



# ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE UM SISTEMA HHO NO DESEMPENHO DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

**ANTONIO PEDRO MEIXEDO SANTOS SILVA**

Outubro de 2016

# **ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE UM SISTEMA HHO NO DESEMPENHO DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA**

António Pedro Meixedo dos Santos Silva

**2016**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO  
DO PORTO

isep

# **ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE UM SISTEMA HHO NO DESEMPENHO DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA**

António Pedro Meixedo dos Santos Silva  
1110042

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Professor Doutor Fernando José Ferreira.

**2016**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO  
DO PORTO

isep

# JÚRI

## **Presidente**

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

## **Orientador**

Doutor Fernando José Ferreira

Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Co-orientador**

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

## **Arguente**

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>



## DEDICATÓRIA

“Procura deixar este mundo melhor que o encontraste”  
Lord Baden Powell – Fundador do escutismo

Dedico esta tese a todos aqueles que ao longo da minha vida me ajudaram a tornar-me no Homem que sou, com maior relevo os meus pais mas também os meus irmãos, a minha esposa e os meus filhos, os meus amigos e os meus professores.



## AGRADECIMENTOS

Este trabalho não teria sido possível sem o apoio incondicional do meu orientador e amigo, Fernando José Ferreira, diretor do Curso de Engenharia Mecânica Automóvel. Igualmente não teria sido feito da mesma forma sem a ajuda e trabalho do Hendrik Rauch, aluno de Erasmus em colaboração direta com o Diogo Machado do LSA, que elaboraram o *software* para aquisição de dados.

Ao João Vaz, técnico do Laboratório Automóvel pelas inúmeras “pequenas coisas” em que me ajudou, mas sem as quais nada seria concluído.

Aos responsáveis do Laboratório de Química, também um agradecimento pela simpatia e disponibilidade no empréstimo de equipamentos.



## **PALAVRAS CHAVE**

Hidrogénio, HHO, oxigénio, motor a gasolina, combustível alternativo, melhoria da combustão, banco de potência, Weinlich,

## **RESUMO**

Com a exagerada dependência dos combustíveis fósseis que são finitos, necessitamos de alternativas energéticas que possam ser utilizados.

Mas enquanto essas alternativas não chegam (o tempo de maturação é bastante longo) pode ser feita uma outra abordagem no sentido da redução do consumo nos sistemas de propulsão já existentes (como exemplo os motores a gasolina) fazendo com que seja necessário menos combustível ou pelo aumento da sua eficiência.

Pela, dir-se-ia excessiva, dependência que fomos criando no uso dos combustíveis fósseis, estes são por excelência os que mais poderão afetar o futuro do planeta, por um lado pela dependência, mas por outro pela poluição imensa que o seu uso provoca. Há vários anos que existem diversos projetos de aplicação de outros tipos de energia como por exemplo a solar, a eólica, a maremotriz, o gás natural (fóssil) e o hidrogénio. Alguns deles têm já um período de gestação muito longo e estão, por isso, em utilização com resultados expressivos. Outros ainda não foram postos em prática apesar dos avanços que já existem.

Todos sabemos que estas novas fontes de energia, consideradas renováveis, levarão muito tempo para substituir as já existentes, sobretudo pelo elevado custo de substituição de todos os sistemas e equipamentos instalados. Enquanto este processo avança, é importante gastar menos e melhorar a energia das fontes não renováveis.

O aumento da eficiência dos motores de combustão interna é fulcral nesta fase e é perseguido pelos construtores de motores.

O hidrogénio contido na molécula de água é o que vai ser alvo deste estudo.

O uso do hidrogénio (contido na água) como combustível tem vindo a ganhar interesse desde há algumas décadas e existem ensaios um pouco por todo o mundo (a internet permite-nos conhecê-los com facilidade) mas, por não ter encontrado estudo científico que os valide, apresenta-se este trabalho.

O facto de o hidrogénio ter uma capacidade calorífica muito grande, cerca de 4 vezes superior ao da gasolina, faz com que se deseje o seu uso. Por outro lado, o perigo de

explosão está sempre patente. Mas este perigo reside no armazenamento do hidrogénio e não no seu uso.

O objeto deste trabalho é testar um sistema (aparelho) que produz uma pequena quantidade de hidrogénio ou melhor que separa o hidrogénio do oxigénio, fazendo que esses dois gases sejam introduzidos na admissão do motor de combustão interna, montado num banco de ensaio, e analisar os ganhos que são apregoados pelo fabricante desse mesmo aparelho.

