanto não é necessariamente a relação que gera maior potência ou que permite o menor consumo.

O combustível necessário (*required fuel*) calculado pelo *tuning software* pode ser obtido através da seguinte equação:

$$REQ_{FUEL} \times 10 = 36\,000\,000 \times CID \times \frac{AIRDEN_{100KPa,70^{\circ}F}}{NCYL \times AFR \times INJFLOW} \times \frac{1}{DIVIDE_PULSE} \quad (3.4)$$

Onde:

36 000 000 - é o número de décimos de milissegundos numa hora, utilizado para obter o valor de libras por décimo de milissegundo, quando o valor da capacidade de débito do injector se encontra em Libras por Hora (pb/hr).

REQ_FUEL - consiste no período de tempo de abertura do injector em décimos de milissegundo, daí a multiplicação por 10 para que o resultado encontrado seja descrito em milissegundos.

CID - é o volume do deslocamento do êmbolo em polegadas cúbicas.

AIRDEN - corresponde à densidade do ar, em libras por polegada cúbica, para uma pressão de 100 KPa e 70 °F e pressão Barométrica de 30.00 In HG.

NCYL - indica o número de cilindros

INJFLOW - designa a capacidade de débito do injector em Libras por Hora.

DIVIDE_PULSE - corresponde à injeção dividida pelo número de injeções por cada ciclo.

O valor da densidade do ar, **AIRDEN**, é derivado através da seguinte equação:

$$AIRDEN_{MAP,Temp} = 0.0391568 \times \frac{(MAP \times 10 - 31.0)}{(Temp_{\circ F} + 459.7) \times 1728} \quad (3.5a)$$

A qual em unidades S.I. (kg/m³, °C, KPa), se apresenta da seguinte forma:

$$AIRDEN_{MAP,Temp} = 1.2929 \times \frac{273.13}{Temp_{\circ C} + 273.13} \times \frac{MAP}{101.325} \quad (3.5b)$$

Onde:

MAP - Pressão no colector de admissão, KPa.

Temp - Temperatura do ar, em °F ou °C.

459.7 - É a constante utilizada para converter graus Fahrenheit para temperatura absoluta, Kelvin.

1728 - É a constante utilizada para converter libras por pé cúbico para libras por polegada cúbica.

Retomando o tema **REQ_FUEL**, a equação para a quantidade de combustível a injectar da *MegaSquirt* toma o valor de **REQ_FUEL** (obtido através dos parâmetros: **MAP** - 100 KPa, **Temp** - 70 °F, Pressão Barométrica - 30 In Hg, **VE** - 100% e **um ciclo** completo sem enriquecimentos) e multiplica este valor por uma série de outros parâmetros sendo ainda adicionado enriquecimento devido a acelerações e o tempo de abertura do injector (aprox. 1 ms), segundo a equação seguinte:

MegaSquirt Fuel Equation

$$PW = REQ_{FUEL} \times VE \times MAP \times E + accel + Injector_open_{time} \quad (3.6)$$

O valor **E** consiste no produto de todos os enriquecimentos, excepto o de aceleração.

$$E = gamma_{Enrich} = \left(\frac{Warm_up}{100}\right) \times \left(\frac{O_2\ Closed\ Loop}{100}\right) \times \left(\frac{AirCorr}{100}\right) \times \left(\frac{BaroCorr}{100}\right) \quad (3.7)$$

Onde:

Warm_up - Valor de enriquecimento durante o aquecimento do motor, retirado da tabela guardada na centralina, sendo possível alterações na tabela recorrendo ao *Tuning Software*

O₂ Closed Loop - Ajuste baseado na leitura do sensor EGO, e as definições introduzidas pelo utilizador no *Tuning Software* com respeito à influência da informação deste sensor.

Nota: Para o trabalho realizado não foi utilizado um sensor EGO, logo esta parcela da equação toma o valor de 1 e não influencia o valor de E.

AirCorr - Ajuste no valor da densidade do ar, baseado no valor da temperatura do ar admitido.

BaroCorr - Correção baseada na pressão do ar ambiente (esta correção acontece quando se inicia o motor, no entanto, se pretendermos correções durante o funcionamento, um segundo sensor de pressão (tipo MAP) pode ser instalado para correções durante o funcionamento do motor)

Atentando a equação 3.7, os valores das correções são divididos por 100, uma vez que quando cada um destes factores se encontra a 100%, não há enriquecimento.

Note-se que na equação 3.6 são adicionados o tempo de abertura de injeção e o enriquecimento devido a aceleração.

A adição do tempo de abertura do injektor na equação **PW**, não visa um enriquecimento mas sim o incremento do *pulse width (PW)* para que este englobe o tempo de abertura do injektor.

A velocidade de funcionamento do *main loop* (área do código embebido onde é calculado o *pulse width, PW*) de uma centralina *MegaSquirt II*, como a utilizada neste trabalho, é de cerca de 3000 Hz (3000 vezes por segundo). Este valor pode ser ligeiramente mais elevado ou reduzido quando outros aspectos do funcionamento do motor necessitam processamento.

Exemplificando, para um caso extremo, num motor V8 funcionando a 6000 rotações por minutos o valor de *pulse width* é calculado 4 vezes, entre cada faísca, com um funcionamento de apenas 1500 Hz da centralina, ou seja é quase impossível conseguir desviar a capacidade de processamento da centralina para outros aspectos do funcionamento do motor, ao ponto a que esta seja incapaz de realizar o cálculo do **PW**.

Revedo a equação de **PW** e tomando como exemplo um motor a funcionar a baixa rotação, em situação regular, ou seja com a uma temperatura de funcionamento adequada (sem enriquecimento devido à temperatura). O valor registado pelo MAP é de 40 KPa, VE retirado do *tuning software* com o valor de 74%, enriquecimentos quase nulos, apenas 3%, sem aceleração e o tempo de abertura do injektor representa 1.3 milissegundos. O valor de **REQ_FUEL** derivado também do *tuning software* é de 10 milissegundos.

Apresentando a equação 3.8 sob a forma de cálculo da centralina e substituindo os valores mencionados tem-se:

$$PW = REQ_{FUEL} \times \frac{VE}{100} \times \frac{MAP}{100} \times \frac{\gamma_{Enrich}}{100} + Injector_open_time \quad (3.8a)$$

$$PW = 10 \times \frac{74}{100} \times \frac{40}{100} \times \frac{97}{100} + 1.3 \quad (3.8b)$$

$$PW = 4.17 \text{ ms} \quad (3.8c)$$

Nota: Considera-se a aceleração nula.

Para esta situação o *tuning software* apresentaria provavelmente o valor 4.0 ms. Isto deve-se à velocidade de cálculo do *pulse width* ser diferente da velocidade de transmissão de dados da

centralina para o *tuning software*, logo para uma certa leitura dos sensores e características de funcionamento necessárias para cálculo do *pulse width*, a centralina encontra um valor de *PW*, que fornece ao injector, não sendo necessariamente idêntico ao valor registado no *tuning software* pois as velocidades de transmissão de dados da centralina para um computador e da centralina para o injector (por exemplo) são diferentes.

Para cálculo do *pulse width* o controlador *MegaSquirt* necessita de diversos dados provenientes de sensores incorporados no motor. No entanto, a centralina *MegaSquirt II* (Figura 33, à esquerda) adquirida para este trabalho, inclui um sensor MAP dentro da sua caixa de alumínio (Figura 33, à direita).



Figura 33 - Caixa da Centralina vista lateral onde se nota a entrada para o sensor MAP e a porta onde ligam todos os outros sensores e alimentação, à esquerda. Sensor MAP utilizado pela *MegaSquirt MS II*, à direita [fotos tiradas pelo autor]

Na Figura 33, o tubo de cor amarela encontra-se ligado ao sensor *MPX4250* MAP que informa o valor da pressão no colector de admissão ao controlador.

O sensor *MPX4250* MAP é alimentado pela centralina com uma tensão de 5 volts, geralmente chamada de $5 V_{ref}$, o sinal de retorno (do sensor para a centralina) varia entre os 5 volts e os 0 volts apresentando uma relação linear com a pressão absoluta no colector. A pressão absoluta é o valor da pressão quando comparada com o vácuo.

Atendendo a relação linear existente entre a tensão de retorno e o valor da pressão absoluta registada pelo sensor, uma tensão mais baixa corresponde (nunca inferior a 0 V) a um valor da pressão mais baixo tal como o oposto, uma tensão mais alta (nunca superior a 5 V) representa uma pressão mais elevada.

A tensão de retorno, do sensor MAP para a centralina, é convertida para um número digital entre 0 e 255 (sinal digital de 8 bits) por meio de um conversor analógico-digital (ADC, *Analog Digital Converter*), quando trabalhando com uma centralina *MegaSquirt I*. No caso da centralina utilizada neste trabalho experimental, *MegaSquirt II*, a conversão analógico-digital gera um número entre os 0 e os 1024 (sinal digital de 10 bits).

O valor da pressão atmosférica ao nível do mar é de 101,3 kilopascal (KPa), este valor em psi é aproximadamente 14,7 e em polegadas de mercúrio aproximadamente 29,92 (”Hg). Em caso da pressão ser registada em ”Hg (como nos controladores *MegaSquirt*) a conversão para KPa apresenta-se nas equações 3.9 e 3.10:

Tome-se o valor de vácuo de 15 polegadas de mercúrio como exemplo:

$$29.92 - 15 = 14.92 \text{ ”Hg (3.9)}$$

Como o valor 15 ”Hg é o valor do vácuo, ou seja é a diferença entre a pressão atmosférica e a pressão real, é necessário subtrair este valor ao valor da pressão atmosférica para encontrar o valor da pressão real.

A conversão de polegadas de mercúrio para kilopascal demonstra-se na equação 3.10:

$$101.3 \times \frac{14.92}{29.92} = 50.5 \text{ KPa (3.10)}$$

As centralinas *MegaSquirt* utilizam as unidades kilopascal exclusivamente para valores de pressão.

O sensor *MPX4250 MAP* informa o controlador da pressão absoluta no colector de admissão, no entanto, a primeira leitura do sensor, quando se inicia o motor e o controlador, regista a pressão barométrica, utilizada para efectuar correcções caso a altitude a que o motor se encontra tenha variado. Uma variação na altitude significa uma variação na pressão atmosférica, logo, o novo valor da pressão atmosférica deve ser transmitido para a centralina para que os cálculos efectuados por esta, relativos à injeção de combustível, permaneçam correctos.

Revedo a equação 3.3b, respectiva aos cálculos efectuados pela centralina para encontrar a massa de ar no colector de admissão, verifica-se que para o cálculo da massa de ar é necessário para além do valor da pressão (transmitido para a centralina através do sensor MAP) o valor da temperatura do ar. O valor da temperatura do ar tal é transmitido para a centralina através do sensor IAT, *Intake Air Temperature*. Um sensor idêntico transmite informação relativa à temperatura do motor para o controlador, a este sensor a *MegaSquirt* chama *Coolant Temperature*, abreviado para CLT. Com a informação da temperatura do motor a centralina é capaz de efectuar correcções na quantidade de combustível a injectar, deste modo a mistura é enriquecida enquanto a temperatura de funcionamento do motor se encontra baixa. Enquanto a temperatura de funcionamento do motor se encontra baixa a vaporização do combustível é mais

difícil e menor, devido a isso é necessário injectar uma maior quantidade de combustível para assegurar que combustível suficiente evapora e a combustão é conseguida.

Ambos os sensores IAT e CLT apresentam o mesmo funcionamento, tal como para o sensor MAP, o sinal analógico (uma tensão) transmitido para a centralina é convertido para um sinal digital entre 0 e 1024 para a *MegaSquirt II*. O valor da tensão, sinal analógico, varia pois a resistência deste tipo de sensores varia com o valor da temperatura. Os sensores *standart* recomendados pela *MegaSquirt* apresentam uma resistência que varia entre os 100 000 Ohm, -40 °C, e 185 Ohm, 99 °C. Caso os sensores utilizados não apresentem uma escala idêntica, no *tuning software* é possível calibrar os sensores. A calibração é feita informando o controlador, ligado ao *tuning software*, da tensão respectiva a três temperaturas diferentes, o *tuning software* calcula a relação entre a tensão no sensor e a temperatura lida através dos três valores fornecidos e utiliza essa relação linear para futuras leituras.



Figura 34 - Sensores de temperatura utilizados no Honda GX25; Sensor IAT, à esquerda. Sensor CLT, à direita [fotos tiradas pelo autor]

Outro sensor com influência na quantidade de combustível injectado é o sensor TPS, *Throttle Position Sensor*. Este sensor informa o controlador sobre a posição do acelerador, o controlador *MegaSquirt* compara a posição actual do acelerador com a última leitura deste parâmetro e consegue saber se o motor se encontra em aceleração, desaceleração ou velocidade constante. Perante uma situação de aceleração a mistura é enriquecida, através de um aumento do *Pulse Width* comandado pela centralina, para que exista combustível em excesso de modo a compensar o regime transitório e facilitar a aceleração. Para uma situação de desaceleração a injeção de combustível é reduzida ou mesmo interrompida. Quando a posição actual do acelerador e posição anterior, registadas pelo controlador, são idênticas ou próximas o motor funciona a rotação constante, ou velocidade constante, para esta situação pretende-se manter a mistura na estequiometria ou ligeiramente pobre de modo a atingir um menor consumo e menor emissões de poluentes.

Tal como os sensores de temperatura e pressão (IAT, CLT e MAP) o sinal enviado pelo sensor TPS para a centralina é um valor de tensão, sinal analógico, este valor é convertido num sinal digital tal como para os outros sensores.



Figura 35 - Sensor TPS incorporado na válvula borboleta do carburador original de um Honda GX25. [foto tirada pelo autor]

As centralinas *MegaSquirt* trabalham, por norma, com um sensor EGO, *Exhaust Gas Oxygen* (também denominado sonda Lambda - ver Fig. 36). Este sensor simplesmente avalia a quantidade de oxigénio nos gases de escape do motor. A quantidade de oxigénio lida pelo sensor permite saber se a mistura se encontra rica, pobre ou na estequiometria. A informação do sensor EGO fornece *feedback* ao controlador sobre o seu funcionamento. Para uma situação em que o combustível injectado, determinado pelo controlador, pretende uma mistura estequiométrica o sensor EGO permite verificar se os cálculos realizados pela centralina, relativos à injeção de combustível, se encontram correctos ou corrigi-los caso a mistura esteja rica ou pobre.

Nota: O Sensor EGO não é essencial para o funcionamento do motor e não foi utilizado neste trabalho prático.



Figura 36 - Sensor EGO genérico [25]

4. TRABALHO EXPERIMENTAL

4.1. EQUIPAMENTO UTILIZADO

Pretende-se neste trabalho experimental automatizar electronicamente os sistemas de ignição e injeção de um motor de 4 tempos. O motor escolhido foi o Honda GX25.

Na virtude de conseguir dotar o Honda GX25 de injeção electronicamente controlada e posteriormente ignição electronicamente controlada, foi necessário fabricar diversas peças com propósito de incorporados sensores, necessários para o funcionamento do controlador electrónico e do injector, necessário para a injeção de combustível.

Os sensores são responsáveis por informar o controlador electrónico, *MegaSquirt II*, que realiza os cálculos relativos à injeção de combustível e relativos ao salto da faísca na vela, ignição.

4.1.1. SENSORES UTILIZADOS

Para informar a centralina do valor da pressão no colector de admissão foi utilizado um sensor MAP. Este sensor encontra-se directamente ligado ao controlador electrónico, dentro da sua caixa de alumínio, **Figura 33**.

O sensor de temperatura IAT (*Intake Air Temperature*) fornece ao controlador *MegaSquirt II* o valor da temperatura do ar no colector de admissão. Este valor tal como o valor da pressão, disponibilizado pelo sensor MAP, possibilitam o cálculo da densidade do ar que entra para o motor. O valor da densidade é utilizado ainda na equação 3.5a ou 3.5b, para se calcular a quantidade de combustível a injectar. Sem a informação destes dois sensores o funcionamento do controlador electrónico *MegaSquirt II* não era possível.

Para informar a centralina da temperatura do motor é utilizado um sensor de funcionamento idêntico ao sensor IAT mas colocado no cárter do Honda GX25, sensor CLT (*Coolant Temperature*). O valor da temperatura do motor permite ao controlador electrónico efectuar correcções na quantidade de combustível injectado. Por exemplo, quando a temperatura do motor se encontra baixa a centralina aumenta ligeiramente a quantidade de combustível injectada, enriquecendo a mistura até que a temperatura aumente para um valor entre os 70 °C e os 90 °C.

Outro sensor essencial para o funcionamento do controlador *MegaSquirt II* é um sensor de posição do êmbolo ou cambota, é através da informação disponibilizada por este sensor que se encontra a velocidade de rotação do motor. Existem várias formas de monitorizar a posição do êmbolo ou cambota, neste trabalho prático optou-se por utilizar um sensor Hall e um disco com três ímanes que geram um pulso eléctrico quando passam pelo sensor. No capítulo 4.1.2 explica-se mais detalhadamente o funcionamento e montagem deste sensor.

Foi ainda utilizado um sensor TPS, *Throttle Position Sensor*, com a finalidade de informar o controlador electrónico da posição da válvula borboleta dentro do carburador ou por outras palavras, da posição do acelerador.

4.1.2. ALTERAÇÕES NO MOTOR - FASE DE PROJECTO

Com a virtude de incorporar os sensores enunciados no capítulo 4.1.1 tal como o injector de combustível foi necessário projectar diversas peças para o suporte dos sensores e injector e outros componentes necessários para o funcionamento dos sensores.

Os sensores IAT e MAP traduzem para a centralina as propriedades do ar antes de entrar no cilindro, ou seja, no colector de admissão. Originalmente o motor Honda GX25 apresenta um colector de admissão muito curto e que incorpora apenas o carburador. Para suportar e permitir o funcionamento dos sensores MAP e IAT foi necessário aumentar o comprimento do colector de admissão. A Figura 37 ilustra o projecto da extensão do colector elaborado no programa *Solid Works 2010*.

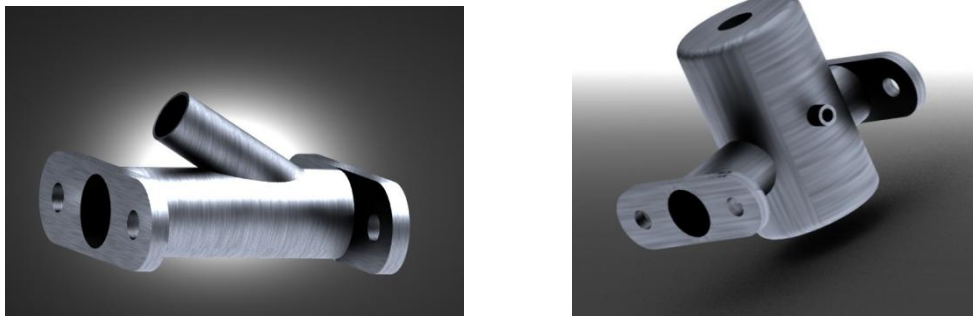


Figura 37 - *Renders* das duas peças constituintes do colector de admissão, suporte para o injector à esquerda, câmara de atenuamento para leitura da pressão no colector pelo sensor MAP e leitura da temperatura do ar, à direita. Fonte: Autor

Tal como os sensores IAT e MAP também o injector se coloca no colector de admissão mas, o mais próximo possível da válvula de admissão, para que o combustível injectado ao tocar na válvula, que em condições de funcionamento normais se encontra a uma temperatura elevada, evapore e entre para o cilindro já sobre a forma de vapor. A Figura 37 (à esquerda) representa o projecto da extensão do colector com o suporte para o injector.



Figura 38 - *Render* do colector de admissão, produzido no programa *Solid Works 2010*. Fonte: Autor

A junção das duas peças representadas na Figura 37 forma então a extensão do colector de admissão necessária para suporte do injector, do sensor MAP e do sensor IAT. (

Figura 38)

No capítulo 4.1.1 refere-se que o sensor Hall, informa a centralina da posição da cambota ou êmbolo, e necessita de um disco com três ímanes para que com a passagem destes pelo sensor se gere um pulso eléctrico. O disco em questão foi também projectado através da plataforma *Solid Works 2010*, a Figura 39 ilustra o disco projectado.



Figura 39 - *Render* do Disco de 3 ímanes. Fonte: Autor

4.1.3. MÉTODO DE ARMAZENAMENTO DE DADOS

A centralina utilizada para este trabalho foi a *MegaSquirt II*, distribuída pela empresa britânica *Efi Extra*. A *Efi Extra* recomenda a plataforma digital, *tuning software*, *Tuner Studio MS* para o controlo e configuração do controlador electrónico. Existe também a plataforma digital denominada *Mega Tune* com um desempenho semelhante, sendo esta recomendada por *Bruce Bowling & Al Grippo*. Neste trabalho experimental, atendendo a que o controlador electrónico foi adquirido à empresa *Efi Extra*, o *tuning software* utilizado foi *Tuner Studio MS* que em múltiplos aspectos é idêntico ao seu rival *Mega Tune*. Qualquer um dos *tuning softwares* mencionados, permite gravar um período de funcionamento da centralina e motor, sendo posteriormente os dados recolhidos pelos *tuning softwares* analisados numa outra plataforma digital, *Mega Log Viewer*.

Para alterações e afinações relativas ao funcionamento do motor foi utilizado o *tuning software Tuner Studio MS*, com os dados recolhidos e gravados por esta plataforma digital foi feita uma análise das características do Honda GX25, recorrendo-se ao *software Mega Log Viewer*.

4.2. PROCEDIMENTO

4.2.1. ALTERAÇÕES NO MOTOR: CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DE COMPONENTES

Para realizar este trabalho prático foi necessário modificar e incorporar novas peças no Honda GX25.

A Figura 40 representa o projecto da extensão do colector de admissão produzida para incorporar os sensores IAT e MAP tal como suportar o injetor de combustível. A Figura 40 ilustra a extensão do colector de fabricado para o efeito.

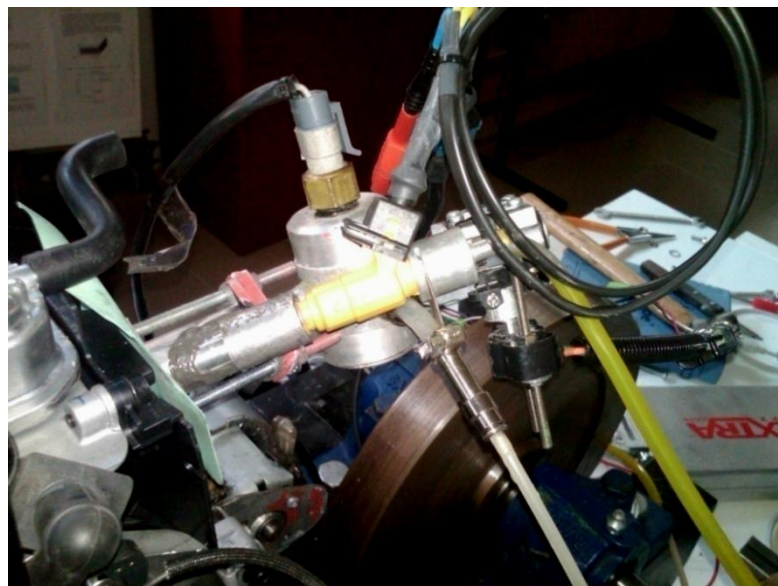
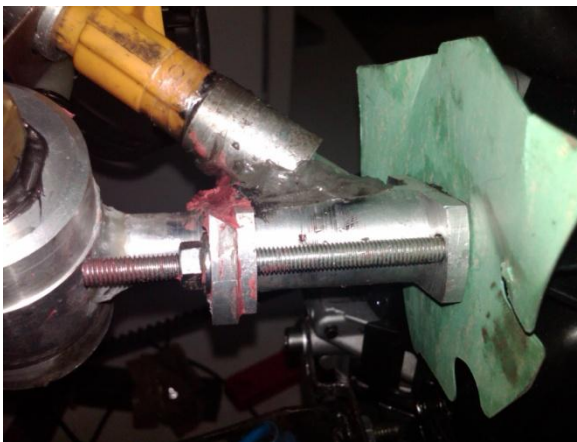


Figura 40 - Extensão do colector de admissão, suporte para o injetor (à esquerda, em cima; Suporte para o sensor IAT (à direita, em cima); Colector de admissão com os suportes para o injetor e sensor IAT, também visível, tubo transparente, ligação entre o colector de admissão e o sensor MAP (em baixo). [fotos tiradas pelo autor]

A câmara cilíndrica, Figura 40 (direita, em cima), funciona como atenuador de possíveis ondas de choque que ocorram dentro do colector de admissão e que enviariam informações erradas sobre o valor da pressão do ar no colector. Idealmente para atenuar as ondas de choque a câmara deveria ser de geometria esférica, no entanto, devido à dificuldade de elaborar e maquinar uma câmara esférica a geometria mais próxima e fácil de desenvolver foi cilíndrica. Na câmara em questão é realizada a leitura da pressão do ar (Figura 40, em baixo; tubo de cor transparente que se encontra ligado à fase lateral da câmara e ao sensor MAP dentro da caixa de alumínio da centralina). É também realizada a leitura da temperatura do ar, através do sensor IAT colocado no topo da câmara cilíndrica (Figura 40 direita, em cima; sensor colocado no topo da câmara).