O aparelho é ligado ao sistema elétrico do automóvel e o resultado da eletrolise (que serão moléculas de hidrogénio e oxigénio) vai ser misturada no ar de admissão. Pretende-se validar se a inclusão destes gases diretamente na admissão vão fazer com que o motor consuma menos gasolina.

O motor está ligado a um banco de potência para que se possa variar as condições de carga e desta forma obter o máximo de resultados com variações de rotação e de carga de acelerador.

Foram feitos testes exaustivos com diferentes combinações tendo sempre o cuidado de afastar o fator humano dos resultados.

A conclusão a que se chega é que o sistema HHO não promove uma melhora o desempenho dos motores no que respeita à redução dos consumos de combustível fóssil.

**KEYWORDS**

*HHO hydrogen, oxygen, gasoline engine, alternative fuel, improving combustion, power seat, Weinlich,*

**ABSTRACT**

*With the exaggerated dependence on fossil fuels that are finite, we need alternative energy sources that could be used.*

*But while these alternatives do not reach (the maturation time is quite long) we can make another approaches towards reducing consumption in propulsion systems which already exist (for example petrol engines) changing it to need less fuel or by increasing their efficiency.*

*We were creating an excessive dependence in the use of fossil fuels, these are par excellence the ones that can most affect the future of the planet, on one hand by the dependency that it creates, and by other hand for the massive pollution that its use causes.*

*For many years there are several implementation projects of other types of energy such as solar, wind, driving mare, natural gas (fossil) and hydrogen. Some of them already have a long gestation period and are therefore used with impressive results. Others have not yet been implemented despite advances that already exist.*

*We all know that these new sources of energy, renewable, will take a long time considered to replace existing ones, especially the high replacement cost of all systems and equipment installed. As this process moves forward, it is important to spend less and better non-renewable sources of energy.*

*Increased efficiency of internal combustion engines is key at this stage and is pursued by the engine builders.*

*The hydrogen contained in the water molecule is what will be the target of this study. The use of hydrogen (contained in the water) as fuel has gained interest from a few decades and there are tests all over the world (the internet allows us to meet them easily) but none is a scientific work that can be trustable. That was the main reason to do this study.*

*Hydrogen has a very big power, about 4 times higher than petrol, and this is why many people wish to use it. On the other hand, the danger of explosion is always present. However this danger lies in hydrogen storage and not on its use.*

*The object of this work is to test a system (apparatus) that produces a small amount of hydrogen or even better, that separates the hydrogen from the oxygen, and putting these two gases introduced into the admission of the internal combustion engine, mounted on a test bench, and analyze the gains that are told by the manufacturer of this specific device.*

*The apparatus is connected to the electric system of the car and the result of electrolyzes (which will be hydrogen and oxygen molecules) will be mixed in the intake air. The aim is to validate whether the inclusion of these gases directly on admission will cause less petrol consumption.*

*The engine is connected to a test bench that allows varying the load conditions and thus obtaining maximum results with variations in rotation and accelerator load.*

*Extensive tests were made with different combinations always taking care to keep off the human factor of the results.*

*In conclusion we can say that the HHO system does not improves engine performance in regard to the reduction of fossil fuel consumption.*

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

### Lista de Abreviaturas

HHO	Produtos da eletrólise da água: hidrogénio e oxigénio
ECU	<i>Electronic computerized unit</i> – Unidade de controlo eletrónico
GPL	Gás de petróleo liquefeito
USB	<i>Universal serial bus</i> – para ligação de equipamentos informáticos
PC	<i>Personal computer</i> – Computador pessoal

### Lista de Unidades

A	Ampere
cm <sup>3</sup>	Centímetro cúbico
HP	<i>Horse Power</i> - Cavalo-vapor
r.p.m.	Rotações por minuto
N·m	Newton metro
V	Volt
kJ/kg	Quilojoule por quilograma
Mj/kg	Megajoule por quilograma
kg/m <sup>3</sup>	Quilograma por metro cúbico
°C	Graus Celcius
kg	Quilograma
mm	Milímetro
kg·m	Quilograma metro
kg·m <sup>2</sup>	Quilograma metro ao quadrado
g/kW·h	Grama por quilowatt hora
kgf/cm <sup>2</sup>	Quilograma força por centímetro quadrado
cv	Cavalo
kW	Quilowatt
bar	Bar – unidade de pressão
mbar	Milibar

---

### Lista de Símbolos

---

H <sub>2</sub>	Hidrogénio
O <sub>2</sub>	Oxigénio
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CO	Monóxido de carbono
KOH	Hidróxido de potássio
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Carbonato de sódio
NO <sub>x</sub>	Óxido nitroso

---

## GLOSSÁRIO DE TERMOS

---

Software	Aplicação ou programa informático para uma determinada aplicação
Powertrain	Refere-se ao conjunto do motor e caixa de velocidades de um veículo
Ralenti	Termo usado quando um motor de combustão interna está a trabalhar sem carga de acelerador

---



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – ESQUEMA DO SISTEMA HHO MONTADO NUM MOTOR.	33
FIGURA 2 – IMÃS	38
FIGURA 3 – GERADOR DE VÓRTICE	38
FIGURA 4 – VAPORIZADOR DE COMBUSTÍVEL	38
FIGURA 5 – INJEÇÃO DE ÁGUA	38
FIGURA 6 – ESQUEMA DE PILHA SECA À ESQUERDA E PILHA À DIREITA – IMAGENS DE [8]	39
FIGURA 7 – IMAGEM DO MOTOR (FONTE: CATÁLOGO TOYOTA CARINA E)	43
FIGURA 8 – VISTA FRONTAL DO EQUIPAMENTO DIDÁTICO UTILIZADO PARA OS ENSAIOS	44
FIGURA 9 – IMAGENS DO MOTOR EM CORTE. (FONTE: MANUAL DE REPARAÇÃO TOYOTA 4A-GE)	45
FIGURA 10 – LIGAÇÃO DIRETA PARA SIMULAR “N” (NEUTRO) NA CAIXA DE VELOCIDADES	46
FIGURA 11 – SUPORTE PARA APOIOS DO MOTOR E MOTOR ARRANQUE.	47
FIGURA 12 – TABELA DE CAPACIDADE DE CARGA TEMPORÁRIA MÁXIMAS PERMITIDAS, FUNÇÃO DA POTÊNCIA DISSIPADA E ROTAÇÃO. PLACA AFIXADA NO FREIO.	49
FIGURA 13 – À ESQUERDA O QUADRO DE COMANDO DO BANCO DE ENSAIO; AO CENTRO O VARIADOR E À DIREITA AS TOMADAS DE DADOS	49
FIGURA 14 – VEIO DE TRANSMISSÃO COM FALANGES.	50
FIGURA 15 – À ESQUERDA A FALANGE DA CABBOTA; AO CENTRO A FALANGE DO FREIO; À DIREITA A MAQUINAGEM DE UMA FALANGE	51
FIGURA 16 – VEIO ORIGINAL DO BANCO DE ENSAIO	51
FIGURA 17 – FALANGES APLICADAS. À ESQUERDA NO MOTOR E À DIREITA NO FREIO	52
FIGURA 18 – À ESQUERDA A MASSA DE CALIBRAÇÃO; AO CENTRO A MASSA APLICADA NO FREIO; À DIREITA A LEGENDA GRAVADA NA MASSA	53
FIGURA 19 – CAUDALÍMETRO COM SEUS ACESSÓRIOS, APLICADO NO SUPORTE E LIGAÇÕES ELÉTRICAS	54
FIGURA 20 – BALANÇA. À ESQUERDA A IMAGEM DE CATÁLOGO E À DIREITA A BALANÇA COM O DEPÓSITO DE COMBUSTÍVEL	56
FIGURA 21 – DA ESQUERDA PARA A DIREITA: OS DOIS TIPOS DE ABRAÇADEIRAS; A LIGAÇÃO AO FILTRO DE COMBUSTÍVEL; AS LIGAÇÕES AO DEPÓSITO DE COMBUSTÍVEL	57
FIGURA 22 – VOLANTE DE INÉRCIA INSTALADO	58
FIGURA 23 – KIT DO APARELHO HHO	59
FIGURA 24 – VISTA SUPERIOR DO APARELHO HHO	59
FIGURA 25 – À ESQUERDA O ASPETO DO CONJUNTO MONTADO E À DIREITA O SUPORTE FEITO EM CHAPA	60
FIGURA 26 – IMAGEM DO SISTEMA DE ESCAPE DURANTE UM TESTE COM CARGA ELEVADA	62
FIGURA 27 – À ESQUERDA A SONDA NA POSIÇÃO ORIGINAL E À DIREITA A SONDA COM O ESPAÇADOR	62
FIGURA 28 – EXECUÇÃO DE FUIROS NO ESPAÇADOR	63
FIGURA 29 – À ESQUERDA A LIGAÇÃO COM O BANCO DE ENSAIO E À DIREITA LIGAÇÃO COM A BALANÇA PARA OBTENÇÃO DOS DADOS NO PC	64
FIGURA 30 – À ESQUERDA OS CALIBRES DE ACELERADOR E À DIREITA A COLOCAÇÃO DOS CALIBRES	66
FIGURA 31 – DETERMINAÇÃO DO ÂNGULO MÁXIMO DE ROTAÇÃO DA BORBOLETA	67