A extensão do colector de admissão encontra-se compreendida entre a admissão do Honda GX25 e o carburador do Honda GX25. Para este trabalho experimental o carburador do Honda GX25 serviu apenas como acelerador, recorrendo-se à válvula borboleta que este apresenta para regular a quantidade de ar admitido. Com o uso de um sensor TPS, mencionado no capítulo 4.1.1, ligado à válvula borboleta do carburador torna-se possível informar o controlador electrónico da aceleração pretendida pelo utilizador, para que o controlador possa realizar os devidos enriquecimentos na mistura proporcionando um melhor desempenho. A Figura 41 ilustra a ligação conseguida, a válvula borboleta e sua posição e o sensor TPS.



Figura 41- Sensor TPS incorporado no carburador original do Honda GX25 [foto tirada pelo autor]

Para informar a centralina da temperatura de funcionamento do motor, foi colocado um sensor de funcionamento idêntico ao sensor IAT mas denominado CLT, *Coolant Temperature*. Este sensor foi colocado no cárter do Honda GX25 medindo portanto a temperatura do óleo do motor que se aproxima suficientemente da temperatura real de funcionamento do motor. Para a montagem do sensor CLT substitui-se a tampa do óleo do cárter pelo sensor. (Figura 42)



Figura 42 - Sensor CLT substituindo a tampa do óleo do cárter e informando a centralina da temperatura do óleo dentro do cárter [fotos tiradas pelo autor]

No capítulo 4.1.2 para auxílio do sensor Hall, responsável por informar o controlador electrónico da posição da cambota ou êmbolo, para possibilitar o cálculo das RPM, Rotações Por Minuto, foi projectado um disco com três ímanes que foi fixado na cambota do Honda GX25. (Figura 43)

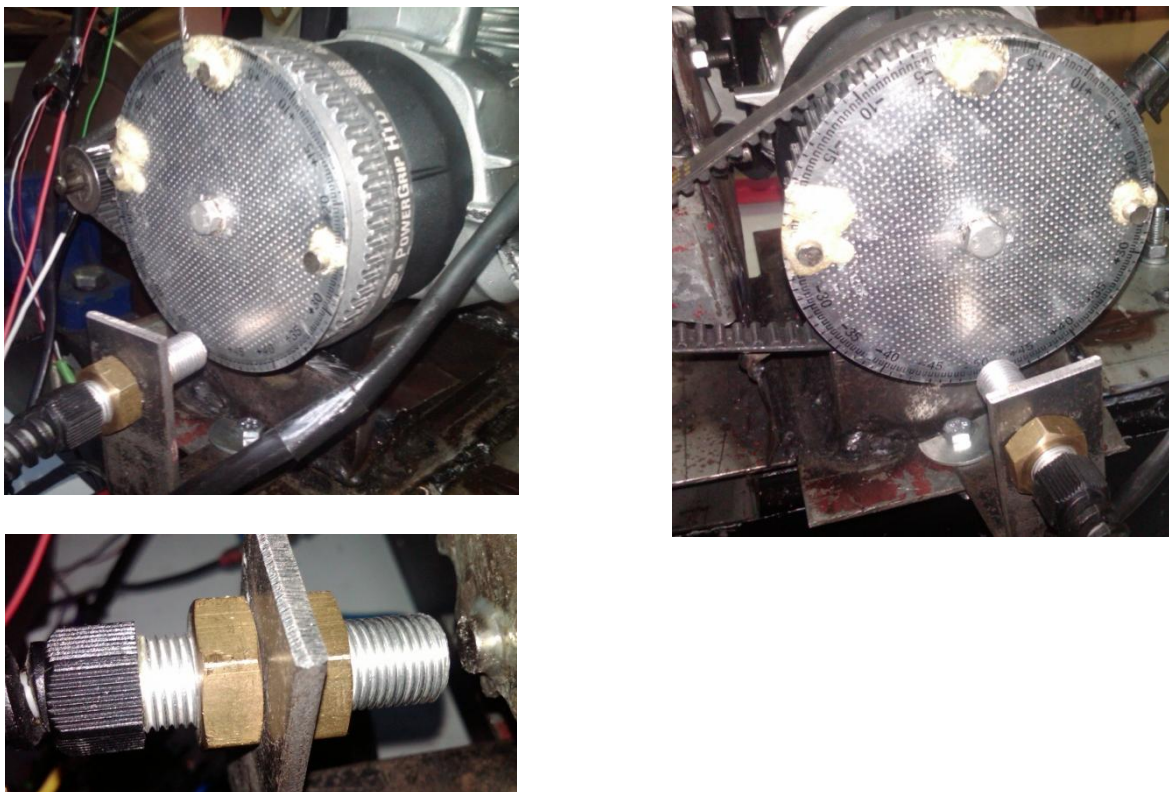


Figura 43 - Disco com ímanes ligado à cambota do Honda GX25, à esquerda em cima e à direita em cima; Sensor Hall, em baixo. [Fotos tiradas pelo autor]

Com a passagem dos ímanes pelo sensor Hall verifica-se uma subida da tensão que alimenta o sensor. Esta subida de tensão forma uma onda quadrada ascendente que é enviada para a centralina, Figura 44.

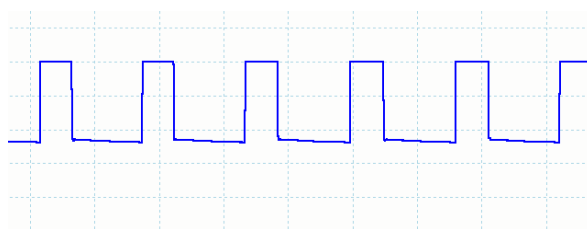


Figura 44 - Sinal do sensor Hall para a centralina, imagem retirada do programa *PicoScope Automotive*

O disco com os ímanes apresenta apenas três ímanes. Para que a centralina possa identificá-los os três ímanes encontram-se igualmente distanciados, 90° entre cada um, havendo portanto 180° entre o íman 1 e o íman 3, Figura 45.

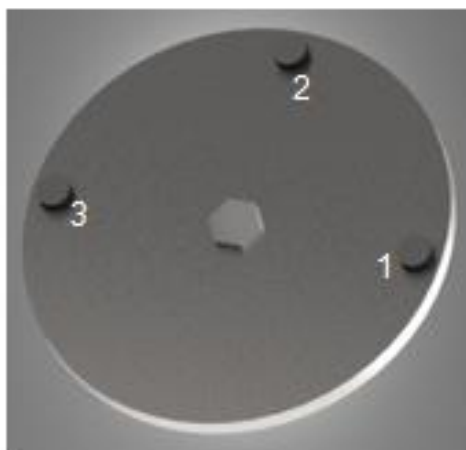


Figura 45 - Disco de ímanes enumerados tal como a centralina os classifica, *render* do programa *Solid Works 2010*. Fonte: Autor

A ausência de um quarto íman igualmente distanciado de 90° possibilita à centralina a identificação dos ímanes pois, a ausência de sinal entre a passagem do íman 3 e íman 1 é registada pela centralina sabendo portanto que após a ausência de sinal a contagem reinicia. Isto tem grande utilidade para situações em que o sensor falha a leitura de um dos ímanes numa volta do disco permitindo na seguinte a retoma do funcionamento normal.

Outra alteração efectuada no Honda GX25 foca-se no sistema de arranque do motor. Originalmente o Honda GX25 apresenta um sistema de arranque manual, com a introdução da centralina, e a necessidade de um sensor de posição do êmbolo, nomeadamente o sensor Hall que, por sua vez necessita de um disco com sensores que foi colocado onde anteriormente se encontrava o sistema de arranque manual. Para resolver esta situação e automatizar mais o Honda GX25 foi colocado um motor de arranque (Figura 46). O motor de arranque é alimentado por uma bateria de 12 Volts idêntica à bateria que alimenta a centralina e os sensores que necessitam de alimentação, como por exemplo o sensor Hall.

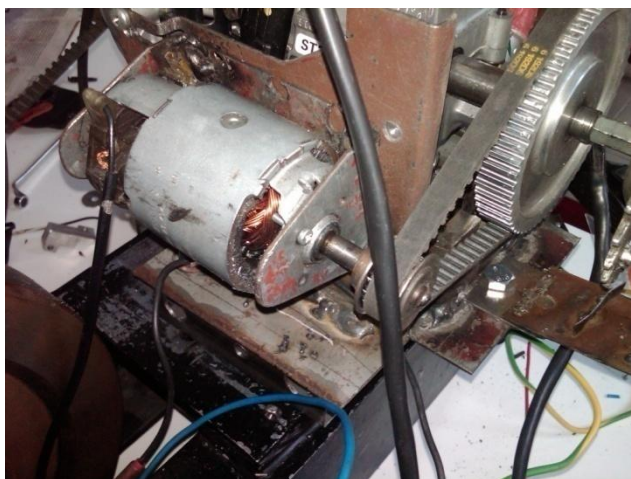


Figura 46 - Motor de arranque utilizado no Honda GX25, incorporado no suporte do motor. [foto tirada pelo autor]

Uma vez colocados nos devidos suportes e incorporados no Honda GX25 todos os sensores, é necessário ligá-los correctamente ao controlador electrónico *MegaSquirt II*. Para tal a *Extra EFI* disponibiliza o *data sheet* em anexo (Anexo 1). Para realizar correctamente todas as ligações eléctricas entre os sensores e a centralina foram também necessários os *data sheets* dos sensores utilizados, estes encontram-se em anexo (Anexo 2).

Uma vez estabelecidas as ligações entre sensores, centralina e bateria foi necessário informar o controlador electrónico do tipo de sensores e de certos parâmetros sobre o seu funcionamento. Para tal utilizou-se a plataforma digital *Tuner Studio MS*. Em anexo disponibilizam-se os manuais que auxiliaram este processo (Anexo 3).

4.2.2. TESTES - FASE INICIAL - CALIBRAÇÃO DE COMPONENTES

Uma vez concluída a fase de montagem dos componentes elaborados e sensores necessário para o funcionamento da centralina iniciou-se a fase de testes. Este passo do trabalho experimental foca-se em assegurar que as informações enviadas pelos sensores para o controlador electrónico se encontram correctas. Em caso de haver discrepância entre as condições reais e a leitura dos sensores é necessário proceder à sua calibração.

Para facilitar o manuseamento e para testes posteriores colocou-se o Honda GX25 num banco de ensaio disponibilizado pelo Departamento de Electromecânica. (Figura 47)

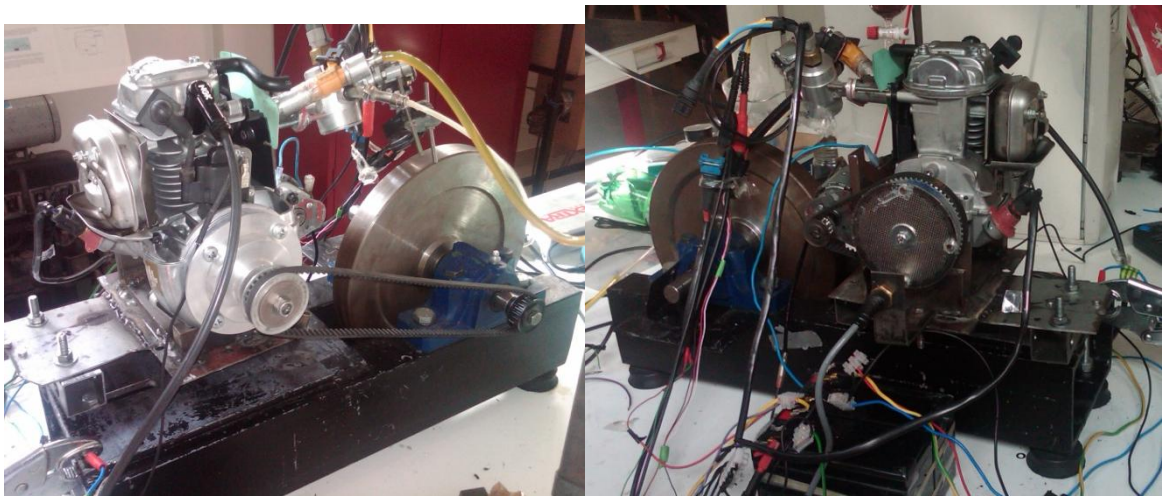


Figura 47 - Honda GX25 no Banco de ensaio utilizado. Vista traseira ilustrando a ligação entre o motor e o disco de inércia, à esquerda. Vista frontal do motor no banco de ensaio, sendo visível maioria dos sensores, à direita. [fotos tiradas pelo autor]

Do capítulo 4.1.1 pode-se elaborar uma lista dos sensores utilizados e verificar o seu correcto funcionamento singular.

Sensores Utilizados:

- 1- Sensor IAT
- 2- Sensor CLT
- 3- Sensor MAP
- 4- Injector
- 5- Sensor TPS
- 6- Sensor Hall

Nota: Para verificação e calibração dos sensores referidos utilizou-se o programa Tuner Studio MS

Os sensores 1 e 2, IAT e CLT, são ambos sensores de temperatura com funcionamentos idênticos, para verificar o seu funcionamento comparou-se a temperatura lida por estes sensores quando colocados ao ar e a temperatura registado num termómetro de mercúrio.

A temperatura lida pelos sensores IAT e CLT apresenta-se no *Tuner Studio MS* com o controlador electrónico e todos os outros componentes também ligados e em funcionamento, embora que não calibrados. (Figura 48)

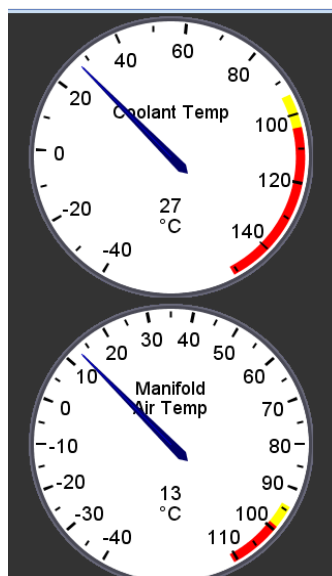


Figura 48 - *Display* do programa *Tuner Studio MS* para os valores das temperaturas do ar no colectador de admissão (manómetro inferior) e do óleo no motor (manómetro superior).

Notou-se que em ambos os sensores, IAT e CLT, havia um pequeno erro na leitura da temperatura.

Para corrigir o erro de leitura dos sensores IAT e CLT procedeu-se à sua calibração através da plataforma *Tuner Studio MS*. A calibração é conseguida com introdução de três valores de resistência (em Ohm) para três temperaturas distintas. Recomenda-se no entanto, que as três temperaturas utilizadas sejam entre os 0 °C e os 100 °.

Na calibração efectuada aos sensores IAT e CLT foi utilizada a temperatura ambiente, cujo valor foi retirado de um termómetro que se encontrava no laboratório onde estava o Honda GX25 e o banco de ensaios. Foi utilizado um copo com gelo e água, esperando-se que o gelo derretesse e a temperatura do copo estabilizasse, que proporcionou uma temperatura perto dos 0 °C recomendados. E foi utilizado um banho aquecido para se elevar a temperatura a um valor próximo da temperatura de funcionamento de um motor de combustão interna, entre os 80 °C e os 100 °C.

Todo este procedimento calibração, que se resume a três leituras de três valores de resistência para três conhecidas temperaturas, foram efectuados com os sensores IAT e CLT desligados do controlador electrónico, logo o valor de resistência para as diferentes temperaturas foi lido através de um Multímetro.

Uma vez conseguidos os valores da resistência para as três temperaturas, estes são introduzidos no programa *Tuner Studio MS* para serem passados para controlador electrónico e se concluir a calibração. (Figura 49)

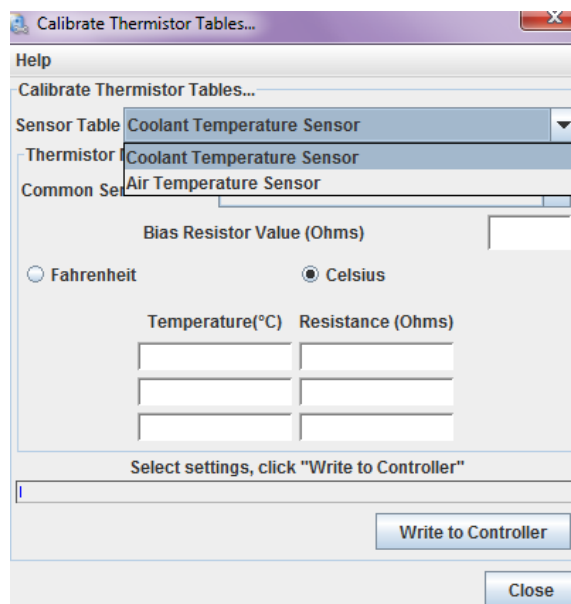


Figura 49 - Menú do programa *Tuner Studio MS* destinado à calibração dos sensores de temperatura do ar no colector de admissão e a temperatura do líquido de refrigeração do motor.

O sensor MAP, sensor 3, não requer calibração pois foi instalado pela *Extra EFI* dentro da caixa do controlador. Foi apenas necessário indicar no programa *Tuner Studio MS* qual o sensor em uso. O sensor MAP em utilizado foi *MPX4250*, esta informação foi disponibilizada pela *Extra EFI*.

Alistado em quarto lugar na lista de sensores utilizados encontra-se o injector, que não sendo um sensor também requer calibração. Os valores respectivos à capacidade de injeção do injector encontram-se no *Data Sheet* do injector em anexo (Anexo 4). Estes valores foram introduzidos no programa *Tuner Studio MS* para que o controlador electrónico saiba o período de tempo de abertura do injector necessário para a injeção da quantidade correcta de combustível.

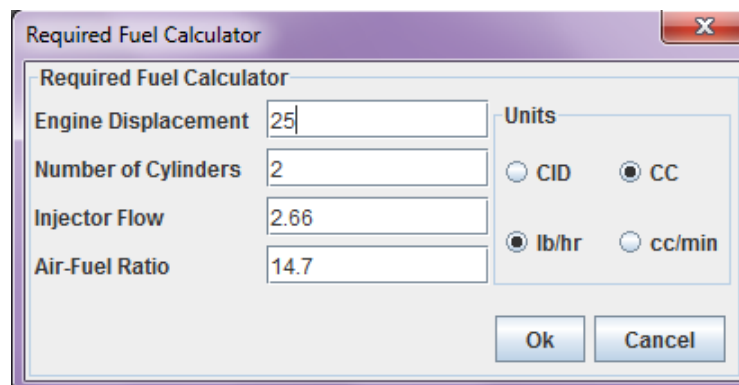


Figura 50 - Menu do programa *Tuner Studio MS* onde se especifica o volume do motor, o número de cilindros, caudal do injektor e relação Ar/Combustível.

Nota: O caudal do injektor pressupõe uma pressão do combustível de 3 Bar na entrada do injektor.

A calibração do sensor TPS, responsável por informar a posição do acelerador, foi feita através do programa *Tuner Studio MS* com o controlador electrónico ligado. Para calibrar este sensor é apenas necessário informar o controlador electrónico dos valores da tensão, enviado do sensor para o controlador, para aceleração nula e para aceleração máxima (WOT - *Wide Open Throttle*). (Figura 51)

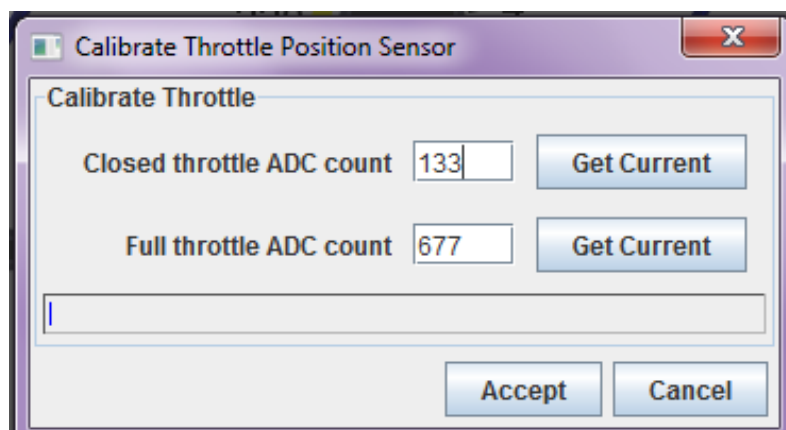


Figura 51 - Menu de calibração do sensor TPS no programa *Tuner Studio MS*.

Para a calibração do sensor Hall foi necessário informar o controlador electrónico, via *Tuner Studio MS*, da posição do primeiro íman em relação ao ponto morto superior.

Nota: O Ponto Motor Superior vem indicado na árvore de cames do Honda GX25

Para o disco de ímanes utilizado, o primeiro íman (Figura 45, íman número 1) encontra-se a aproximadamente 90° do ponto morto superior. Este valor foi introduzido no *Tuner Studio MS* tal como o número de ímanes no disco. (Figura 52)

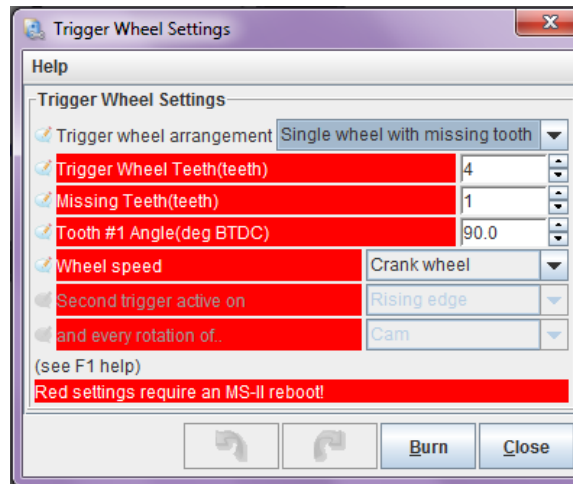


Figura 52- Menu do programa *Tuner Studio MS* respectivo ao tipo de disco de auxílio ao sensor de posição do êmbolo

Note-se que na Figura 52, o tipo de disco de *trigger* escolhido é *Single Wheel with missing tooth*, pois apenas foi utilizado um disco para activação do sensor Hall com um íman/*tooth* em falta. O número de *Teeth* é o número de ímanes no disco, desprezando o íman retirado. *Missing teeth* é o número de ímanes/*teeth* retirados. *Tooth #1 Angle* consiste no ângulo entre o ponto morto superior e o íman 1 e *Wheel speed* indica a que eixo se encontra ligado o disco de ímanes/*teeth*, no trabalho realizado o disco encontrava-se ligado à cambota do Honda GX25 (*Crankshaft*).

4.2.3. TESTES - FUNCIONAMENTO DA INJEÇÃO DE COMBUSTÍVEL

Verificados e calibrados os sensores e componentes necessários para o funcionamento do controlador electrónico no comando do Honda GX25 foi testado o funcionamento do sistema de injeção de combustível.

Para este teste utilizou-se a ignição por magneto original do Honda GX25. Para não utilizar uma bomba de combustível, foi utilizada uma garrafa com ar sob pressão e um redutor (Figura 53) para manter a pressão do combustível á entrada do injectores nos 3 Bar.



Figura 53 - Circuito de Ar comprimido utilizado como bomba de combustível. [foto tirada pelo autor]



Figura 54 - Manómetro com o valor da pressão na garrafa, à esquerda; Manómetro com o valor da pressão no depósito de combustível. [fotos tiradas pelo autor]



Figura 55 - Depósito de Combustível da Shell para a participação na Shell Eco Marathon. [foto tirada pelo autor]

Uma vez verificado o funcionamento de todos os sensores e pressurizado o depósito de combustível efectuou-se o primeiro teste ao funcionamento do Honda GX25, sendo a injeção controlada electronicamente pela centralina.

Como se incorporou um motor de arranque no Honda GX25, para realizar este teste foi apenas necessário ligar o controlador electrónico, abrir a válvula do depósito de gasolina e ligar o motor de arranque.

Os resultados foram positivos, o Honda GX25 funcionou com a injeção electronicamente controlada. Através do programa *Mega Log Viewer* é possível visualizar as variações nos diferentes parâmetros de funcionamento do motor (Figura 56).

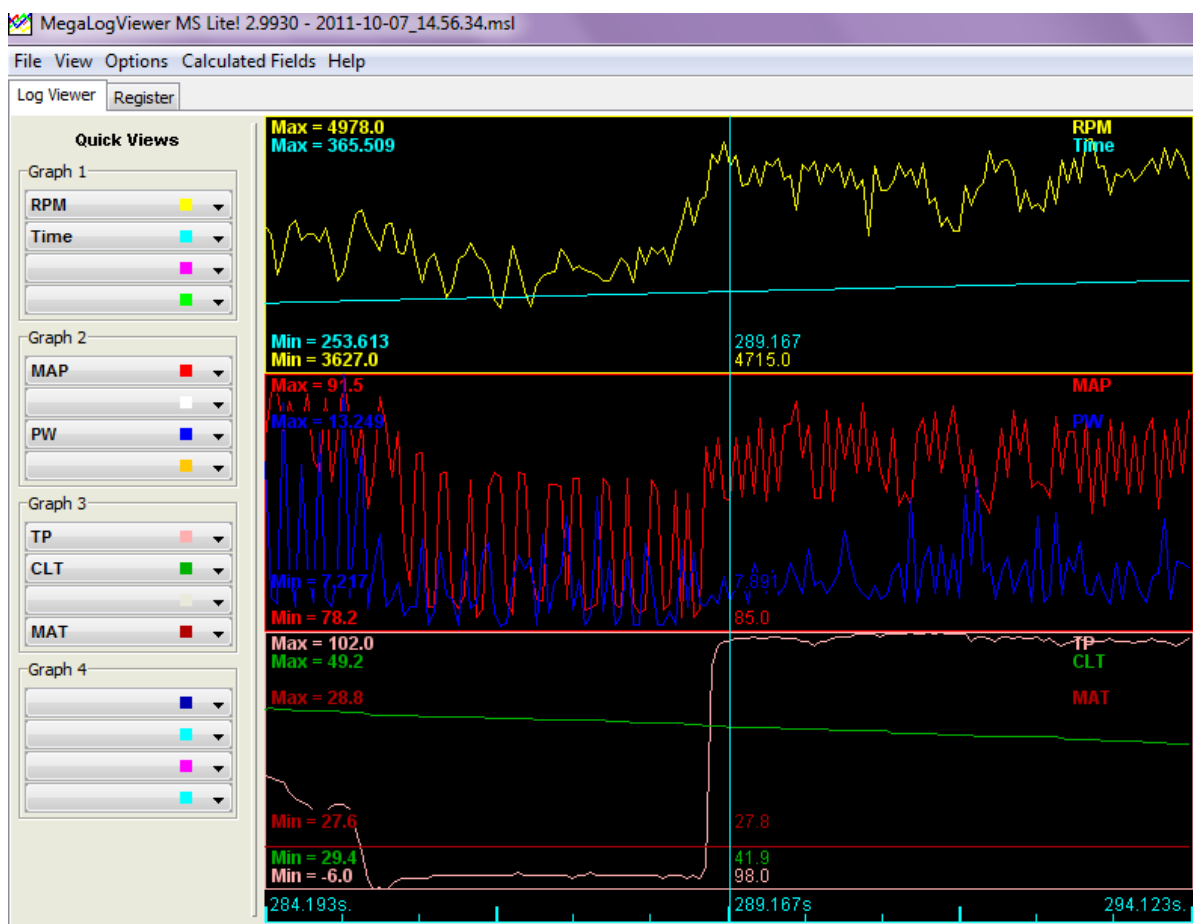


Figura 56 - Print Screen do programa *Mega Log Viewer* durante o funcionamento do Honda GX 25 com a injeção de combustível electronicamente controlada.

Na Figura 56, encontram-se três gráficos ilustrativos das alterações de diversos parâmetros respectivos ao funcionamento do Honda GX25. No *Graph 1*, representa-se a evolução da rotação do motor e o tempo em segundos. No *Graph 2* encontram-se as variações de pressão no colector de admissão, registadas pelo sensor MAP, e as variações no valor do *Pulse Width*, ou seja, tempo de abertura do injetor. No *Graph 3* nota-se os valores registados pelos sensores de temperatura, IAT ou MAT (*Manifold Air Temperature*) e CLT, neste gráfico ilustra-se ainda a leitura do sensor TPS, que representa a posição da válvula borboleta utilizada como acelerador. O intervalo de tempo no qual se encontram os três gráficos foi propositadamente escolhido pois representa uma situação de aceleração. Como se pode ver no *Graph 3* a posição da borboleta varia de uma posição quase fechada para uma situação de WOT (*Wide Open Throttle*), devido a esta alteração

intencional nota-se também um aumento no tempo de abertura do injector e pressão no colector de admissão (*Graph 2*) tal como nas rotações por minuto (*Graph 1*). Estes dados comprovam o correcto funcionamento do sistema de injeção electrónico montado, permitindo deste modo, que se continue com o trabalho experimental focando agora a implementação do sistema de ignição também electronicamente controlado.

4.2.4. TESTES - FUNCIONAMENTO DA IGNIÇÃO

Uma vez confirmado o correcto funcionamento do controlador electrónico quando encarregado da injeção de combustível, pode iniciar-se a implementação do sistema de ignição controlado pela centralina.

Na virtude de dotar o Honda GX25 de ignição electronicamente controlada, removendo o sistema de ignição por magneto original do motor foram necessário os seguinte componentes:

- Bobina de ignição electrónica
- Módulo de Ignição
- Cachimbo de vela



Figura 57 - Bobina de Ignição, à esquerda; Módulo de Ignição, à direita. [fotos tiradas pelo autor]



Figura 58 - Cachimbo de vela. [foto tirada pelo autor]

A montagem dos componentes do sistema de ignição consiste em ligar a centralina e o módulo de ignição, o módulo de ignição liga à bobina e por fim, a bobina liga ao cachimbo da vela.

As ligações entre o módulo de ignição e os restantes componentes do sistema de ignição são descritas com maior pormenor no *Data Sheet* do módulo de ignição (Anexo 2), onde se demonstra

que apenas um fio é conectado à centralina, os restantes seguem, um para a bobina de ignição e os outros para a bateria. A bobina apresenta portanto, uma ligação ao módulo de ignição e outra ao positivo da bateria.



Figura 59 - Componentes do sistema de ignição: Módulo de Ignição; Bobina; Cachimbo de vela; Vela de Ignição. [foto tirada pelo autor]

Uma vez completa a montagem do sistema de ignição é necessário informar a centralina do tipo de sistema utilizado. Para tal, recorre-se ao programa *Tuner Studio MS* que faculta a ligação entre o computador portátil e a centralina.

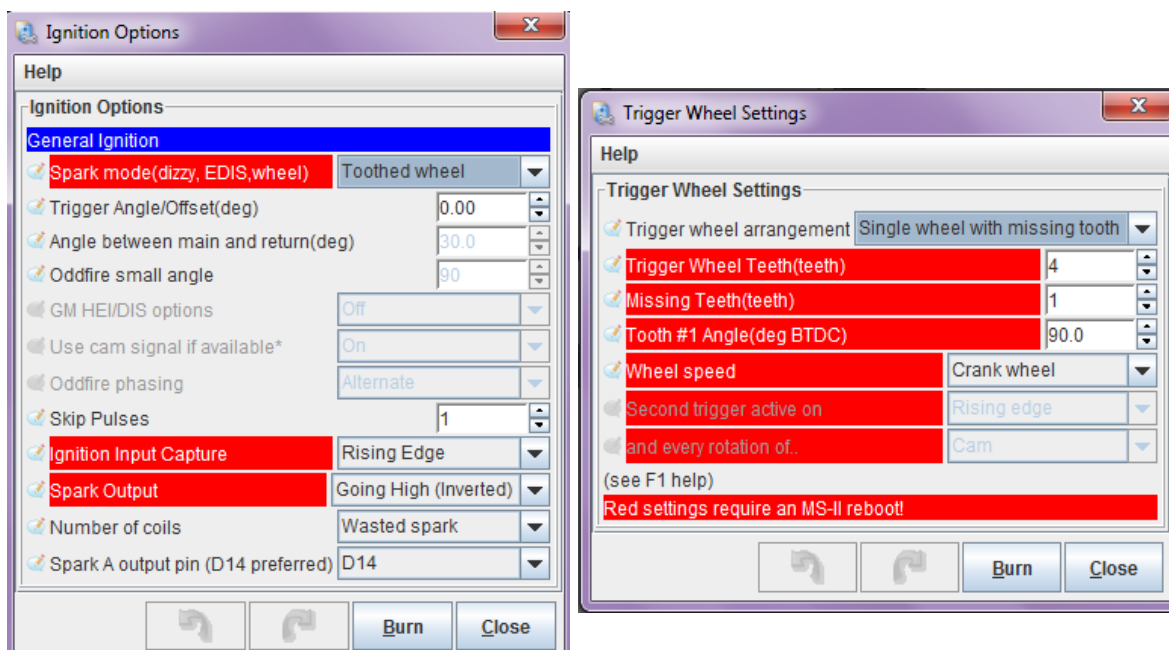


Figura 60 - Menus de configuração e informação do Sistema de Ignição em uso;
Plataforma digital: *Tuner Studio MS*

Configurada a centralina, testa-se o funcionamento do sistema de ignição electronicamente controlado. Para realizar este teste utilizou-se o motor de arranque instalado para accionar o Honda GX25 (sem haver injeção de combustível) e manteve-se o sistema de ignição original do Honda GX25, ou seja, ignição por magneto totalmente independente da centralina. Registou-se o sinal (variação da tensão) enviado pela centralina para o novo sistema de ignição tal como a variação da corrente no sistema de ignição por magneto. A comparação entre a variação da tensão no sistema de ignição controlado pela centralina e a variação da corrente no sistema de ignição por magneto foi conseguida através do *Pico Scope - Automotive Oscilloscope*.

Com o auxílio do *software Pico Scope* consegue-se portanto registar o salto da faísca no sistema de ignição por magneto (variação da corrente) e no sistema de ignição controlado pela centralina (variação da tensão).

A análise dos dados obtidos no programa *Pico Scope* permite avaliar a precisão do sensor Hall, responsável por informar a centralina da posição do êmbolo e verificar se as informações registadas no controlador electrónico referentes ao sistema de ignição se encontram exactas.

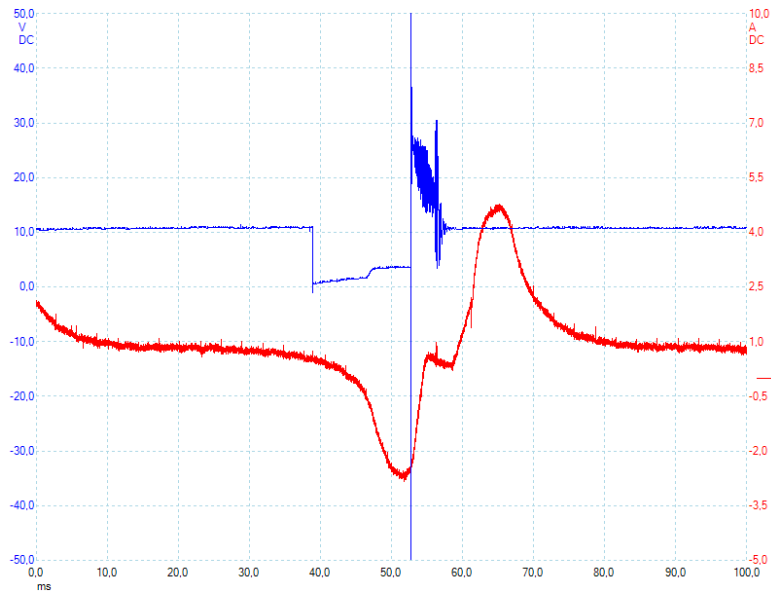


Figura 61 - *Print Screen* retirado do programa *Pico Scope* ilustrando os sinais de ambos sistemas de ignição, vermelho - ignição por magneto, azul - ignição controlada pela centralina.

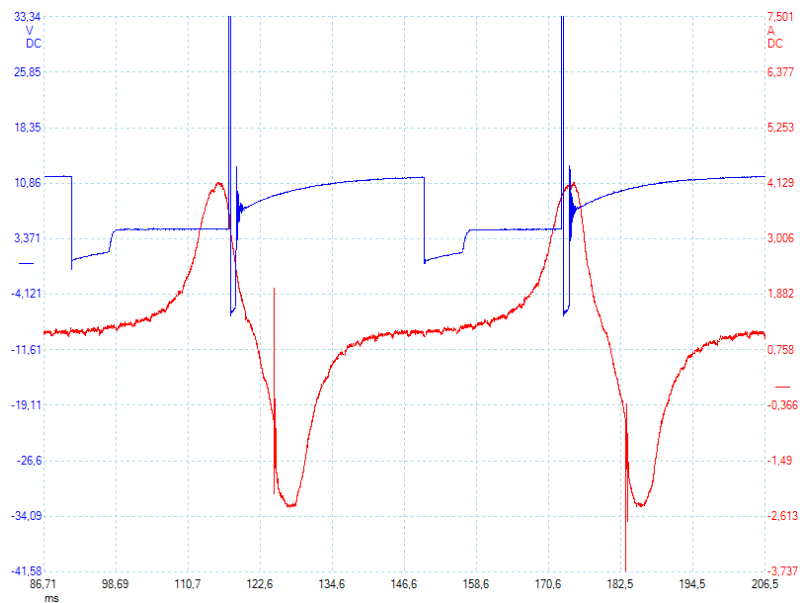


Figura 62 - *Print Screen* retirado do programa *Pico Scope* ilustrando os sinais de ambos sistemas de ignição, vermelho - ignição por magneto, azul - ignição controlada pela centralina.

Na Figura 61 e Figura 62, ilustram-se os sinais vindos dos distintos sistemas de ignição, sendo a ignição por magneto de cor vermelha e a ignição controlada pela centralina de cor azul. Nas Figura 61 e Figura 62 apresentam-se os três cenários possíveis quando comparando as ignições, a Figura 61, apresenta um avançado do sinal a azul, vindo da centralina, em relação ao sinal da ignição por magneto, na Figura 62 estão representados dois disparos da faísca, regista-se no primeiro disparo, o contrário da Figura 61, o salto da faísca acontece primeiro na ignição por magneto estando a ignição electronicamente controlada com um ligeiro atraso, no segundo

disparo, embora que com uma mínima discrepância, considera-se que o salto da faísca coincide nos dois sistemas de ignição.

Para o funcionamento do Honda GX25 com o sistema de ignição electronicamente controlado os picos registado no programa *Pico Scope* têm de coincidir sempre, ou seja, não se pode registar nem avanço nem atraso do salto da faísca. Logo foi necessário verificar a precisão do sensor Hall, verificando o ângulo entre o íman 1 do disco de ímanes e o ponto morto superior tal como realizar algumas alterações na tabela de avanço da ignição original do controlador electrónico (Tabela 1).

Uma vez comprovada a precisão do sensor de Hall mantiveram-se discrepâncias entre os dois sistemas de ignição logo, foi necessário realizar algumas alterações na tabela de avanço da ignição. O controlador electrónico apresenta uma tabela de avanço da ignição de origem (Tabela 1 e Figura 63), esta tabela pressupõe o controlo de um motor de automóvel pois, as centralinas *MegaSquirt* são maioritariamente utilizadas para controlo de motores de automóveis. Um motor automóvel de combustão interna e ignição por faísca funciona a rotações menores que o Honda GX25 logo o avanço da ignição tem de ser mais progressivo para o Honda GX25. Foram portanto realizadas alterações na tabela de avanço da ignição para compensar o alto regime de funcionamento do Honda GX25 (Tabela 2 e Figura 64).

Tabela 1 - Tabela de Avanço de Ignição original da centralina *MegaSquirt II*; fonte *Tuner Studio MS*.

The screenshot shows a software window titled "Spark Advance Table1" with a "3D View" checkbox. The main area is a grid with throttle position (%) on the y-axis and RPM on the x-axis. The y-axis values are 100.0, 95.0, 90.0, 80.0, 70.0, 60.0, 55.0, 50.0, 40.0, 30.0, 25.0, and 20.0. The x-axis values are 800, 1100, 1200, 1500, 2000, 2500, 2700, 3500, 4000, 4500, 5000, and 5500. The grid contains numerical values representing degrees of advance, ranging from 8.0 to 39.0. Below the grid are buttons for "Burn" and "Close".

Throttle (%)	800	1100	1200	1500	2000	2500	2700	3500	4000	4500	5000	5500
100.0	18.0	18.0	18.0	18.0	22.0	28.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
95.0	18.0	18.0	18.0	18.0	22.0	28.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
90.0	18.0	18.0	18.0	18.0	22.0	29.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0
80.0	12.0	12.0	16.0	18.0	22.0	29.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
70.0	12.0	12.0	16.0	18.0	22.0	36.0	36.0	36.0	34.0	34.0	34.0	34.0
60.0	8.0	8.0	10.0	18.0	22.0	36.0	36.0	36.0	34.0	34.0	34.0	34.0
55.0	8.0	8.0	8.0	18.0	22.0	34.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
50.0	8.0	8.0	8.0	19.0	22.0	28.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
40.0	8.0	8.0	8.0	19.0	22.0	26.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
30.0	8.0	8.0	8.0	19.0	22.0	26.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
25.0	8.0	8.0	14.0	18.0	21.0	24.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
20.0	8.0	8.0	14.0	18.0	26.0	30.0	39.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0

rpm: 1100
ignload: 25.0
Selected deg: 8.0

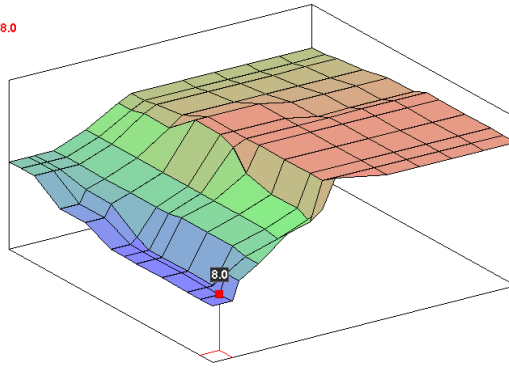


Figura 63 - Mapa Tridimensional da Tabela 1 do Avanço da Ignição; fonte: *Tuner Studio MS*

Tabela 2 - Tabela de Avanço da Ignição após alterações

ignload %	rpm												
	800	1100	1200	1500	2000	2500	2700	3500	4000	4500	5000	5500	
100.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	12.0	12.0	18.0	18.0	20.0
95.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	12.0	12.0	18.0	18.0	20.0
90.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	12.0	12.0	19.0	19.0	21.0
80.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	12.0	12.0	19.0	19.0	22.0
70.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	12.0	12.0	24.0	24.0	24.0
60.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	12.0	12.0	24.0	24.0	24.0
55.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	12.0	12.0	24.0	24.0	26.0
50.0	8.0	8.0	8.0	9.0	9.0	9.0	9.0	12.0	12.0	18.0	18.0	26.0	26.0
40.0	8.0	8.0	8.0	9.0	9.0	9.0	9.0	12.0	12.0	16.0	16.0	26.0	26.0
30.0	8.0	8.0	8.0	9.0	9.0	9.0	9.0	12.0	12.0	16.0	16.0	26.0	26.0
25.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	11.0	11.0	14.0	14.0	26.0	26.0
20.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	16.0	16.0	20.0	20.0	26.0	26.0

rpm: 1100
ignload: 25.0
Selected deg: 8.0

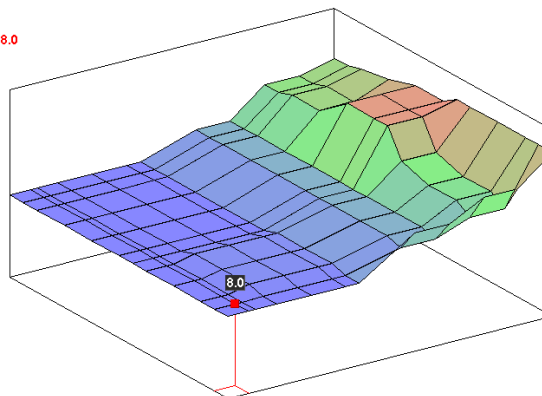


Figura 64 - Mapa Tridimensional da Tabela 2 do Avanço da Ignição; fonte *Tuner Studio MS*

A Tabela 1 compreende os valores do avanço da ignição originais do controlador electrónico, na Tabela 2, demonstra-se a tabela utilizada para este trabalho prático. As alterações realizadas pretendem compensar o funcionamento a rotações mais elevadas do Honda GX25.

Comparando as Tabela 1 e Tabela 2 regista-se que a diferença entre estas consiste apenas em diminuir o valor do avanço da ignição para toda a gama de rotações. As Figura 63 e Figura 64 mostram o mapa tridimensional das Tabela 1 e Tabela 2, a comparação das figuras permite uma mais fácil interpretação das alterações realizadas. Na configuração original do controlador, Figura 63, os valores do avanço da ignição aumentam notavelmente quando o motor atinge as 1200 RPM, sendo contínuo o aumento do valor do avanço da ignição até aproximadamente as 3000 RPM, note-se na Figura 63 que a cor azul, representa um avanço pequeno (entre 0° e 15°) e a cor vermelha representa um grande avanço da ignição (superior a 20°). Como o Honda GX25 utilizado para este trabalho prático apresenta um valor de RPM bastante superior ao de um veículo automóvel, foi necessário retardar acentuadamente o aumento do avanço da ignição, para tal, apenas se removeu as colunas da Tabela 1 respectivas a elevadas rotações e alongou as colunas respectivas às baixas rotações. Atentando a Figura 64, e comparando a mesma com a Figura 63, nota-se que as alterações realizadas na Tabela 1, dando origem na Tabela 2, resumem-se ao aumento da zona azul retardando portanto o incremento do valor do avanço da ignição. Utilizou-se o método de teste descrito previamente e a plataforma *PicoScope* para conferir as alterações realizadas na tabela sendo a Figura 65 o resultado, como se pode ver os picos de tensão e corrente (tensão - azul e respectivo aos sistema electronicamente controlado; corrente - vermelho e respectivo ao sistema de ignição por magneto) encontram-se coincidentes, concluindo-se portanto os sistemas de ignição e injeccção do Honda GX25 são agora electronicamente controlados.

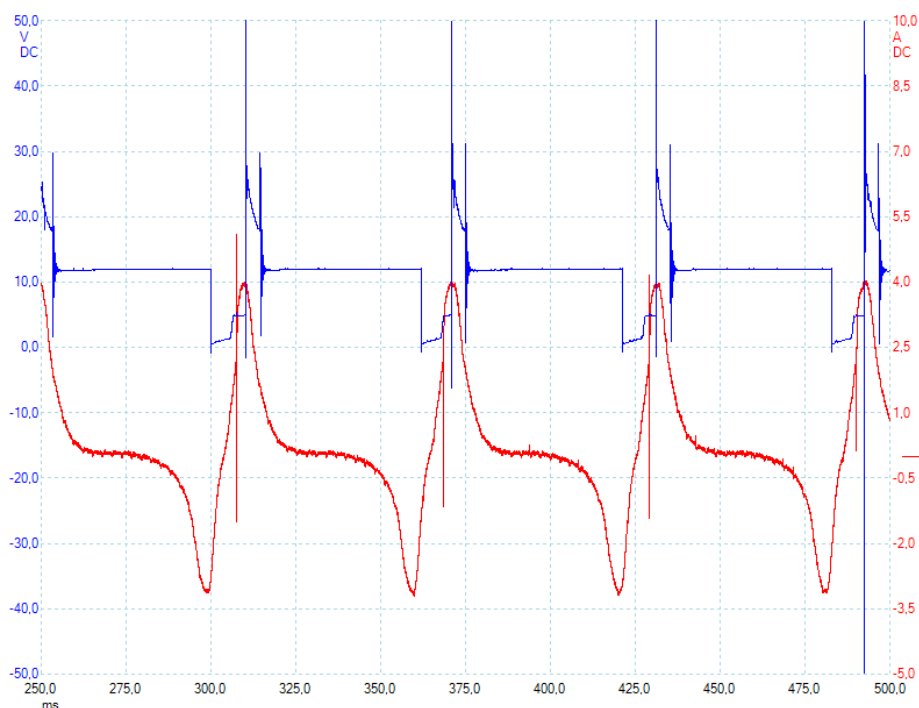


Figura 65-PrintScreen do programa *PicoScope* ilustrando os saltos de fâsca do sistema de ignição por magneto e do sistema de ignição electronicamente controlado quando utilizada a Tabela 2.