FIGURA 32 – DETERMINAÇÃO DO CURSO MÁXIMO DE ACELERADOR	67
FIGURA 33 – BOTÃO DE CORTE GERAL - EMERGÊNCIA	68
FIGURA 34 – COMPONENTES DA SOLUÇÃO	69
FIGURA 35 – RECIPIENTE COM MEDIDAS	70
FIGURA 36 – ASPETO DA JANELA DO <i>SOFTWARE</i> DE AQUISIÇÃO DE DADOS CONSTRUÍDO NO ÂMBITO DESTE TRABALHO	71
FIGURA 37 – EXTRATO DO FICHEIRO EXCEL EM BRUTO (NÃO TRATADO)	72
FIGURA 38 – EXCERTO DE FICHEIRO <i>EXCEL</i> DEPOIS DE TRATADO	73
FIGURA 39 – EXCERTO DE FICHEIRO <i>EXCEL</i> DEPOIS DE TRATADO	73
FIGURA 40 – ANALISADOR DE GASES DE ESCAPE SUN MGA 1500S	78
FIGURA 41 – CÓPIA DOS TALÕES IMPRESSOS NO ANALISADOR DE GASES DE ESCAPE	79
FIGURA 42 – CÓPIA DOS TALÕES IMPRESSOS NO ANALISADOR DE GASES DE ESCAPE COM HHO E EMULAÇÃO DA Sonda <i>LAMBDA</i>	80
FIGURA 43 – SUPORTE DE ISOLAMENTO DERRETIDO PELO CALOR GERADO DENTRO DA CUBA	86
FIGURA 44 – SUPORTE DO MOTOR E DO MOTOR DE ARRANQUE	97
FIGURA 45 – FALANGE DE LIGAÇÃO DO VEIO DE TRANSMISSÃO AO FREIO	98
FIGURA 46 – FALANGE DE LIGAÇÃO DO VEIO DE TRANSMISSÃO À ARVORE DE MANIVELAS	98
FIGURA 47 – PÁGINA Nº 1 DE 21 DE UM FICHEIRO COM DADOS EM BRUTO (SEM TRATAMENTO)	99

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – RESULTADOS DE CONSUMOS EM G/KW.H	75
TABELA 2 – MEDIÇÕES FEITAS AOS GASES DE ESCAPE	81
TABELA 3 – VALORES DE CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTÍVEL EM G/KW.H E SUA VARIAÇÃO PERCENTUAL	82



# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>27</b>
<b>1.1</b>	<b>Motivação / contextualização</b>	<b>27</b>
<b>1.2</b>	<b>Proposta de trabalho</b>	<b>28</b>
<b>1.3</b>	<b>O sistema HHO</b>	<b>29</b>
1.3.1	A eletrólise da água	29
1.3.2	O hidrogénio	30
1.3.3	Aplicação da eletrólise no sistema HHO	34
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>37</b>
<b>2.1</b>	<b>A busca por energias alternativas ou redução de consumo de combustível</b>	<b>37</b>
<b>2.2</b>	<b>Construção de equipamento de HHO</b>	<b>39</b>
<b>2.3</b>	<b>Aumento da eficiência do motor com o uso de HHO</b>	<b>39</b>
<b>2.4</b>	<b>Resultados obtidos com o uso de HHO</b>	<b>40</b>
<b>3</b>	<b>TESTES PARA ENSAIO DO EQUIPAMENTO DE PRODUÇÃO HHO</b>	<b>43</b>
<b>3.1</b>	<b>Dispositivos e equipamentos utilizados</b>	<b>43</b>
3.1.1	Motor de combustão interna a gasolina	43
3.1.2	Banco de ensaio	47
3.1.3	Caudalímetro	53
3.1.4	Balança eletrónica	56
3.1.5	O volante do motor e sua influência no funcionamento do motor	57
3.1.6	Aparelho para produção de HHO	58
3.1.7	Emulação da sonda <i>lambda</i>	60
<b>3.2</b>	<b>Aquisição de dados</b>	<b>63</b>
3.2.1	Fatores que influenciam os dados obtidos	64
<b>3.3</b>	<b>Procedimentos e preparação dos testes</b>	<b>65</b>
3.3.1	Carga de acelerador	66
3.3.2	Definição de gama de rotações dos testes a realizar	68
3.3.3	Preparação do sistema HHO	69
3.3.4	Ensaio preliminares	70