4.3. TESTES - BANCO DE ENSAIOS

Uma vez alcançado o objectivo de dotar o motor Honda GX25 de um sistema de ignição e injeção electrónica, reside apenas o objectivo de comparar o desempenho do Honda GX25 original, dados disponibilizados pela *Honda Engines* [1], com o desempenho do Honda GX25 electronicamente controlado.

Para realizar este teste recorreu-se ao banco de ensaio disponibilizado pelo Departamento de Electromecânica, Figura 47. No banco de ensaio o Honda GX25 encontra-se ligado, através de uma correia, a um disco de inércia de características conhecidas, como o disco é demasiado pesado para o pequeno GX25 o mover sem recurso de embraiagem, colocou-se uma simples embraiagem centrífuga no final da cambota do Honda GX25.

Para testar o desempenho do Honda GX25 assegurou-se que todos os componentes estavam ligados e que havia suficiente gasolina no depósito. Posto isto, ligou-se o motor de arranque que por sua vez accionou o Honda GX25. Durante o teste todos os parâmetros sobre os quais a centralina tinha controlo foram registados, para serem depois analisados.

Uma vez em funcionamento, deixou-se o Honda GX25 aquecer até uma temperatura de aproximadamente 70 °C, pois para maior rigor no teste efectuado a temperatura durante o teste deve ser semelhante à temperatura média de funcionamento de um motor alternativo de ignição por faísca.

Quando a temperatura do óleo dentro do cárter do Honda GX25, se encontrava perto dos 70 °C, acelerou-se o máximo possível, *WOT - Wide Open Throttle*, para registar o *performance* máximo do Honda GX25 electronicamente controlado.

5. RESULTADOS

Durante o período de funcionamento do Honda GX25 controlado pela centralina, os parâmetros controlados pela centralina foram registados. No entanto, para avaliar a *performance* do motor ir-se-á focar num intervalo de tempo específico, em que o motor acelerou o máximo possível. A Figura 66, imagem retirada do programa *Mega Log Viewer*, representa o intervalo de tempo referido, corresponde a uma situação *WOT*, no qual se pode identificar a abertura da válvula borboleta, e um ligeiro incremento nas RPM. Será através da variação de parâmetros como as RPM que se calculará os valores da potência e binário respectivos ao Honda GX25 electronicamente controlado.

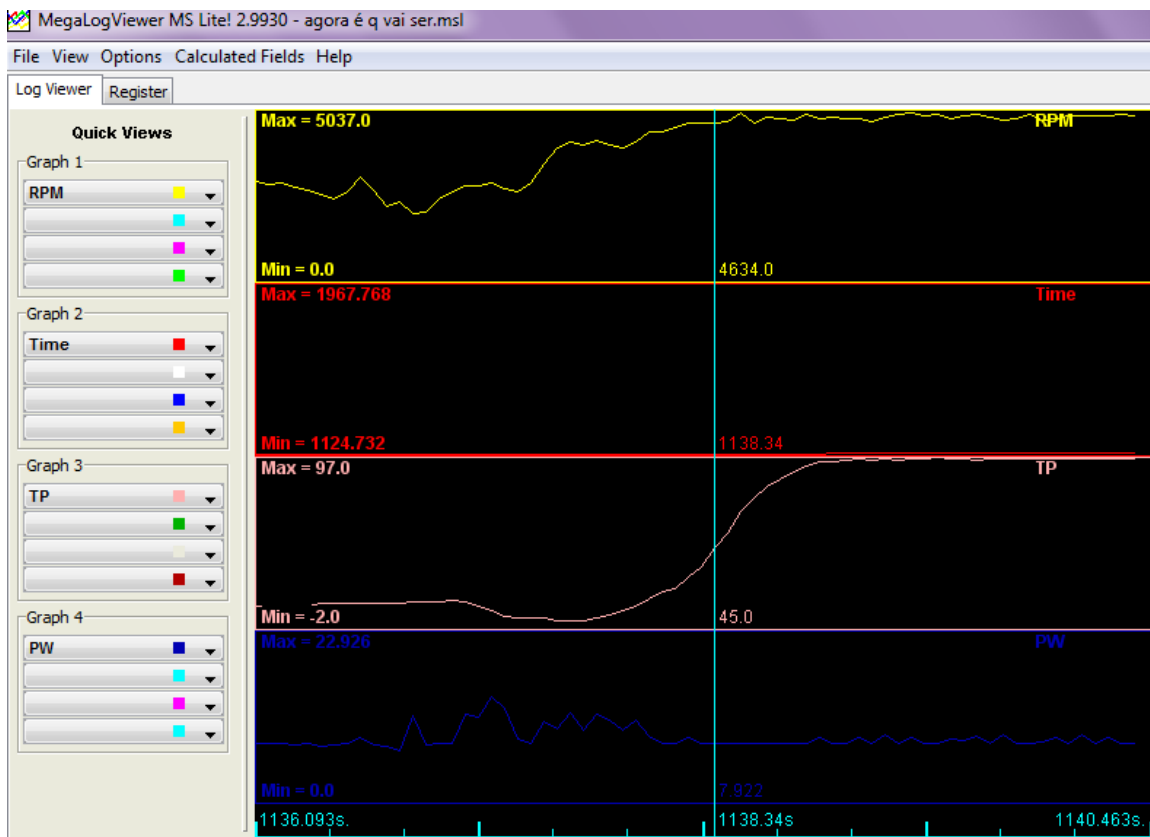


Figura 66 - *PrintScreen* retirado da plataforma *Mega Log Viewer* respectivo ao intervalo de tempo para o qual serão feitos os cálculos de performance.

Os gráficos das figuras seguintes, Figura 67, Figura 68 e Figura 69, ilustram os parâmetros individualmente:

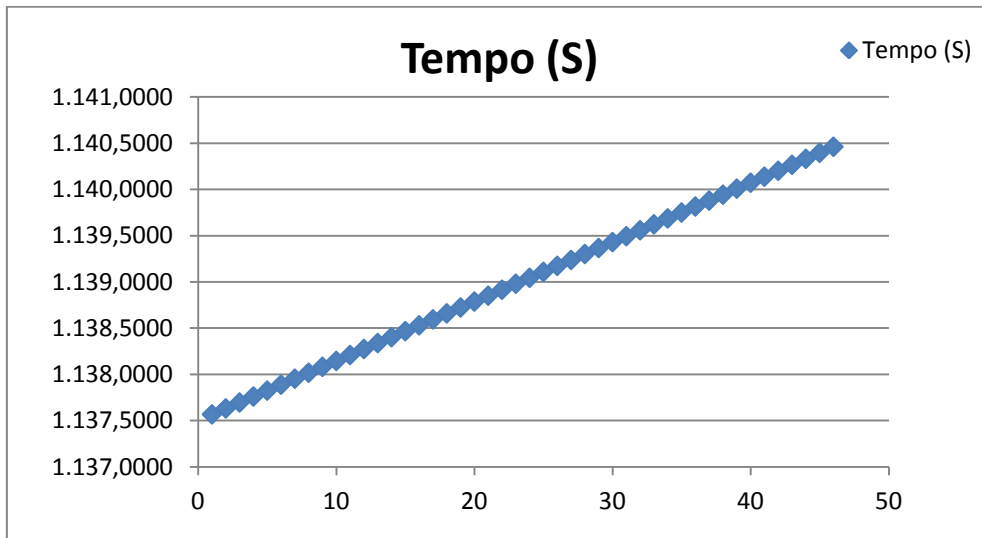


Figura 67 - O gráfico serve simplesmente para concluir que o registo do tempo do teste está preciso.

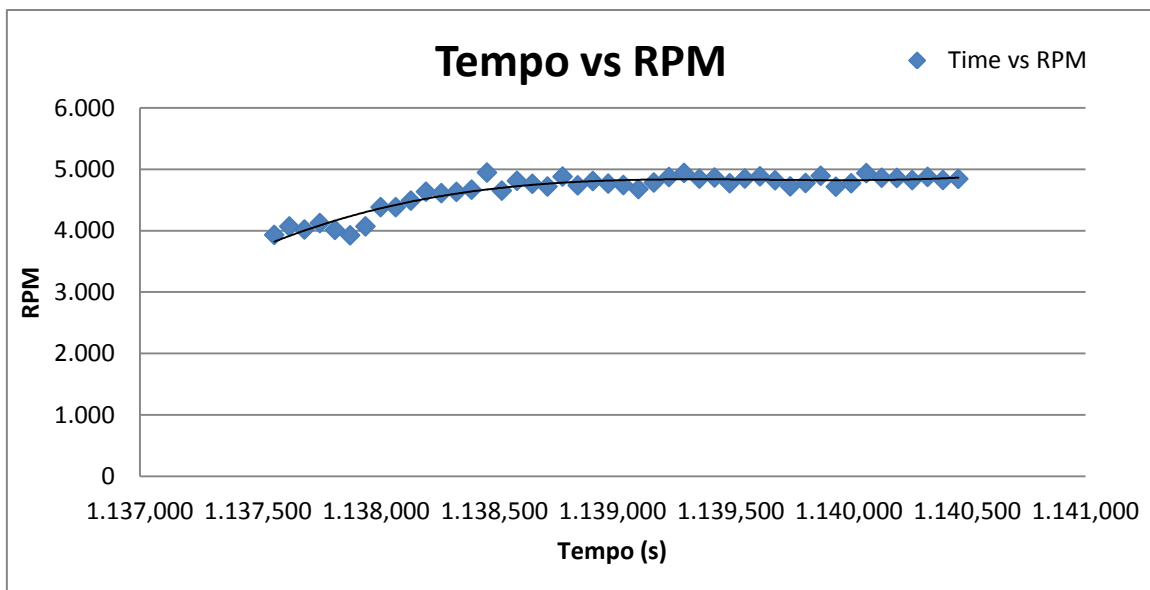


Figura 68 - Variação do valor das RPM com o tempo.

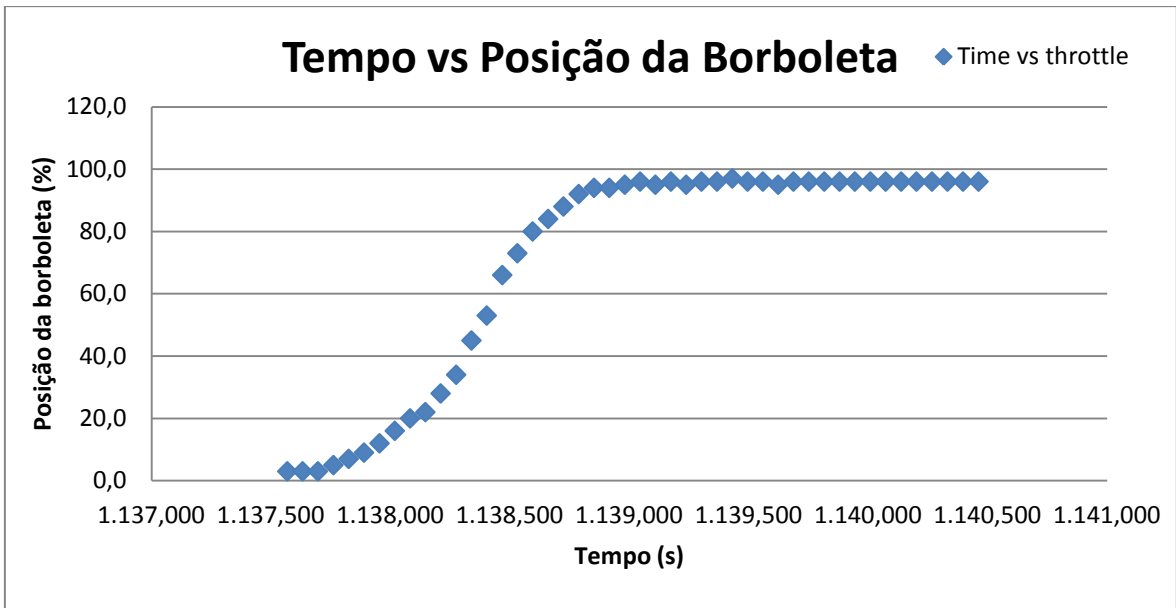


Figura 69 - Variação da posição da Válvula Borboleta com o tempo.

As Tabela 3 e Tabela 4 representam o valor do rendimento volumétrico tal como o valor do avanço da ignição respectivamente.

Tabela 3 - Tabela do programa *Mega Log Viewer*, ilustrando os diferentes valores da eficiência volumétrica.

veTable2																
100	78	85	90	95	99	101	104	109	115	118	117	112	110	108	106	104
98	76	84	89	94	98	100	103	108	114	117	116	111	109	107	105	103
95	75	83	88	93	97	99	102	107	113	116	115	110	108	106	104	102
90	74	82	87	92	96	98	101	106	112	115	114	109	107	105	103	101
85	74	81	86	91	95	97	100	105	111	114	113	108	106	104	102	100
80	72	77	82	87	90	93	95	100	105	109	108	103	101	99	97	95
75	68	70	73	78	81	83	86	90	94	98	97	93	91	89	87	85
70	65	66	69	73	76	78	82	86	90	93	92	88	86	84	82	80
65	61	62	65	69	72	75	79	82	85	89	88	84	82	80	78	76
60	57	59	61	65	69	72	76	78	81	85	85	80	78	76	74	72
55	52	51	52	55	62	67	71	73	75	79	77	71	69	67	65	63
50	48	46	48	50	58	65	69	71	73	77	75	69	67	65	63	61
45	43	42	43	45	54	63	66	69	71	75	73	67	65	63	61	59
40	38	37	39	44	53	61	65	67	69	73	71	66	64	62	60	58
35	29	29	32	38	46	53	56	60	63	66	65	62	60	58	58	57
30	26	26	29	34	40	46	50	55	58	61	61	60	59	59	58	58
	502	801	1101	1401	2001	2601	3101	3700	4300	4900	5400	6000	6500	7000	7200	7500

Tabela 4 - Tabela do programa *Mega Log Viewer*, ilustrando os valores do avanço da ignição tal como os restantes valores de avanço da ignição.

advanceTable1												
100	18.0	18.0	18.0	18.0	22.0	28.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
95	18.0	18.0	18.0	18.0	22.0	28.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
90	18.0	18.0	18.0	18.0	22.0	29.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0
80	12.0	12.0	16.0	18.0	22.0	29.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
70	12.0	12.0	16.0	18.0	22.0	36.0	36.0	36.0	34.0	34.0	34.0	34.0
60	8.0	8.0	10.0	18.0	22.0	36.0	36.0	36.0	34.0	34.0	34.0	34.0
55	8.0	8.0	8.0	18.0	22.0	34.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
50	8.0	8.0	8.0	19.0	22.0	28.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
40	8.0	8.0	8.0	19.0	22.0	26.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
30	8.0	8.0	8.0	19.0	22.0	26.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
25	8.0	8.0	14.0	18.0	21.0	24.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
20	8.0	8.0	14.0	18.0	26.0	30.0	39.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
	800	1100	1200	1500	2000	2500	2700	3500	4000	4500	5000	5500

Outro parâmetro respectivo ao funcionamento do motor que o programa *Mega Log Viewer* apresenta é o valor do *Pulse Width*. É através desse valor que se encontra o combustível gasto pelo Honda GX25 durante o teste.

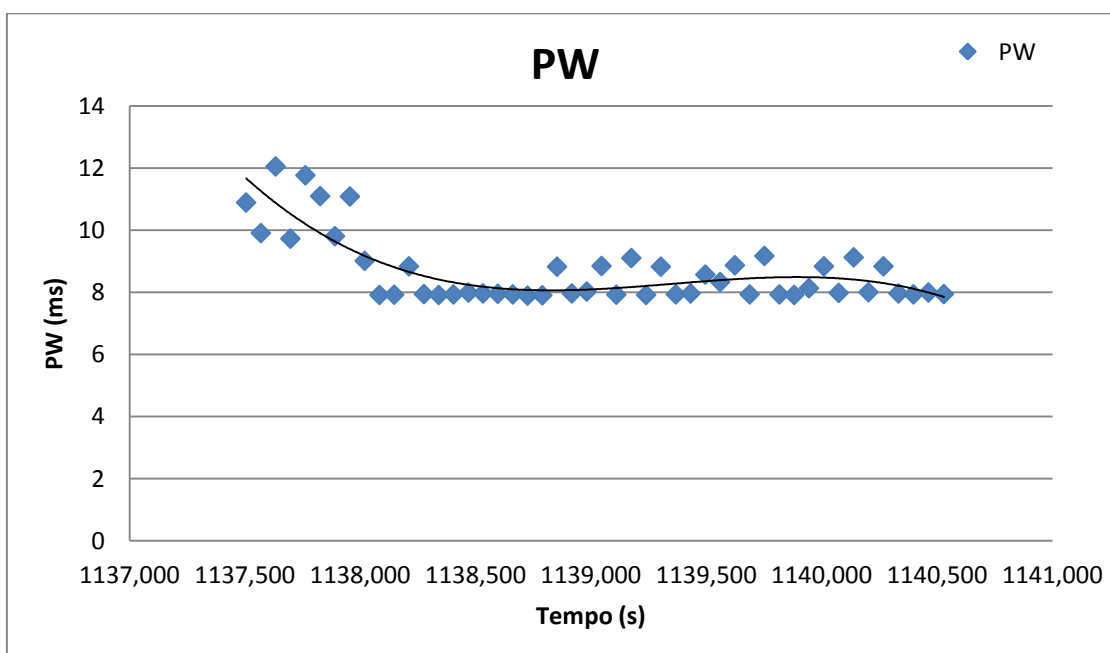


Figura 70 - Variação do valor de *Pulse Width* ao longo do teste realizado.

5.1. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Através dos resultados descritos no Capítulo 0 consegue-se saber com maior pormenor o desempenho do Honda GX25 com sistemas de injeção e ignição electrónicos. O teste ao motor foi conduzido no banco de ensaio, Figura 47, que apresenta um pesado disco de metal, de características conhecidas,

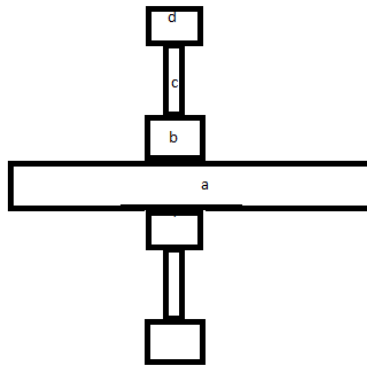


Figura 71 - Esquema representativo do disco de inércia presente no banco de ensaio.

Conhecido o momento de inércia do disco, Figura 71, e assumindo que a velocidade de rotação do motor é equivalente à velocidade de rotação do disco de inércia consegue-se calcular os valores do binário e potência produzidos pelo Honda GX25 durante o teste, sendo o valor do atrito desprezado.

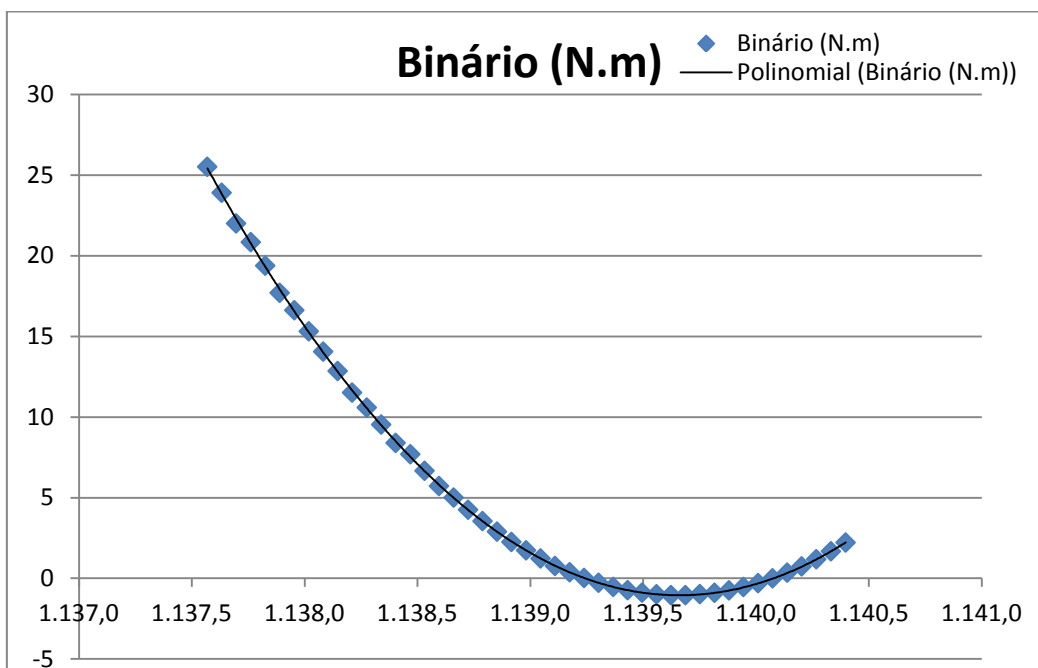


Figura 72 - Curva de Binário do Honda GX25, durante o intervalo de estudado.

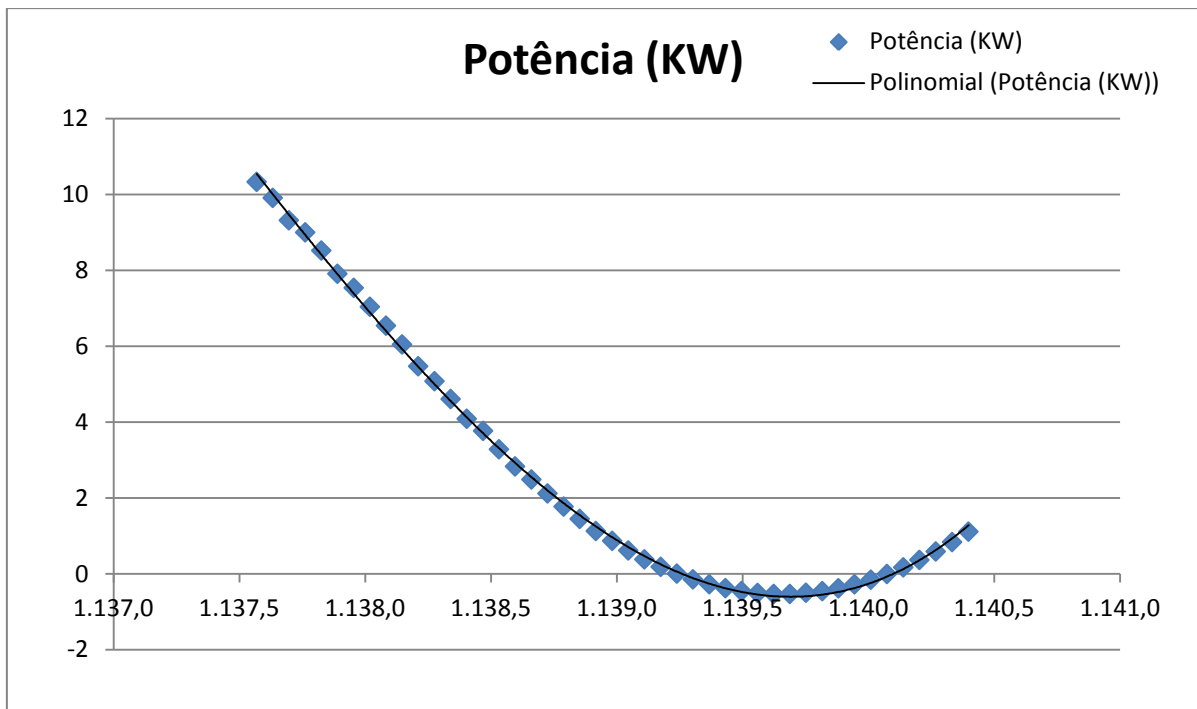


Figura 73 - Curva de Potência do Honda GX25, durante o intervalo estudado.

Os gráficos de Binário e Potência, Figura 72 e Figura 73, representam os cálculos encontrados no Anexo 5. Atentando tanto a Curva de Binário como a Curva de Potência concluí-se erradamente que no início do teste o motor estaria a produzir muito mais binário e potência que no final do teste. No entanto, os valores exagerados de potência e de binário são resultado do peso demasiado elevado do disco de inércia.

O Honda GX25 testado encontra incorporado uma simples embraiagem centrífuga para que o motor possa funcionar num maior leque de circunstâncias. Como o disco de inércia utilizado para este teste apresentava uma massa de aproximadamente 8 kg (Anexo 5), o pequeno Honda GX25 não consegue puxar o disco à sua velocidade de rotação e há escorregamento da embraiagem. Como resultado do escorregamento e revendo o gráfico da velocidade de rotação, Figura 68, nota-se diversos picos no valor da rotação tal como um incremento considerável do valor de RPM no primeiro segundo do teste.

O escorregamento e consequente aumento irregular do valor de RPM proporcionam um valor de binário e potência muito elevados, na ordem das 20 vezes maior que os valores fornecidos pela *Honda Engines*.

Contudo, durante o teste o valor de combustível injectado pode ser facilmente calculado, Anexo 5, sabido o caudal de injeção do injector, valor constante 10 g/min (Anexo 4), e registados os valores de *Pulse Width* enviados para o injector pela centralina consegue-se calcular (Anexo 5) o consumo do Honda GX25 electronicamente controlado.

O combustível utilizado pelo Honda GX25 electronicamente controlado durante os aproximadamente 3 segundos do teste é de 0,069 gramas. Considerando a densidade da gasolina 0,7475 Kg/L, obtêm-se um consumo de 0,110 L/hr.

O valor do consumo pode ser comparado com o valor do consumo do Honda GX25 original. De acordo com o manual do motor Honda GX25, este motor apresenta um consumo de 340 g/kWh. [2]

Se admitirmos uma potência média de funcionamento de 0,7 kW para o Honda GX25 original e electronicamente controlado consegue-se uma avaliação ao consumo do Honda GX25, note-se que a duração do teste é reduzida logo uma discrepância é compreensível.

Consumos:

Honda GX25 original - 340 g/kWh

Honda GX25 electronicamente controlado - 118,1 g/kWh

Relação entre motores - 2,88

Duração do teste - 3,025 segs

Pode-se portanto afirmar que o Honda GX25 electronicamente controlado, embora que durante um período de tempo reduzido, apresenta um menor consumo que o Honda GX25 original. No entanto, o escorregamento da embraiagem que influenciou gravemente os gráficos de binário e potência, também influí no valor do consumo pois em períodos de escorregamento, saliente-se novamente a pequena dimensão do intervalo de teste, o motor trabalha em menor carga, o que faria o consumo descer ligeiramente.

Uma análise dos resultados obtidos, apesar de influenciados pelo peso elevado do disco de inércia e a embraiagem, demonstram o funcionamento sustentável e íntegro de um motor electronicamente controlado. No qual, todos os sensores informam a centralina das características do motor múltiplas vezes por segundo, para que a centralina possa controlar eficientemente o sistema de injeção e o sistema de ignição.

6. CONCLUSÃO

6.1. SÍNTESE

Resumindo este trabalho prático, deve salientar-se que se conseguiu o controlo electrónico do motor Honda GX25, através da implementação de diversos sensores para informação de características do motor como, velocidade de rotação, temperatura do ar, temperatura de funcionamento do motor, entre outros.

O controlo electrónico do Honda GX25 consistiu em responsabilizar uma centralina, Figura 28, pelo controlo do sistema de injeção de combustível e do sistema de ignição. O primeiro sistema que foi implementado no Honda GX25 foi o sistema de injeção de combustível. O sistema de injeção de combustível sucintamente consiste no controlo de um injector pela centralina.

Contudo para cálculo do valor de combustível a injectar a centralina necessita de informação sobre diversos parâmetros de funcionamento do motor:

- Temperatura do Ar no Colector de Admissão: Sensor IAT (Figura 34)
- Pressão no Colector de Admissão: Sensor MAP (Figura 16)
- Temperatura do Motor: Sensor CLT (Figura 34)
- Posição da Borboleta: Sensor TPS (Figura 41)
- Velocidade de Rotação do Motor: Sensor Hall (Figura 43)

A integração de cada sensor no Honda GX25 envolveu a elaboração de diversas peças para suporte ou auxílio. Uma extensão do colector de admissão, Figura 40, suporta e permite as leituras dos Sensor IAT e Sensor MAP, e assegurando o suporte do injector, Figura 14. No final da extensão do colector de admissão incorporou-se o carburador original do Honda GX25, utilizando apenas a sua válvula borboleta para controlo da aceleração, a posição da válvula borboleta é verificada pelo Sensor TPS. Por fim, através de um disco com três ímanes, Figura 45, ligado à cambota do Honda GX25, o Sensor Hall altera o seu sinal com a passagem de cada íman. A centralina converte as alterações do sinal enviado pelo Sensor Hall em velocidade de rotação. A centralina uma vez informada pelos Sensores IAT, MAP, CLT, TPS e Hall calcula a quantidade de combustível a injectar, e informa o injector de quando tempo permanece aberto para que a correcta quantidade de combustível seja injectada.

Uma vez conseguido o funcionamento do sistema de injeção de combustível seguia-se o sistema de ignição, inicialmente o Honda GX25 produzia a faísca na vela de ignição, Figura 59, através de um sistema de ignição por magneto totalmente mecânico.

A implementação do sistema de ignição consistiu em ligar a centralina a um módulo de ignição, que por sua vez estava ligado a uma bobina, que ligava com a vela de ignição onde seria disparada a faísca conforme a centralina comandava. (Figura 59)

No sistema de ignição electronicamente controlado a centralina administra o salto da faísca, ou seja, a centralina necessita de informação precisa e correcta da posição do êmbolo. O sensor responsável por informar a centralina sobre a posição do êmbolo é o Sensor Hall. O Sensor Hall é auxiliado por um disco com três ímanes, cuja centralina conhece os ângulos entre cada íman e entre os ímanes e o ponto morto superior, com a passagem de cada íman e conseqüente sinal enviado pelo Sensor Hall a centralina consegue saber com considerável precisão a posição do êmbolo.

A verificação da precisão do Sensor Hall foi conseguida com o auxílio do sistema de ignição por magneto original do Honda GX25. Através do programa *Pico Scope*, comparou-se os disparos da faísca dos dois sistemas de ignição, o sistema de ignição por magneto original e o sistema de ignição electronicamente controlado, Figura 61. Foram feitos ajustes na tabela de avanço da ignição original, Tabela 1, para sincronizar os sistemas de ignição, uma vez sincronizados, removeu-se por completo o sistema de ignição por magneto e conseguiu-se o controlo electrónico do Sistema de Ignição tal como o controlo electrónico do Sistema de Injeção de combustível.

No Capítulo 0 e 5.1 descreve-se e avalia-se os testes efectuados ao motor Honda GX25, com a finalidade de encontrar os valores de binário e potência tal como consumo específico do Honda GX25 electronicamente controlado. O teste foi realizado num banco de ensaio, Figura 47, onde o Honda GX25 puxou uma roda de inércia de aproximadamente 8 quilogramas. O motor Honda GX25 para poder trabalhar cargas mais elevadas incorpora uma embraiem centrífuga que durante os testes realizados criou diversas situações de escorregamento. O escorregamento da embraiagem traduziu-se em valores de binário e potência demasiado elevados. Quando a embraiagem escorrega o motor trabalha aproximadamente em vazio sendo as suas performances inválidas para avaliação. (Figura 72; Figura 73)

Contudo, o valor do consumo do Honda GX25 electronicamente controlado apresentou-se notavelmente menor que o consumo proposto pela *Honda Engines* para o Honda GX25 original, Capítulo 5.1. No entanto, este valor é também influenciado por situações de escorregamento, pois quando o motor escorrega e trabalha em vazio o consumo nesse instante é diminuído.

6.2. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta dissertação conseguiu-se implementar sistemas de injeção e ignição de controlo electrónico num motor de combustão interna. No motor utilizado, o Honda GX25, foram incorporados diversos sensores e um injector controlados por uma centralina *MegaSquirt MS-II*. A centralina encarrega-se de realizar os cálculos relativos à quantidade de combustível a injectar e ao salto da faísca na vela de ignição.

A implementação dos sistemas de injeção e ignição electronicamente controlados, ou seja, de uma centralina controlar o funcionamento do Honda GX25, foi feita na virtude de melhorar o *performance* do motor de combustão de pequeno porte que é o Honda GX25. No entanto, os testes realizados no motor electronicamente controlado mostraram-se inconclusivos pois o banco de ensaio utilizado apresentava um disco de inércia com uma massa demasiada. A massa elevada da roda de inércia causou variações entre a velocidade de rotação do motor e velocidade de rotação da roda que para a avaliação da *performance* se consideraram iguais.

Nota: No Capítulo 6.3 enumeram-se alternativas no método de ensaio para que os resultados obtidos sejam válidos e de possível comparação com o Honda GX25 original da Honda Engines.

Contudo, neste trabalho prático concluí-se que o controlo do Honda GX25 por meio de uma centralina é possível. Para conseguir o controlo do Honda GX25 foi necessário um conhecimento considerável do funcionamento de um motor de combustão interna tal como um estudo sobre a centralina *MegaSquirt II*.

Os sensores colocados no Honda GX25 necessitaram de peças de apoio e suporte que foram desenhadas no programa *Solid Works 2010* e elaborados com o auxílio do Prof. Dr. Francisco Brojo, neste período desta dissertação foram reunidos conhecimentos sobre desenho tridimensional tal como maquinação de peças.

No âmbito da electrónica encontra-se o funcionamento dos sensores e as suas ligações com a centralina e bateria, onde os conhecimentos prévios foram alargados.

Ainda envolvendo a calibração dos sensores tal como informação sobre estes passada para a centralina a plataforma *Tuner Studio MS* mostrou-se acessível. No entanto, diversas alterações e calibrações foram realizadas na duração do trabalho tornando o entendimento do programa *Tuner Studio MS* mais abrangente.

Para avaliação dos resultados, apesar de pouco conclusivos, a plataforma *Mega Log Viewer* mostrou o seu valor tendo sido também alargado o conhecimento sobre este *software* desenvolvido pela *MegaSquirt*.

Resume-se que o controlo electrónico do Honda GX25 é possível ao fim de uma larga dedicação e um aumento considerável no entendimento de Motores de 4 tempos e funcionamento de sistemas de controlo electrónico *MegaSquirt*.

6.3. PERSPECTIVAS FUTURAS

No Capítulo 5.1, Análise de Resultados, afirma-se que o teste realizado no Honda GX25 não possibilita conclusões definitivas pois a roda de inércia do banco de ensaio utilizado, e o método de registo de dados não foram adequados. Na continuação desse tema, um seguimento deste trabalho prático teria de ter esses aspectos em consideração.

Atendendo a que o Honda GX25 é um motor de pequeno porte e portanto, de pouca potência, a roda de inércia utilizada para um futuro teste deveria apresentar dimensões mais reduzidas. Posterior à análise de resultados, cálculos foram efectuados visando determinar a dimensão ideal da roda de inércia para um teste de *performance* como o conduzido nesta dissertação. Assumindo-se uma aceleração entre as 3000 RPM e as 8000 RPM, com uma duração desta aceleração entre os 10 segundos e os 60 segundos, a Figura 74 apresenta os valores do raio do disco de inércia ideais para o Honda GX25.

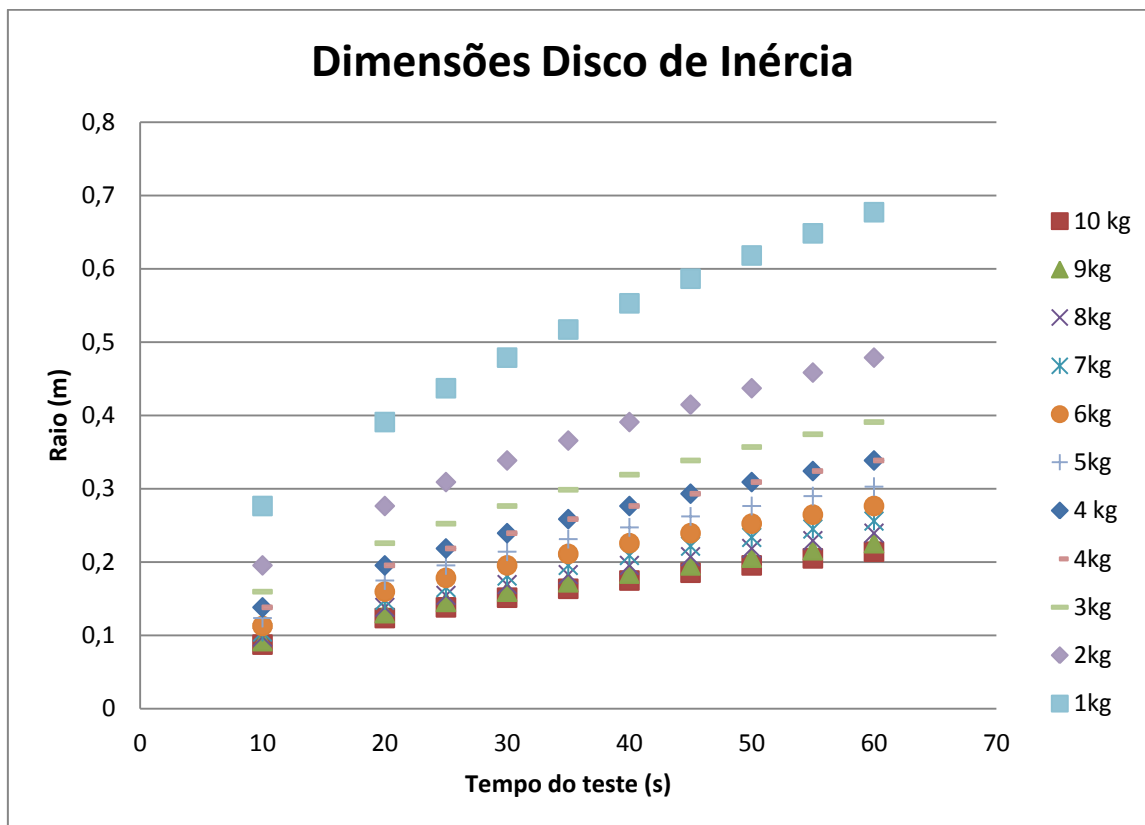


Figura 74 - Gráfico relacionando o tempo de teste com a dimensão do raio do disco de inércia para diferentes valores de peso do disco de inércia. Fonte Autor

No gráfico da Figura 74, varia-se também a massa do disco de inércia, sendo cada linha do gráfico respectiva a um valor da massa, note-se que com o aumento da duração do teste o valor do raio da roda de inércia aumenta, como seria de esperar. Observando uma última vez o gráfico

da Figura 74, concluí-se que um disco de inércia de raio entre os 20 e 30 cm seria ideal, tal como um peso compreendido entre os 4 quilogramas e os 10 quilogramas, pois o tempo de teste ideal, para que uma análise mais detalhada seja possível, compreende-se entre os 40 e os 60 segundos.

Uma vez estabelecidas as dimensões ideais do disco de inércia, outra perspectiva futura desta dissertação prende-se no mapeamento da centralina e portanto melhorias na *performance* do Honda GX25. Para o mapeamento utilizar-se-ia a plataforma *Tuner Studio MS*, que permite alterações em todos os parâmetros do motor controlados pela centralina, desde valores de enriquecimento da mistura para acelerações e arranques a frio como avanços de ignição e controlo da estequiometria da mistura.

No entanto, visando o correcto mapeamento do Honda GX25, sendo este focado num menos consumo específico ou num incremento de potência, o sensor EGO, dispensado nesta dissertação, deve ser incorporado na virtude de informar a centralina das propriedades dos gases de escape e permitir a estas correcções, automáticas ou manuais, das características da injeção.

Quando mapeado e assistido de um sensor EGO e, após testes realizados num banco de ensaio, o Honda GX25 electronicamente controlado pode ser utilizado para competições, nomeadamente a *Shell Eco Marathon*. No entanto, recorde-se que é um motor de reduzidas dimensões e potência, logo, a incorporação de dois Honda GX25 electronicamente controlados seria mais precisa para uma competição do género.

7. BIBLIOGRAFIA

Livros:

- [3] Heywood, John B., **Internal Combustion Engine Fundamentals**, McGraw-Hill, Inc.
- Banish, Greg, **Engine Management - Advanced Tuning**, SA 135, CarTech
- [9] Martins, Jorge, **Motores de Combustão Interna** Publindústria Edições Técnicas, 2005
- Lumley, John L., **Engines an Introduction**, Cambridge University Press, 1999

Artigos:

A study on emission characteristics of an EFI engine with ethanol blended gasoline fuels

Bang-Quan He, Jian-Xin Wang, Ji-Ming Hao, Xiao-Guang Yan, Jian-Hua Xiao

State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Received 10 July 2002; accepted 22 November 2002

Development of the management strategies of the ECU for an internal combustion engine computer simulation

Ernesto Gutiérrez González, Jesús Alvarez Flórez, Sebastián Arab

Thermal Machines Laboratory, Polytechnical University of Catalunya, Barcelona, Spain

Received 2 May 2007; received in revised form 4 October 2007; accepted 21 November 2007
Available online 4 March 2008

Automotive spark-ignited direct-injection gasoline engines

F. Zhaoa, M.C. Laia, D.L. Harringtonb

- *Department of Mechanical Engineering, Wayne State University, Detroit, MI, USA*

- *Thermal and Energy Systems Laboratory, General Motors Research and Development Center, Warren, M, USA*

MegaSquirt A True Low-Budget Multipoint EFI System

Jeff Smith; February, 2009 issue of Car Craft, Photography by Jeff Smith

http://www.carcraft.com/techarticles/116_0403_budget_electronic_fuel_injection/index.html

MegaManual V4.0 for MegaSquirt by Bowling & Grippo:

www.megasquirt.info - http://www.megamanual.com/files/docs/MM40_Wire&Sensor.PDF

MegaManual V4.0 for MegaSquirt by Bowling & Grippo:

www.megasquirt.info - http://www.megamanual.com/files/docs/MM40_V22Assembly.PDF

Mega Log Viewer, EFI Analytics, Phil Tobin & EFI Analytics, 2005-2011

Tuner Studio MS, EFI Analytics, 2007-2010

<http://www.tunerstudio.com/>

Web Sites:

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Gasolina> - Densidade da Gasolina, consultado a 10/5/2012

[1] <http://engines.honda.com/models/model-detail/gx25> - Características do Honda GX25, consultado a 10/10/2010

[2] <http://engines.honda.com/pdf/manuals/37Z6J601.pdf>

- Manual do Honda GX25 (*Honda Owner's Manual GX25.GX35*), consultado a 10/10/2010

[4] http://en.wikipedia.org/wiki/Ford_Model_T_engine - Ford T, características, consultado a 20/1/2011

[5] <http://uk.cars.yahoo.com/car-reviews/car-and-driving/porsche-boxster-2.9-1003240.html> - Porsche Boxter, características, consultado a 20/1/2011

[6] <http://www.infomotor.com.br/site/2009/03/principio-de-funcionamento-do-motor-a-combustao-interna-ciclo-otto/> - Gionei da Rocha e Alan W. Spring, Motores de Combustão Interna, consultado a 25/10/2010

[7]

http://www.bosch.com.au/content/language1/downloads/Map_Sensor_Technical_Specification.pdf - Sensor MAP, consultado a 12/9/2011

[8] http://www.bosch.com.au/content/language1/downloads/sensors_airmass.pdf - Sensor MAF, consultado a 12/9/2011

[10] <http://www.renaultclube.com/tudo-sobre-velas-de-ignicao/> - Velas de Ignição, RCC, escrito a 27/12/2008, consultado a 16/4/2011

[11] http://www.honda-engines-eu.com/en/engines/models_range/m4_range/GX25/index.jsp - Imagem do Honda GX25, consultado a 20/1/2011

<http://www.ebah.com.br/content/ABAAA8pgAC/como-funciona-sistema-ignicao>

- Sistemas de Ignição, Saulo Anderson, UFMG, Engenharia Mecânica, consultado a 2/11/2010

[12] <http://www.fram.com.br/pdf/leve/modulo02.pdf> - Ciclo de Otto e componentes de um motor, consultado a 10/10/2012

[13] <http://chengben.en.made-in-china.com/product/OezxnJTcJNhg/China-Denso-Bosch-Delphi-Marelli-Simens-Fuel-Injector-for-Mitsubishi.html> - Foto do injetor, consultado a 14/5/2012

[14] <http://www.allproducts.com/manufacture100/shangdeautopart/product1.jpg> - Foto de êmbolos, consultado a 5/3/2011

[15] <http://www.kenrockwell.com/bmw/images/m3-2007/crank-781.jpg> - Foto Cambota, consultado a 5/3/2011

[16] http://allsign.com.br/produtos/crf_valves.jpg - Foto válvula, consultado a 5/3/2011

[17] <http://ltodi.est.ips.pt/rclaudio/SM/download/acetatos/FolhasEngrenagens.pdf> - Foto de engrenagens, consultado a 5/3/2011

[18] http://www.tratorpecasbarbosa.meubox.com.br/loading.php?id_foto=32494 - Foto volante do motor, consultado a 5/3/2011

[19] <https://www.pegasusautoracing.com/bigpicture.asp?RecID=9127> - Bloco do motor, consultado a 20/1/2011

[20] http://www.makino.com/industries/parts_production/turnkey_solutions/study.aspx?id=55 - Cabeça do Motor, consultado a 20/1/2011

[21] <http://abibliadocarro.blogspot.pt/2009/12/carter.html> - Cáster, consultado a 20/1/2011

[22] <http://www.youtube.com/watch?v=zUuVQfvWSnl&feature=related> - Funcionamento de um carburador, consultado a 14/2/2011

[23] <http://www.megamanual.com/index.html> - Manuais *MegaSquirt*, consultado a 20/4/2011

[24] <http://www.megasquirt.info> - Manuais *MegaSquirt*, consultado a 20/4/2011

[25] http://mx5unleashed.com/1-pix-mx5/tech/mega-squirt-pnp/wideband-02/LC-1_oxygen-sensor.jpg - Sensor EGO, consultado a 3/4/2011

[26] http://en.wikipedia.org/wiki/Nikolaus_Otto - Nikolaus Otto, consultado a 20/1/2011

<http://www.msefi.com/viewtopic.php?f=29&t=32559> - Fórum sobre *MegaSquirt*, consultado 20/4/2011

<http://pt.wikipedia.org/wiki/OHV> - Funcionamento *over head valve*, consultado a 23/1/2011

http://www.deitamato.com.br/site.00/index.php?option=com_content&task=view&id=170&Itemid=67 - Funcionamento de um carburador, consultado a 20/11/2010

http://www.thisoldtractor.com/gtbender/mg_manuals/dellorto_manual.pdf - Funcionamento de um carburador, consultado a 20/11/2010

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Carburador> - Funcionamento de um carburador, consultado a 20/11/2010

<http://www.tuning.wanadoo.co.uk/carburettor-or-fuel-injection.htm> - Carburador vs Sistema de Injeção, consultado a 14/2/2011

<http://auto.howstuffworks.com/question377.htm> - Funcionamento do carburador, consultado a 20/11/2010

<http://www.reocities.com/hiostar/Material/Motores10.pdf> - Sistemas de Ignição, consultado a 16/4/2011

<http://eaa691.org/files/Tech%20Note%20%232%20Magnetos.pdf> - *Magneto Ignition Systems*; Will Fox May 11, 2008 Technical Counselor, consultado a 16/4/2011

Anexos

Anexo 1 - *Data Sheet* da centralina *MegaSquirt II*

Anexo 2 - *Data Sheets* dos diversos Sensores e módulo de Ignição

Anexo 3 - *Tuner Studio MS - Basic Settings*

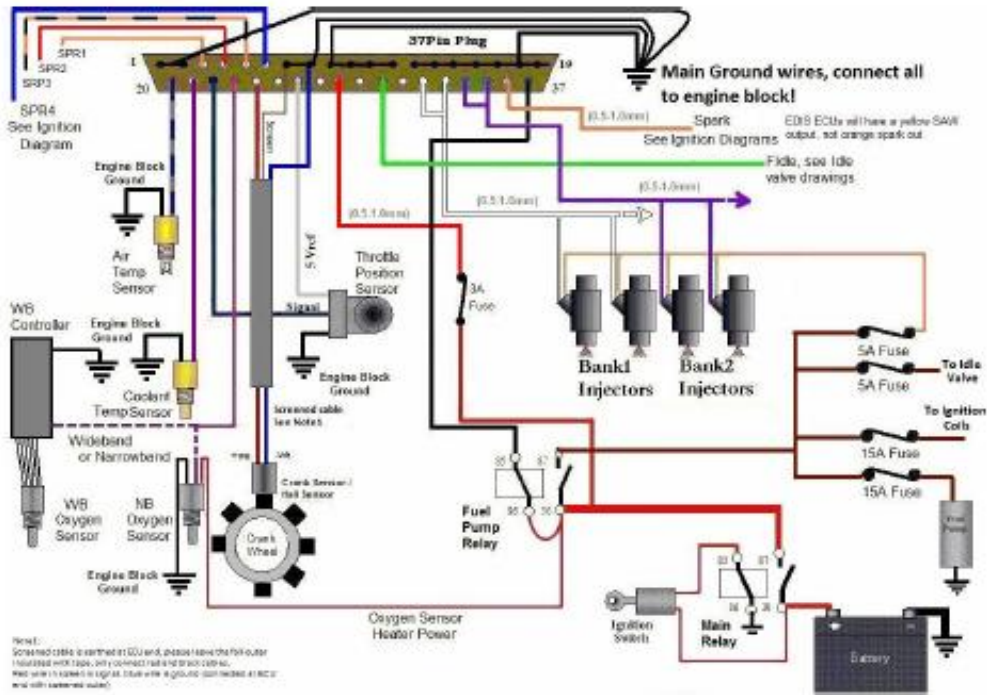
Anexo 4 - *Data Sheet* do Injector











Anexo 5 - Cálculos Elaborados na plataforma *Microsoft Excel*

ANEXO 1



Fuel Wiring Diagram.



- | | |
|--|---|
|  Pin 20 Grey/Blue - Air Temp Sensor |  Pin 28 Red - +12V Ignition 0.5 - 1.0mm |
|  Pin 21 Purple - Coolant Temp Sensor |  Pin 30 Green - Idle Valve |
|  Pin 22 Blue - TPS Signal |  Pin 32,33 White - Injector Bank 1 0.5 - 1.0mm |
|  Pin 23 Pink - Oxygen Sensor |  Pin 34,35 Purple - Injector Bank 2 0.5 - 1.0mm |
|  Pin 26 Grey - 5V for TPS |  Pin 37 Black - Fuel Pump Relay |

Pins 3-6 - SPR 1-4
These are for additional options, see bottom of the ECU for details

 Pin 3 Orange - SPR1	 Pin 5 Orange/Black - SPR3
 Pin 4 Red - SPR2	 Pin 6 Blue - SPR4 0.5 - 1.0mm

Note 1:

Screened cable is earthed at the MS ECU end of the loom. Please leave this insulated at the sensor end, simply connect the red and (black/blue) cables within the screened cable. The red cable, in the screen, is the signal cable, the black/blue cable is ground.

If using Ford EDIS (12 pinned module) then the screened cable goes to the PIP output of the module, not the VR sensor!!

The diagram shows the fuel pump relay providing power to the ignition coils, idle valve, etc. this is a good idea to protect the ECU whilst setting it up as power only gets to the drive components when the ECU sees an RPM.

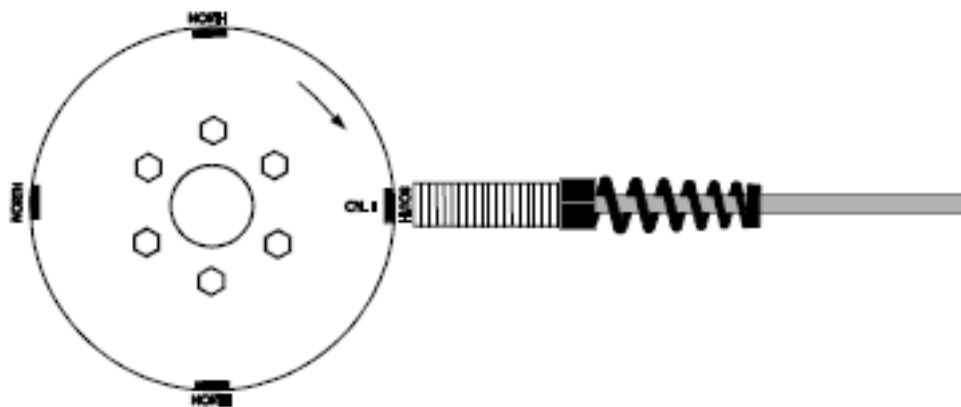
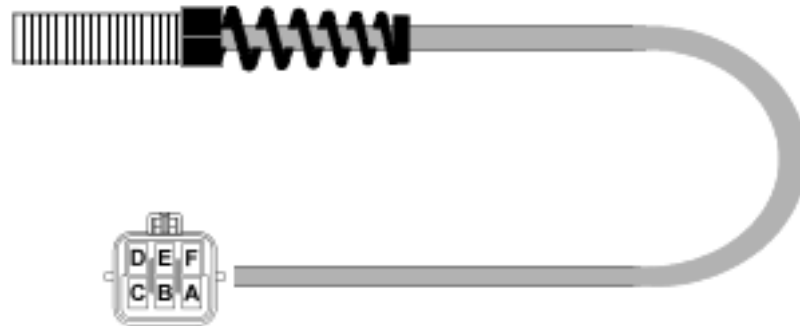
See the relevant ignition diagram for wiring your coils.

ANEXO 2

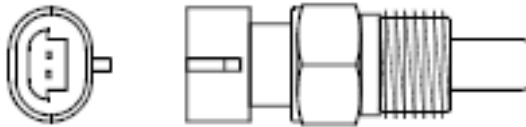
HALL SENSOR

SENSOR PIN OUTS

A	BLUE	GROUND
B	YELLOW	PRIMARY TRIGGER
C	N/C	
D	N/C	
E	GREEN	SECONDARY (HOME) TRIGGER
F	RED	+ 12 VOLTS

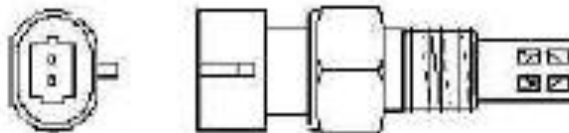


COOLANT TEMPERATURE SENSOR



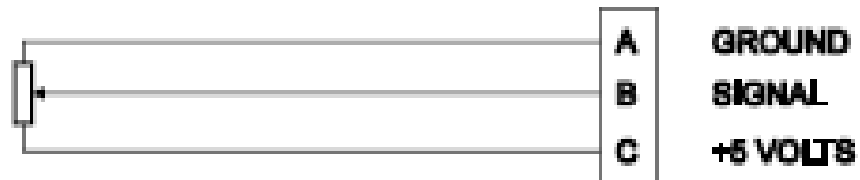
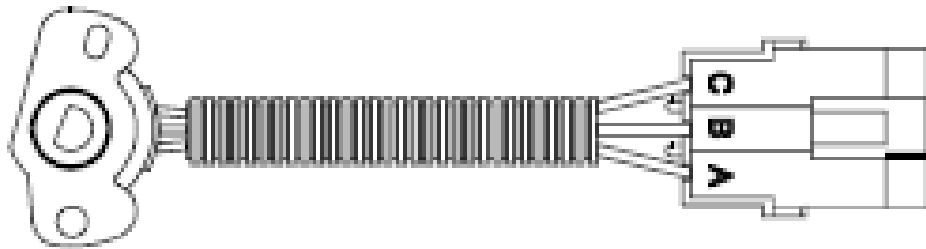
Temp to Resistance Value Approx		
°F	°C	Ω
210	100	185
160	70	450
100	38	1,800
70	20	3,400
40	4	7,500
20	-7	13,500
0	-18	25,000
-10	-40	100,700

INTAKE AIR TEMPERATURE SENSOR

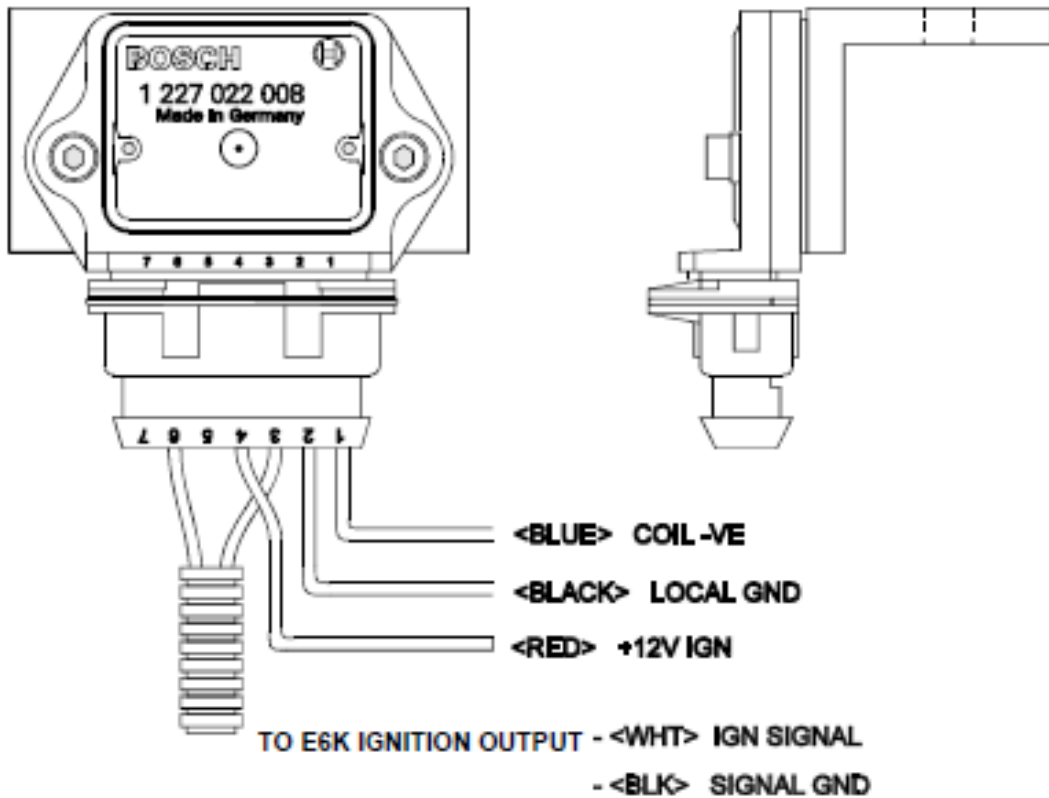


Temp to Resistance Value Approx		
°F	°C	Ω
210	100	185
160	70	450
100	38	1,800
70	20	3,400
40	4	7,500
20	-7	13,500
0	-18	25,000
-10	-40	100,700

THROTTLE POSITION SENSOR



BOSCH IGNITION MODULE



ANEXO 3



MS2-Extra Settings

Basic Settings -

[Engine Constants](#)

[More Constants](#)

[Injector Characteristics](#)

[Tacho input/Ignition Settings](#)

[More Ignition Options](#)

[Noise Filters](#)

[Trigger Wheel Settings \(See the wheels page\)](#)

[Fuel VE Table \(See Tuning Page\)](#)

[Ignition Table \(See Tuning Page\)](#)

[General Lags](#)

[Rev Limiter](#)

[EGO Control \(See Tuning Page\)](#)

Startup/Idle -

[Please See the Tuning Page](#)

Acceleration Wizard

[Acceleration Wizard \(See Tuning Page\)](#)

Extended -

[Output Port Settings](#)

[Barometric Correction](#)

[Cold Advance](#)

[MAT Based Tuning](#)

[MAT Correction](#)

[Knock, Tacho, Launch \(See the drawing page\)](#)

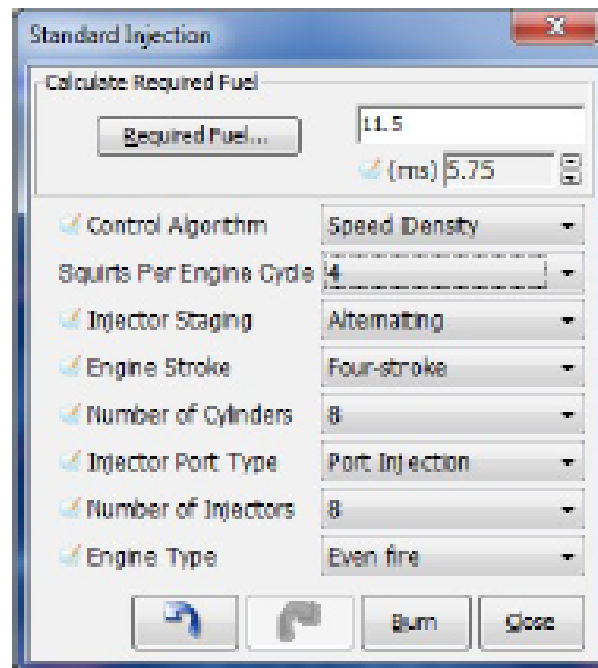
[Over Run Fuel Cut](#)

[Idle Advance](#)

Advanced -

[Dwell Battery Correction](#)

Engine Constants:



Required Fuel – (Req_Fuel) this is top field of the Constants window. It has a calculation dialog to help you find an appropriate value. It should contain the injector pulse width, in milliseconds, required to supply the fuel for a single injection event at stoichiometric combustion and 100% volumetric efficiency.

Control Algorithm - Please see [HERE](#) for more on this.

Change the selection at the top (highlighted RED) to Alpha_N, then save and close the program. The next time MegaTune is opened it will be in Alpha_N mode.

Ensure that the NUMBER of CYLINDERS has been set before using the wizard!

In order to come up with this value, MegaTune provides a calculator that will suffice for 99% of applications (those for which it will not work generally require changes to the MegaSquirt controller code itself, and that is beyond the scope of this manual). To use the wizard, click on the Required Fuel button, and fill in the fields (*Engine Displacement, Number of cylinders, Injector flow, and Air:Fuel ratio(14.7)*), then click 'Okay'.

For a 4-stroke, a complete stroke cycle is 720 degrees of crankshaft rotation (i.e. two revolutions); for a 2-stroke, it is 360 degrees (this is also factored in the REQ_FUEL value down loaded to MegaSquirt).

In the tuning software, the **upper REQ_FUEL box** is the amount per cylinder, as noted above. The **lower REQ_FUEL box** is the value down loaded to MegaSquirt. It is the REQ_FUEL number on top, but scaled by your selected injection mode (number of squirts and alternate/simultaneous), this can be ignored as it is the upper number that's the important value.

For example, if you inject simultaneous and one injection, and have the same number of injectors as cylinders [i.e. port injection], then REQ_FUEL on the bottom is the same as REQ_FUEL on top. Same with alternate and two squirts. If you put in simultaneous and two squirts, then REQ_FUEL is divided in half - because you squirt twice, you need to inject 1/2 the fuel on each shot.

Note: if you choose alternating for port injection, make sure your number of squirts is an even

number (2,4,...) and evenly divisible into the number of cylinders. For example, with an eight cylinder engine, you could use alternating and 2, 4, or 8 squirts/cycle. With a six cylinder, if you choose alternating, you MUST use 2 or 6 squirts/cycle. Also, the only possible combinations for an odd-cylinder count engine are either 1 squirt/simultaneous or N squirt/simultaneous combination, where N is the number of cylinders."

Squirts per Engine Cycle is set the number of squirts you want per engine cycle. You want this to be set so that your idle pulse width is no less than 2.0 ms, if possible, and your Req_Fuel is less than 12-15 milliseconds, but more than 8 milliseconds. These values allow proper tuning of the idle mixture while maintaining the ability to apply enrichments (acceleration, warm-up, etc.) under full throttle. This is the total injector events that you wish to occur for every engine cycle (360 degrees for two stroke engines and 720 – for four strokes).

Injector Staging values for injector staging are simultaneous or alternating. If you want all your injectors to fire at once, select simultaneous. If you want half your injectors to fire at each injection event, and the other half on the next event, select alternating.

There is some benefit to choosing 2 squirts/alternating for port injection, since only half of the injectors fire at once, the pressure drop in the fuel rails is reduced and the fuelling is more consistent.

With throttle body injection, the number of injection/cycle you can will depend on your number of cylinders, plenum size, Req_Fuel, etc. You have to experiment to see what works best for your combination.

Engine Stroke values for engine stroke type are two-stroke or four-stroke. MegaSquirt uses engine stroke to determine how many degrees are in an engine cycle.

Number of Cylinders is the count of the cylinders on your engine. If you are unsure how many cylinders your engine has, you should not be installing MegaSquirt on it.

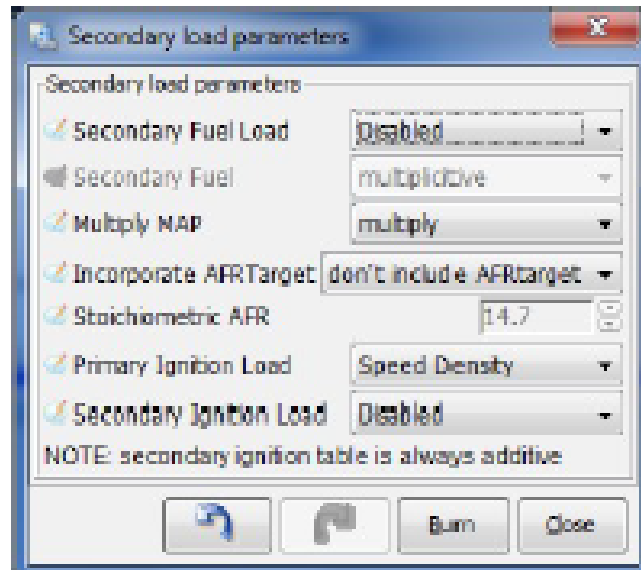
Injector Port Type This is not used in MS-Extra, so no settings needed for this, it should be greyed out.

Number of Injectors is the total number of injectors MegaSquirt is controlling, whether port or throttle body injection. (this is used in the Required Fuel calculation)

Engine Type: This has the options of Odd fire or even fire. Odd-fire or even fire does not refer to the firing order, but rather the interval between successive firings.

So if you have a 4 cylinder, and a spark every 180 degrees, you have an even fire. Almost all 4 cylinder engines are even fire. However some 90 degree V6s, some V4s, and most V-Twins (usually motorcycle engines), as well as a few others, have 'odd-fire' arrangements.

More Engine Constants



Secondary Fuel Load: Secondary fuel load allows a second fuel table to be used for those who feel the need for 31x16 or 16x31 tables for example or blended alpha-n and speed-density. So if you decided to use the second fuel map you could do 20KPa to 100KPa (this would be out of boost) then on the second VE table have 100KPa to your boost limit (e.g. 200KPa). (Dont get this confused with switchable maps, its not the same thing!)

Secondary Fuel: The secondary map values can either be multiplied as percentages to the main map or added to the main map where they cross over. (**Multiply** is the normal route here)

So when you come to tuning the second table you must remember that the VE will be the top line of the first VE table (100KPa for example using a boosted engine) multiplied by the relevant VE value in the second table. So say you were at 4000RPM and 150KPa (7PSI of boost), your VE would be the 100KPa line at 4000rpm (from the first table) x VE at 4000rpm and 150KPa point of the second table / 100. This doesn't really mean anything apart from the VE value may look odd, and **MUST be 100 or above**. So if set for **Multiply**: VE value of 80% in the main and 105% in the secondary you'd get $80\% \times 105\% = 84\%$ or if you had 100% and 120% you'd get 120% (i.e. $\text{Main} \times \text{Secondary} / 100 = \text{VE}\%$)

Multiply MAP: This changes the way the VE table values function. The usual equation is to multiply the MAP value (along with other corrections, req_fuel, etc) to find the final Pulse Width. For some engines with very jumpy MAP signals it may be necessary to turn this off to get a smoother tune.

Incorporate AFR Targets: This includes the AFR table in the fueling equation. So once the VE has been dialled in to match the AFR table, future changes can be made using the AFR table alone. I'd advise to leave it off.

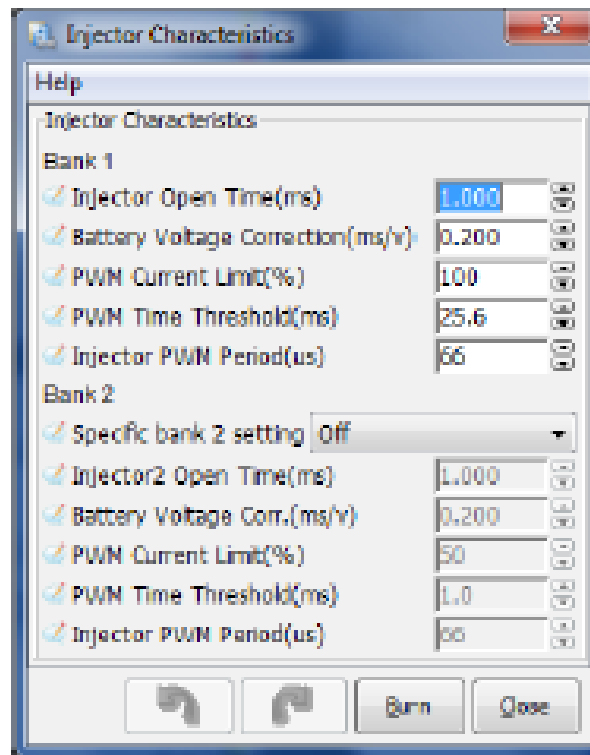
Note: If you switch this on your fueling will completely change, so if you want to use this you will need to tune your map either from the start with it on or tune it all again when you turn it on.

Primary Ignition Load: This allows the ignition map to follow either Speed Density or Alpha_N. See the MAP or TPS page [HERE](#) or the PDF file.

Secondary Ignition Load: This enables a second spark table that allows blending between Speed Density and Alpha_N.

Note: The two tables are added together! Dont get this confused with switchable maps, its not the same thing!

Injector Characteristics



Injector Opening Time (ms) is the amount of time required for the injector to go from a fully closed state to a fully opened state when a 13.2 volt signal is applied. Since fuel injectors are electro-mechanical devices with mass, they have latency between the time a signal is applied and the time they are in steady-state spraying mode. Typically, this value is very close to 1.0 milliseconds.

The MegaSquirt code assumes that NO fuel is injected during the opening (and closing) phases. However, it is very likely that a small amount actually is injected. Thus making this value larger will enrich the mix and will have a much greater effect at low pulse widths. MegaSquirt also uses this value as an additive constant in pulse width calculation, thus making this the lower limit for pulse width.

If you are running **high-impedance injectors** (greater than 10 Ohms), then set the:

- **PWM Time Threshold** to 25.5 msec, and the
- **PWM Current Limit (%)** to 100%.

If you have **low impedance injectors** (less than 4 Ohms), set the:

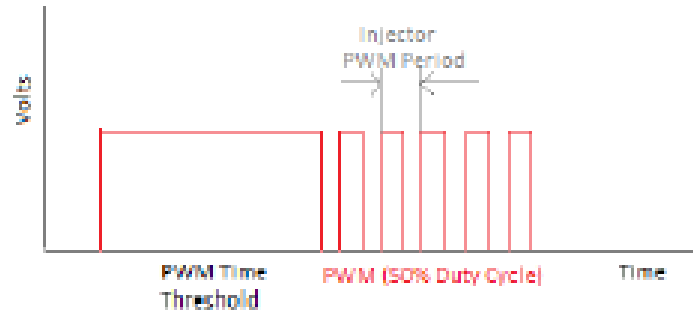
- **PWM Time Threshold** is the time required to open the injector, this is when full power is used to open the injector. Start at 1.0 msec.
- **PWM Current Limit** is the Pulse Width that's used after the Time Threshold, this actually pulses the injectors on and off, keeping the injector from over heating at high duty cycles. Try starting at around 30%

For more information on these settings please see [HERE](#).

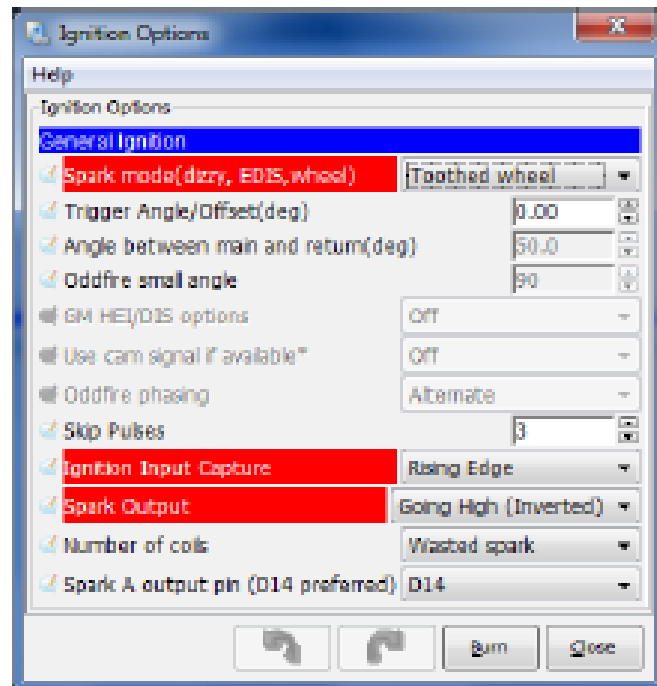
Specific Bank 2 Setting: If all your injectors are the same, most engines will use the same spec injectors for all cylinders, then keep this set to **OFF**. If you have staged injection or different injectors connected to each bank then you can specify those for Bank 2 separately by setting this **ON**.

Note: This must be set as ON for setting Injection Banks 3 + 4 with different characteristics if using sequential injection with additional drivers fitted.

Injector PWM Period: This is the time taken for each pulse to turn On-Off when the injector goes into PWM mode. Keep this around 100 - 40uS (66uS is typical)



Tacho input/Ignition Settings



Spark Mode: This is where you select the type of trigger pattern or setup you have. Toothed wheel is for Ford, Vauxhall, etc, crank wheels, like a 36-1, 60-2, etc, etc. **Basic Trigger and Trigger Return** are for distributor based setups, EDIS, RENIX, etc, are selections specific for your setup if you have that style of trigger input.

Trigger Angle Offset: This is used for Distributor based setups, see the distributor setup pdf file [HERE](#). Leave at ZERO for all other setups.

Skip Pulses: This is the amount of trigger inputs the ECU waits for before trying to start (enabling the spark outputs), this is to allow the cranking speed to stabilize. 3 is usual here.

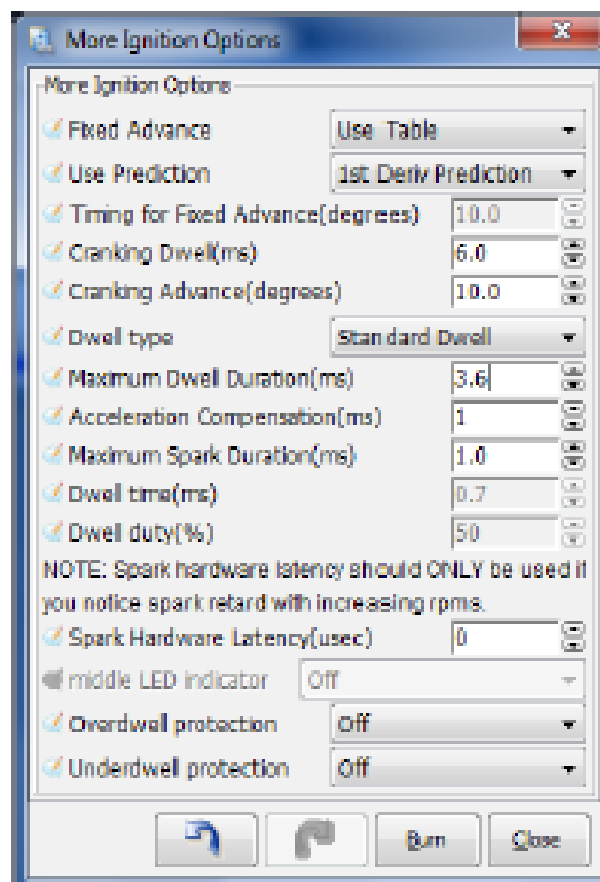
Ignition Capture: This will be setup for your setup, basically if you have a VR input (multiteethed wheels) then this should be Rising Edge. If you have an EDIS or hall sensor input then it will be Falling Edge.

Spark Output: This is very important and will have been setup for you. If your driving coils directly from the MS ECU then this must be **Going High (Inverted)** if you have 5V triggers to coils with built in ignitors then its likely to be **Going Low (Normal)**

Number of Coils: **Single Coil** is for distributor based setups with a single coil. **Wasted Spark** is for coil pack engines which have one coil for two cylinders. **COP** is for single coils for each cylinder.

Spark A Output Pin: This should be set to D14 for ALL of my ECU's except EDIS ECU's which is JS10!

More Ignition Options

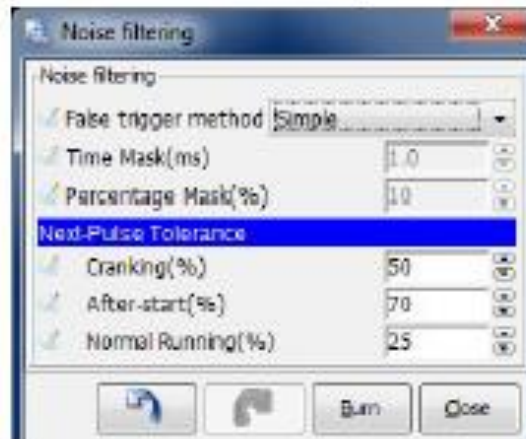


Fixed Advance: This is used to test your timing is correct using a strobe light. Select Use Table for normal use.

Use Prediction: This is the algorithm that the MS ECU uses to judge what time to fire the spark based on previous timings from the crank sensor. Every time the ignition fires the crank will accelerate a little. **First Deriv Prediction** is the usual method.

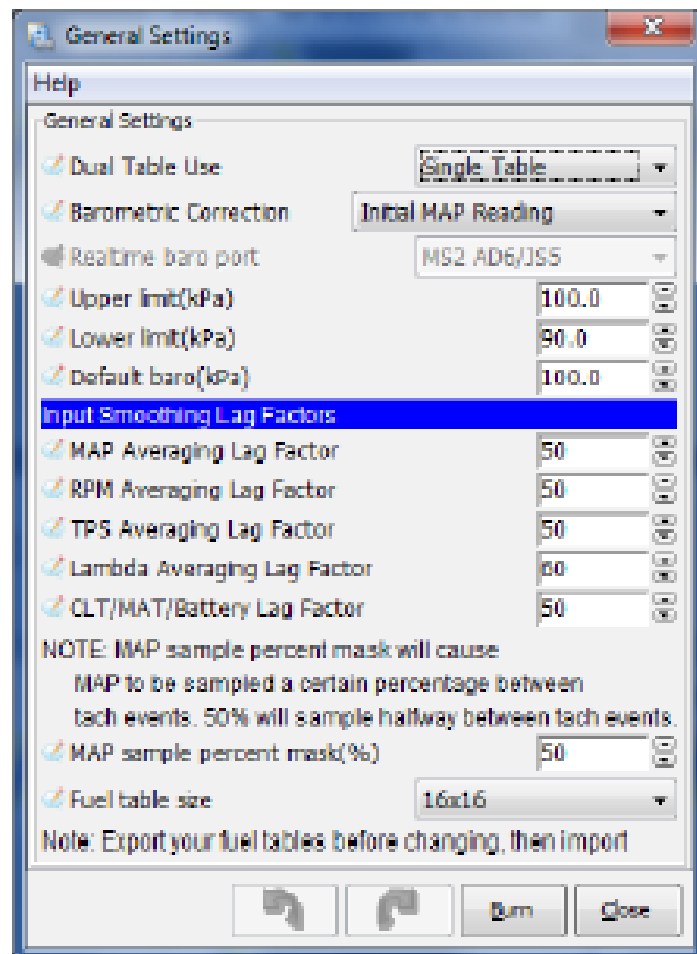
Cranking Dwell: Please see the dwell page for more on this [HERE](#)

Noise Filtering



There is an EDIS based noise filter and a trigger wheel based filter. These can help eliminate trigger noise by masking or ignoring trigger inputs using the software, that come in at the wrong time due to stray noise. Usually hardware issues are the cause of noise and should be eliminated as the problem before going down the masking route. See [HERE](#) for more on noise.

General Lags



Dual Table Use: The ECU can run each bank of injectors from a different VE table (2 in total) so you can have different fuels, etc. The idea for this was based on water injection, it is really for specialist applications so leave it as Single Table unless you know what you're doing.

Barometric Correction: NONE is no correction, it assumes 100%. **Initial MAP Reading** is taken when the ECU is first powered up, before the engine starts. This value is then remembered and used for the correction. If you have another sensor wired in then you can select **Two Independent Sensors** and then select the input pin that is used for the second sensor below, The ECU will constantly read the current baro pressure and correct fueling using that value.

Upper /lower Limit: If the ECU resets during running, the MAP sensor will see a lower (or higher if in boost) reading when it re-starts due to it being connected to the engine manifold. So here we can select the limits it should operate within. Usually 100KPa is upper and 90-95 is the lower, depending on where you live.

Default Baro: This is for use with **Boost Control** to tell it when you go above atmosphere and into boost. This should be set to your normal barometric reading. To find this value out, turn the ignition on and don't start the engine. Start the tuning software up and go to **Extended - Barometric Correction**. You'll see a gauge in the top corner, make a note of that value. Then go back to this setting and enter the value in here.

Input Smoothing Lag Factors: Decreasing the lags makes the values of the variables change slower than the input is changing. 100% is no lag. Generally 50% is fine in these.

New Variable Value = Previous Value + (New Value - Previous Value) * (LagFactor/100*)

MAP Sample: This has been designed for ITB's or setups where the MAP fluctuates a lot during the compression stroke. The MAP can be taken from 0 - 100%, where 50% is half way between the fueling pulses. Generally 50% is fine, try altering it a little and see if the MAP decreases, basically you are looking for the lowest map at idle.

Fuel Table Size: Usually a 12x12 fuel table is big enough, but like most things we want it bigger, so now you can select 16x16 :o) ensure you re-tune your VE table if you change this as the fueling will look very odd at the top if you change from 12x12 to 16x16

Rev Limiter



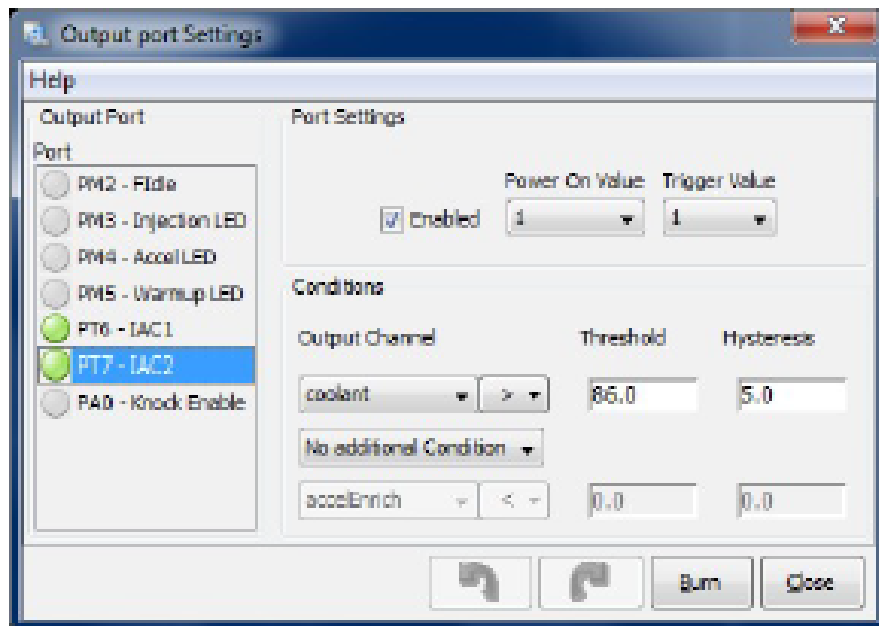
This system can cut fuel, and or cut sparks in a round robin fashion and or retard the ignition.

Maximum Retard is the angle we back off to when we hit the **Soft Limit RPM** value. This pulls power out of the engine and helps to slow it down. Different engines react differently to this, some just drive through it, others you can feel slow down.

Hard Limit is the RPM that we either cut fuel or Sparks, or both (Note an EDIS based setup will not cut sparks as it has a limp home feature that will cut in) If you have Spark Cut set in the Algorithm then you can cut every X from Y spark events: e.g. Cut 4 out of 5 = - - - - * , - - - - * , - - - - *

Rev Limiter CLT based: The limit can be altered with coolant temperature, as a cold engine will need a lower limit than a hot engine. Usually the driver would know not to push the car until it's up to temperature, etc, but you can adjust the rev limit depending on the coolant value.

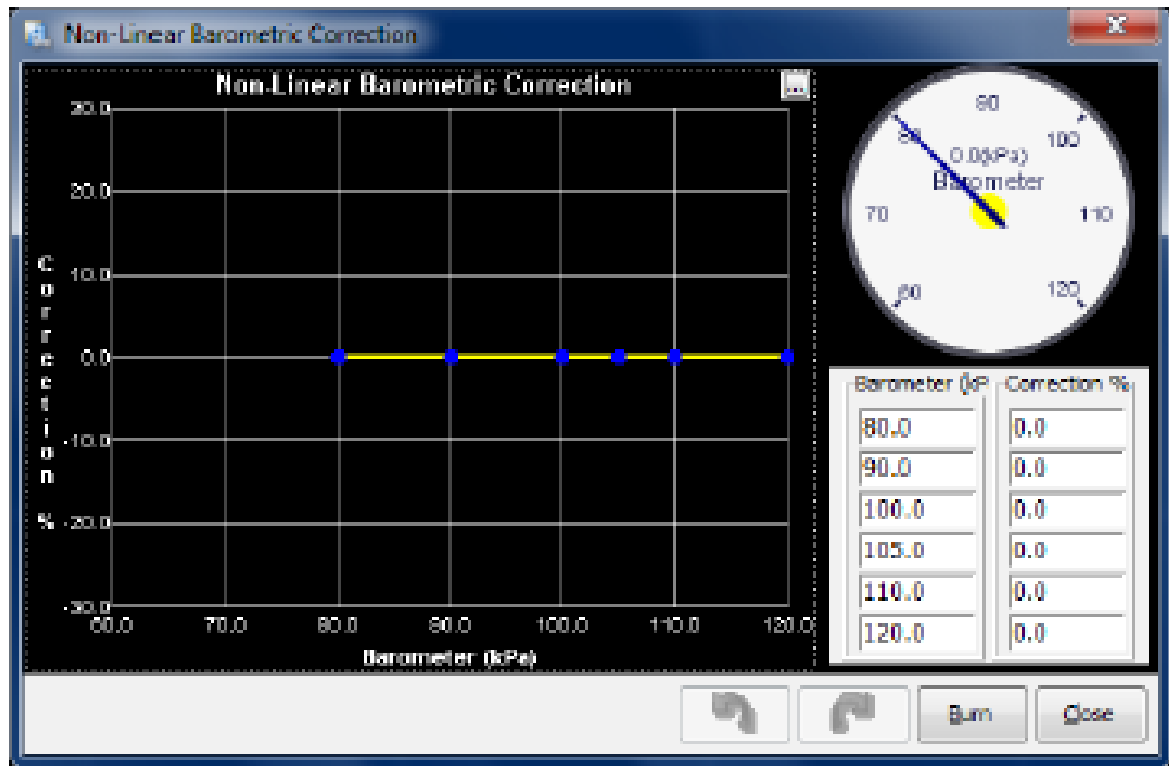
Output Port Settings:



This has to be set carefully as if you select IAC1 or IAC2 for example, as outputs (Enable them) and you have IAC stepper motor function enabled (these are the same pin on the processor) the code will find a config error and stop working until the selection is fixed. Items like PM3 (LH LED), PM4 (RH LED) and PM5 (Middle LED) (LED 14, 16 and 15 respectively) are likely to be used as spark outputs. See the bottom of your ECU to find out what pins outputs are setup for. E.g. IAC2A - Cooling Fan as the above example from my cobra.

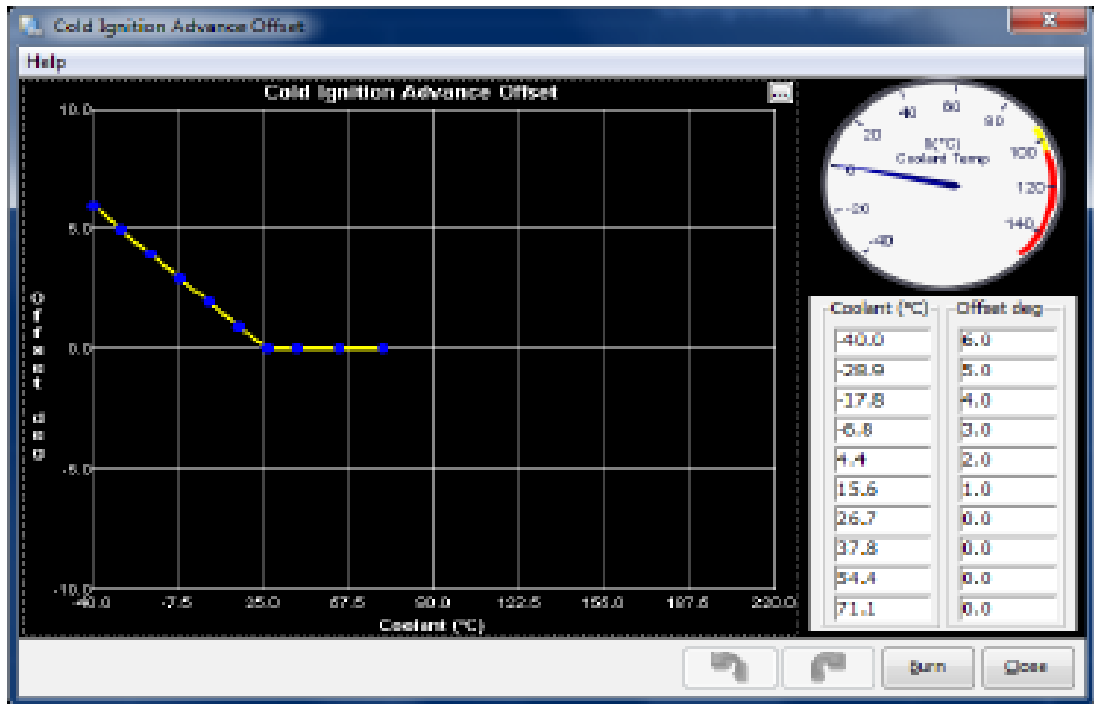
You can soon tell which outputs are enabled by the green highlight beside the output pins name. Set the Power on value and Trigger Value as above for normal use. Once the threshold is made the output will come on. It will stay on until the condition drops below the threshold by the hysteresis value, so above the output will come on at 86C and off at 81C. You can also select a second condition, for example TPS above 80% and coolant above 70% for a valve in the intake to change over, etc, etc.

Barometric Correction



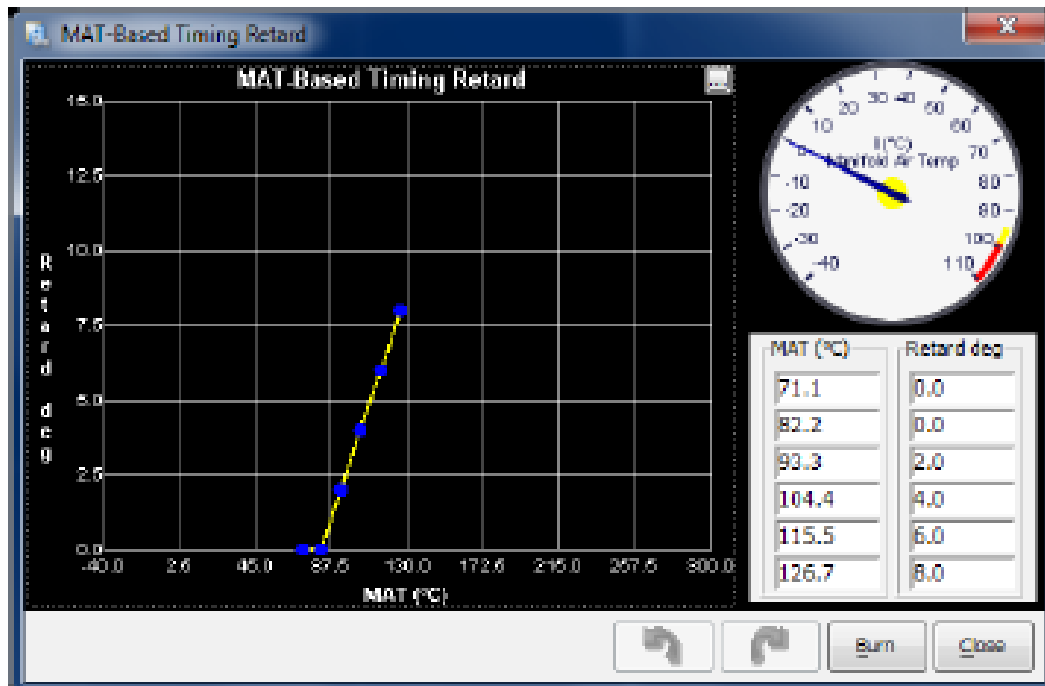
The MS ECUs have a table within the fueling calculation algorithm that changes the fueling depending on the barometric correction. To use this table, 99% of users, keep this graph at 100%. If you feel your fueling has altered during the climb up a mountain then this may be an area to look at, but it really should be the last resort.

Cold Advance



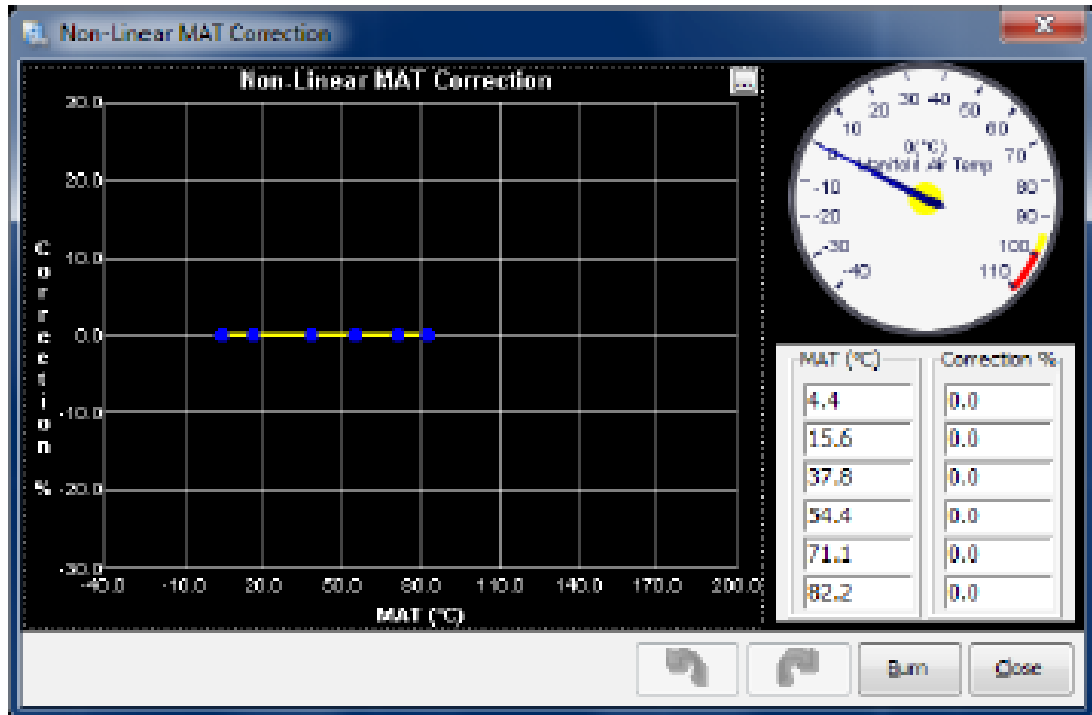
This allows for some advance to be added to the base ignition map when the engine is cold, this aids warmup time and helps to increase the idle speed during the cold period of warmup. Ensure the last bin is just below the operating temp (71C) and is set to ZERO so it follows the ignition map above that temperature.

MAT (Manifold Air Temp) Based Ignition Retard



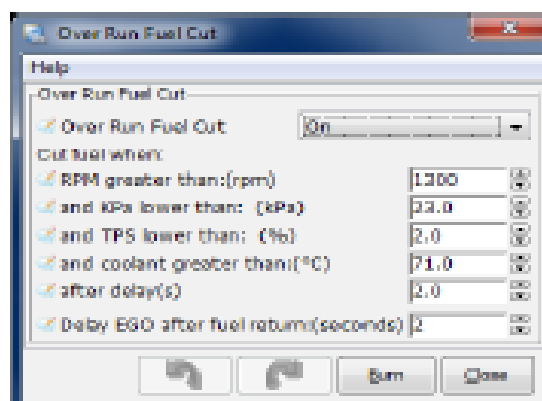
As air warms up it loses density, this increases the likelihood of detonation, especially in boosted engines. This can remove advance from the base map when air temps reach the limit to help reduce knock. Ensure the first bin is the usual air temperature you experience, 60-90C and is set to ZERO like the above.

MAT (Manifold Air Temp) Correction



This is to correct for heat soak on the temperature sensor, in some cases the sensor can become heated by external influences, e.g. the manifold if its bolted to it. This tends to happen if its sat in traffic for a while, etc. If this happens then you can trim the correction down, so the engine doesn't go lean due to heat sink. Usually this should be left at 0% correction as above.

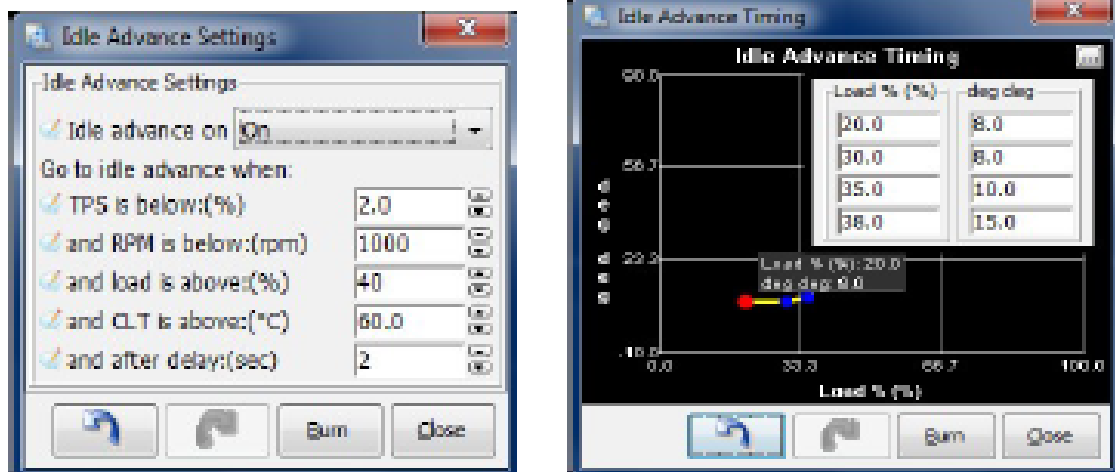
Over Run Fuel Cut



This is to help cut fuel bills. Basically when your in gear and the engine is on overrun (no throttle, slowing down with the engine) there is no point in fueling it. So we can cut fuel during that period,

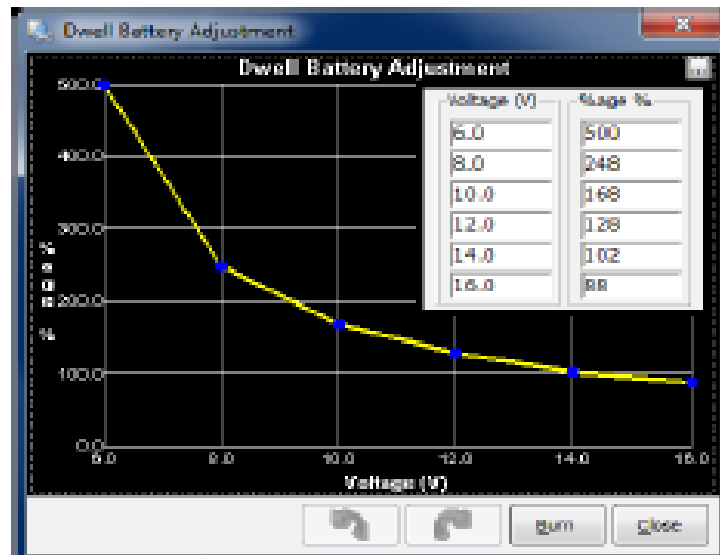
to do this look through datalogs and see where your MAP drops to during over run, ensure that the MAP doesn't wander that low when your cruising or driving normally! Set the KPa Lower value to just above the minimum it goes on overrun, this is best to ensure it is at least 10KPa lower than your cruising KPa. Delay is usually fine at 2S. Ensure the RPM is greater than 1200ish to allow the fuel to cut back in as the engine slows.

Idle Advance



To help the engine idle smoothly an Idle Advance function has been added. This allows you to fix the advance when the engine needs to be stable. The table is to allow for the advance to increase if the engine starts to stumble (this usually happens with an increase in MAP) so as the map increases it can help to add some advance to allow it to stabilize again.

Dwell Battery Correction



The MS ECU's correct for dwell (Charge time) times using the standard correction table, as above. This should only be altered from the above if you have specific data about your coils!

ANEXO 4

INJECTEUR PROTOTYPE POUR MARATHON SHELL EV6 COURT B 280 434 801/1 CAPABLE DE E0 A E100 (100% Ethanol)

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

- Débit statique	:	10 g/min
- Débit dynamique	:	0,3 mg/coup
- ti de base	:	2,5 ms
- Liquide d'essai	:	Ch20V3
- Pression système	:	300 kPa
- Résistance	:	14,5 Ohm
- Inductance	:	15 mH
- Tension d'alimentation	:	12 V

Gasoline Systems

1

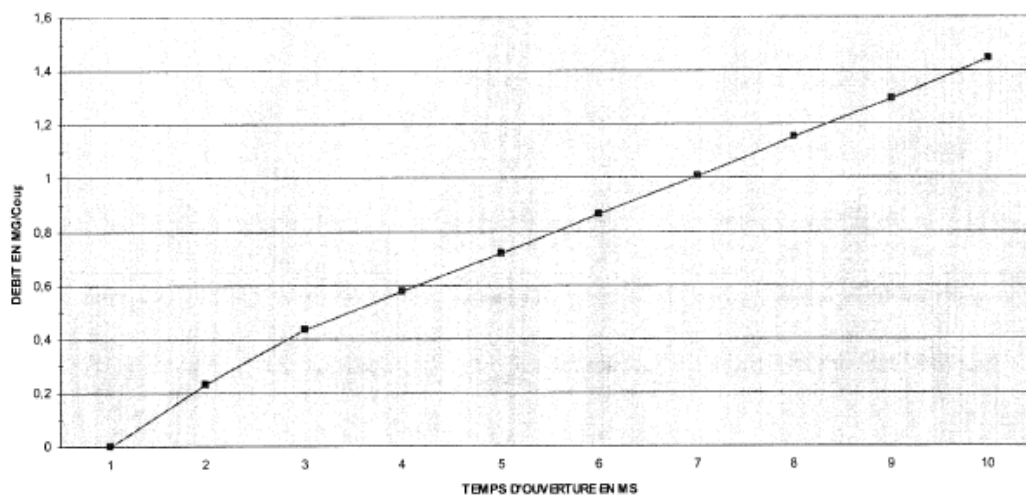
1657 - GS/SPC-So-O-WALLET | 09.02.2007 | © Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.



BOSCH

INJECTEUR PROTOTYPE POUR MARATHON SHELL EV6 COURT B 280 434 801/1 CAPABLE DE E0 A E100 (100% Ethanol)

COURBE DE DEBIT DYNAMIQUE



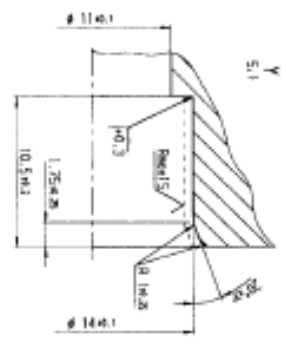
Gasoline Systems

2

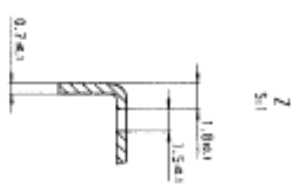
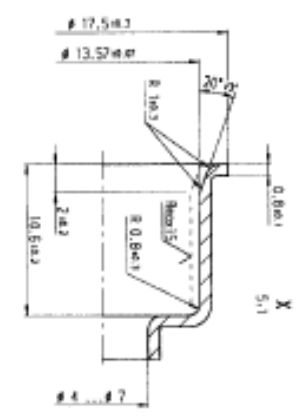
1657 - GS/SPC-So-O-WALLET | 09.02.2007 | © Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.



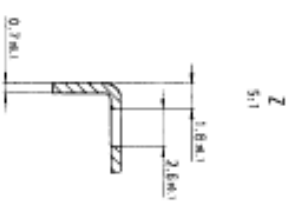
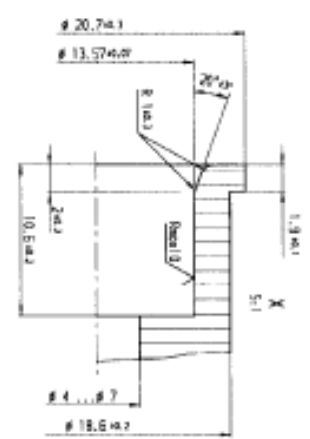
BOSCH



Version mit Stahl-Tasse
VERSION WITH STEEL-CUP



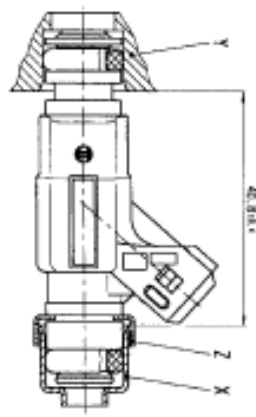
Version mit Kunststoff-Tasse
VERSION WITH PLASTIC-CUP



EV6 Standard

A 290 431 902

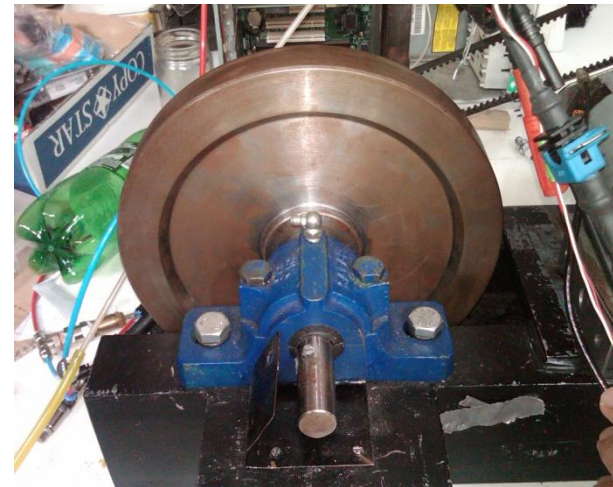
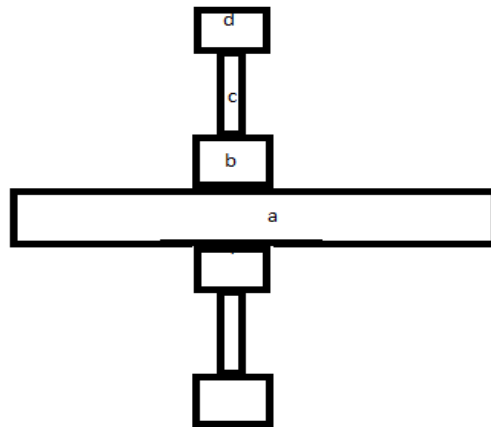
max. 2° Winkelabweichung zwischen Ventil-Achse und
Auftriebsbohrung on Fuel Rail bzw. Saugrohr zulässig.
MAX. 2° ANGLE DEVIATION IS PERMISSIBLE BETW. THE INJECTOR-AXIS
AND FUEL RAIL OUTLET, RESPECTIVELY TO THE INTAKE MANIFOLD.



290 431 902 EV6 Standard		Bosch A 290 431 902	
Einbauanleitung für EV6 MOUNTING INSTRUCTION EV6			
Bosch			

ANEXO 5

		comprimento	diâmetro exterior	diâmetro interior	volume	Massa específica	Massa	Momento inércia	Momento inercia total
		L [m]	De [m]	Di [m]	V [m ³]	ro [kg/m ³]	m [kg]	I [kg/m ²]	
					$\frac{\pi L x (De^2 - Di^2)}{4}$	ro	$V x ro$	$\frac{M}{2 x r^2}$	$Ia + Ib + Ic + Id$
a	Eixo	0.244	0.02		7.66549E-05	7841.717	0.601106	3.00553E-05	
					$\frac{\pi L x (De^2 - Di^2)}{4}$	ro		$\frac{M}{2 x (re^2 + ri^2)}$	
b	Anel interno disco	0.029	0.05	0.02	4.78307E-05	7841.717	0.375075	0.000543859	
c	Parte central disco	0.017	0.18	0.05	0.000399218	7841.717	3.130554	0.054628162	
d	Anel exterior disco	0.029	0.232	0.18	0.000487965	7841.717	3.826481	0.164967265	0.220169341
							Total	7.933216	



	Tempo	RPM pela centralina	lidos Borbuleta
1	1'137.569	3'933	3.0
2	1'137.633	4'071	3.0
3	1'137.697	4'021	3.0
4	1'137.762	4'126	5.0
5	1'137.826	4'015	7.0
6	1'137.890	3'927	9.0
7	1'137.955	4'072	12.0
8	1'138.019	4'386	16.0
9	1'138.083	4'385	20.0
10	1'138.147	4'492	22.0
11	1'138.211	4'637	28.0
12	1'138.276	4'614	34.0
13	1'138.340	4'634	45.0
14	1'138.404	4'670	53.0
15	1'138.469	4'949	66.0
16	1'138.532	4'655	73.0
17	1'138.596	4'815	80.0
18	1'138.661	4'766	84.0
19	1'138.725	4'722	88.0
20	1'138.789	4'883	92.0
21	1'138.853	4'741	94.0
22	1'138.917	4'811	94.0

23	1'138.982	4'769	95.0
24	1'139.046	4'746	96.0
25	1'139.110	4'680	95.0
26	1'139.175	4'787	96.0
27	1'139.239	4'876	95.0
28	1'139.303	4'943	96.0
29	1'139.368	4'850	96.0
30	1'139.432	4'868	97.0
31	1'139.496	4'775	96.0
32	1'139.560	4'852	96.0
33	1'139.624	4'887	95.0
34	1'139.688	4'823	96.0
35	1'139.752	4'724	96.0
36	1'139.817	4'779	96.0
37	1'139.881	4'896	96.0
38	1'139.945	4'719	96.0
39	1'140.010	4'775	96.0
40	1'140.074	4'940	96.0
41	1'140.139	4'865	96.0
42	1'140.203	4'862	96.0
43	1'140.268	4'826	96.0
44	1'140.333	4'878	96.0
45	1'140.398	4'828	96.0
46	1'140.463	4'846	96.0

t1	Velocidade angular 1	Velocidade angular 1	t2	Velocidade angular 2	Velocidade angular 2	aceleração angular	velocidade angular	Binário	Potência	
[s]	w1 [rpm]	w1 [rad/s]	[s]	w2 [rpm]	w2 [rad/s]	alfa	media	T [N.m]	P [W]	P [KW]
		2xPlxrpm/60			2xPlxrpm/60	(w2-w1)/(t2-t1)	(w1+w2)/2	Jxalfa	Txw	Px0,001
1'137.6	3820.666	400.099208	1'137.6330	3915.188	409.9975286	154.6612608	405.0483683	25.51405	10334.42	10.33442
1'137.6	3915.188	409.997529	1'137.6970	4003.752	419.271929	144.9125061	414.6347288	23.90582	9912.183	9.912183
1'137.7	4003.752	419.271929	1'137.7620	4086.544	427.941887	133.3839687	423.606908	22.00399	9321.042	9.321042
1'137.8	4086.544	427.941887	1'137.8260	4163.75	436.0268804	126.3280221	431.9843837	20.83999	9002.55	9.00255
1'137.8	4163.75	436.02688	1'137.8900	4235.556	443.5463871	117.4922928	439.7866337	19.38238	8524.113	8.524113
1'137.9	4235.556	443.546387	1'137.9550	4302.148	450.519885	107.2845836	447.0331361	17.69844	7911.791	7.911791
1'138.0	4302.148	450.519885	1'138.0190	4363.712	456.9668521	100.7338594	453.7433686	16.61779	7540.212	7.540212
1'138.0	4363.712	456.966852	1'138.0830	4420.434	462.906766	92.81115547	459.936809	15.3108	7042.002	7.042002
1'138.1	4420.434	462.906766	1'138.1470	4472.5	468.3591048	85.19279328	465.6329354	14.05402	6544.016	6.544016
1'138.1	4472.5	468.359105	1'138.2110	4520.096	473.3433462	77.87877289	470.8512255	12.84745	6049.237	6.049237
1'138.2	4520.096	473.343346	1'138.2760	4563.408	477.8789683	69.77880052	475.6111573	11.51122	5474.864	5.474864
1'138.3	4563.408	477.878968	1'138.3400	4602.622	481.9854487	64.16375746	479.9322085	10.58492	5080.044	5.080044
1'138.3	4602.622	481.985449	1'138.4040	4637.924	485.6822655	57.76276243	483.8338571	9.528965	4610.436	4.610436
1'138.4	4637.924	485.682266	1'138.4690	4669.5	488.9888965	50.87124596	487.335581	8.39209	4089.764	4.089764
1'138.5	4669.5	488.988897	1'138.5320	4697.536	491.9248196	46.60195325	490.4568581	7.687797	3770.533	3.770533
1'138.5	4697.536	491.92482	1'138.5960	4722.218	494.5095126	40.38582806	493.2171661	6.66234	3285.98	3.28598
1'138.6	4722.218	494.509513	1'138.6610	4743.732	496.7624534	34.66062787	495.635983	5.717869	2833.982	2.833982
1'138.7	4743.732	496.762453	1'138.7250	4762.264	498.7031199	30.32291409	497.7327866	5.002288	2489.803	2.489803
1'138.7	4762.264	498.70312	1'138.7890	4778	500.35099	25.74796979	499.5270549	4.247572	2121.777	2.121777
1'138.8	4778	500.35099	1'138.8530	4791.126	501.7255415	21.47736728	501.0382657	3.543063	1775.21	1.77521

1'138.9	4791.126	501.725541	1'138.9170	4801.828	502.8462523	17.51110655	502.2858969	2.888759	1450.983	1.450983
1'138.9	4801.828	502.846252	1'138.9820	4810.292	503.7326003	13.63612319	503.2894263	2.249514	1132.157	1.132157
1'139.0	4810.292	503.7326	1'139.0460	4816.704	504.4040634	10.49161047	504.0683318	1.730772	872.4275	0.872427
1'139.0	4816.704	504.404063	1'139.1100	4821.25	504.8801194	7.438375106	504.6420914	1.227088	619.2405	0.61924
1'139.1	4821.25	504.880119	1'139.1750	4824.116	505.1802462	4.617335664	505.0301828	0.761709	384.6862	0.384686
1'139.2	4824.116	505.180246	1'139.2390	4825.488	505.3239217	2.24492975	505.2520839	0.37034	187.115	0.187115
1'139.2	4825.488	505.323922	1'139.3030	4825.552	505.3306238	0.104719755	505.3272727	0.017275	8.729696	0.00873
1'139.3	4825.552	505.330624	1'139.3680	4824.494	505.2198303	-1.704515399	505.275227	-0.28119	-142.078	-0.14208
1'139.4	4824.494	505.21983	1'139.4320	4822.5	505.0110191	-3.26267487	505.1154247	-0.53823	-271.871	-0.27187
1'139.4	4822.5	505.011019	1'139.4960	4819.756	504.7236681	-4.489859501	504.8673436	-0.74068	-373.945	-0.37395
1'139.5	4819.756	504.723668	1'139.5600	4816.448	504.3772551	-5.412702343	504.5504616	-0.89292	-450.523	-0.45052
1'139.6	4816.448	504.377255	1'139.6240	4812.762	503.9912581	-6.031203396	504.1842566	-0.99495	-501.639	-0.50164
1'139.6	4812.762	503.991258	1'139.6880	4808.884	503.5851549	-6.345362662	503.7882065	-1.04678	-527.354	-0.52735
1'139.7	4808.884	503.585155	1'139.7520	4805	503.1784233	-6.355180139	503.3817891	-1.0484	-527.744	-0.52774
1'139.8	4805	503.178423	1'139.8170	4801.296	502.7905414	-5.967414969	502.9844824	-0.98443	-495.152	-0.49515
1'139.8	4801.296	502.790541	1'139.8810	4797.958	502.4409868	-5.461789728	502.6157641	-0.90102	-452.865	-0.45287
1'139.9	4797.958	502.440987	1'139.9450	4795.172	502.1492376	-4.55858184	502.2951122	-0.75202	-377.734	-0.37773
1'139.9	4795.172	502.149238	1'140.0100	4793.124	501.9347715	-3.299477823	502.0420046	-0.54431	-273.264	-0.27326
1'140.0	4793.124	501.934772	1'140.0740	4792	501.8170665	-1.839140699	501.875919	-0.3034	-152.268	-0.15227
1'140.1	4792	501.817067	1'140.1390	4791.986	501.8156005	-0.022555024	501.8163335	-0.00372	-1.86718	-0.00187
1'140.1	4791.986	501.8156	1'140.2030	4793.268	501.9498512	2.097667595	501.8827258	0.346046	173.6748	0.173675
1'140.2	4793.268	501.949851	1'140.2680	4796.032	502.2392966	4.453006202	502.0945739	0.7346	368.8388	0.368839
1'140.3	4796.032	502.239297	1'140.3330	4800.464	502.7034145	7.140276226	502.4713556	1.177912	591.867	0.591867
1'140.3	4800.464	502.703415	1'140.3980	4806.75	503.3616829	10.12720586	503.0325487	1.670657	840.3951	0.840395
1'140.4	4806.75	503.361683	1'140.4630	4815.076	504.2335796	13.41379509	503.7976313	2.212837	1114.822	1.114822

10kg

Time	Jf	Raio
60	0.229183	0.214095
55	0.210085	0.20498
50	0.190986	0.195441
45	0.171887	0.185412
40	0.152789	0.174808
35	0.13369	0.163518
30	0.114592	0.151388
25	0.095493	0.138198
20	0.076394	0.123608
10	0.038197	0.087404

9kg

Time	Jf	Raio
60	0.229183	0.225676
55	0.210085	0.216068
50	0.190986	0.206013
45	0.171887	0.195441
40	0.152789	0.184264
35	0.13369	0.172363
30	0.114592	0.159577
25	0.095493	0.145673
20	0.076394	0.130294
10	0.038197	0.092132

8kg

Time	Jf	Raio
60	0.229183	0.239365
55	0.210085	0.229175
50	0.190986	0.21851
45	0.171887	0.207296
40	0.152789	0.195441
35	0.13369	0.182818
30	0.114592	0.169257
25	0.095493	0.15451
20	0.076394	0.138198
10	0.038197	0.097721

7kg

Time	Jf	Raio
60	0.229183	0.255892
55	0.210085	0.244998
50	0.190986	0.233597
45	0.171887	0.221609
40	0.152789	0.208935
35	0.13369	0.195441
30	0.114592	0.180943
25	0.095493	0.165178
20	0.076394	0.14774
10	0.038197	0.104468

6kg		
Time	Jf	Raio
60	0.229183	0.276395
55	0.210085	0.264628
50	0.190986	0.252313
45	0.171887	0.239365
40	0.152789	0.225676
35	0.13369	0.2111
30	0.114592	0.195441
25	0.095493	0.178412
20	0.076394	0.159577
10	0.038197	0.112838

5kg		
Time	Jf	Raio
60	0.229183	0.302776
55	0.210085	0.289886
50	0.190986	0.276395
45	0.171887	0.262212
40	0.152789	0.247215
35	0.13369	0.231249
30	0.114592	0.214095
25	0.095493	0.195441
20	0.076394	0.174808
10	0.038197	0.123608

40	0.152789	0.276395
35	0.13369	0.258544
30	0.114592	0.239365
25	0.095493	0.21851
20	0.076394	0.195441
10	0.038197	0.138198

40	0.152789	0.319154
35	0.13369	0.298541
30	0.114592	0.276395
25	0.095493	0.252313
20	0.076394	0.225676
10	0.038197	0.159577

2kg		
Time	Jf	Raio
60	0.229183	0.478731
55	0.210085	0.45835
50	0.190986	0.437019
45	0.171887	0.414593
40	0.152789	0.390882
35	0.13369	0.365637
30	0.114592	0.338514
25	0.095493	0.309019
20	0.076394	0.276395
10	0.038197	0.195441

1kg		
Time	Jf	Raio
60	0.229183	0.677028
55	0.210085	0.648204
50	0.190986	0.618039
45	0.171887	0.586323
40	0.152789	0.552791
35	0.13369	0.517088
30	0.114592	0.478731
25	0.095493	0.437019
20	0.076394	0.390882
10	0.038197	0.276395

4kg		
Time	Jf	Raio
60	0.229183	0.338514
55	0.210085	0.324102
50	0.190986	0.309019
45	0.171887	0.293162

3kg		
Time	Jf	Raio
60	0.229183	0.390882
55	0.210085	0.374241
50	0.190986	0.356825
45	0.171887	0.338514