<b>3.4</b>	<b>Testes experimentais</b>	<b>74</b>
3.4.1	Bateria de testes iniciais	74
3.4.2	Bateria de testes de maior duração	77
3.4.3	Análise de gases de escape	78
3.4.4	Execução de testes finais	81
<b>3.5</b>	<b>Dificuldades ultrapassadas</b>	<b>85</b>
3.5.1	Execução de apoios do motor	85
3.5.2	Execução de falanges e seleção de um veio de transmissão	85
3.5.3	Inclusão de um volante de inércia	85
3.5.4	Montagem de sistema HHO e respetivo suporte.	85
3.5.5	Utilização do caudalímetro	85
3.5.6	Aquisição de dados via <i>software</i>	85
3.5.7	Controlo da temperatura da solução (água + KOH)	86
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>89</b>
<b>4.1</b>	<b>Equipamento de produção de HHO</b>	<b>89</b>
<b>4.2</b>	<b>Caudalímetro</b>	Erro! Marcador não definido.
<b>4.3</b>	<b>Produção de HHO</b>	<b>89</b>
<b>4.4</b>	<b>Resultados obtidos</b>	<b>90</b>
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO</b>	<b>93</b>
<b>5.1</b>	<b>Livros consultados</b>	<b>93</b>
<b>5.2</b>	<b>Documentos científicos</b>	<b>93</b>
<b>5.3</b>	<b>Sites consultados</b>	<b>93</b>
<b>6</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>97</b>
<b>6.1</b>	<b>Desenho do suporte para o motor e motor de arranque</b>	<b>97</b>
<b>6.2</b>	<b>Desenho das falanges aplicadas nas extremidades do veio de transmissão</b>	<b>98</b>
<b>6.3</b>	<b>Ficheiro com dados em bruto, retirados do <i>excel</i></b>	<b>99</b>
<b>6.4</b>	<b>Ficheiro de dados tratados com médias e totais na última página</b>	<b>100</b>
<b>6.5</b>	<b>Tabelas com todos os resultados dos testes finais</b>	<b>103</b>
6.5.1	Tabela com resultados de testes a 2500 r.p.m.	103
6.5.2	Tabela com resultados de testes a 3000 r.p.m.	104
6.5.3	Tabela com resultados de testes a 3500 r.p.m.	105

# INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO / CONTEXTUALIZAÇÃO

1.2 PROPOSTA DE TRABALHO

1.3 O SISTEMA HHO



# 1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade do planeta é um assunto que a todos deve preocupar.

Ao longo dos séculos, o Homem, de forma mais ou menos desordenada e despreocupada, foi usando as matérias-primas e recursos naturais que existem na Terra. Já há algumas décadas nos apercebemos que estes recursos são finitos e que se não forem encontradas outras formas de energia, rapidamente ficaremos reféns dos monopólios que controlam os escassos recursos que ainda restarem e mais tarde nada restará. Assim deparamo-nos com a necessidade de encontrar alternativas para algumas matérias-primas, sobretudo os combustíveis fósseis dos quais estamos exageradamente dependentes. Acresce que, em algumas situações, o uso dessas matérias-primas provoca outros males como a poluição do meio ambiente, seja ela de forma química, física ou estrutural.

O aumento crescente do custo dos combustíveis petrolíferos nos últimos anos, e em especial as últimas crises petrolíferas, tem levado à procura de novas fontes de combustíveis líquidos passíveis de aplicação quase direta nos motores de combustão interna de tecnologia existente, como é o caso do biodiesel e do metanol.

## 1.1 Motivação / contextualização

O desenvolvimento de acessórios e dispositivos para baixar o consumo e simultaneamente as emissões de poluentes, tem sido um dos focos principais dos produtores de motores de combustão interna. Câmaras de combustão de elevada turbulência, sistemas de injeção de combustível, capazes de operar com mistura pobre e com corte de injeção em desaceleração, ignição eletrónica com uma bobine por vela, régua comum (*common-rail*) são alguns exemplos de sistemas desenvolvidos pelos fabricantes de motores de combustão interna com o intuito de redução de consumo.

Nos últimos anos tem-se verificado um aumento significativo de proponentes ou pequenos produtores independentes de um sistema, designado por HHO que nunca foi aplicado pelos principais fabricantes de motores. São inúmeros os relatos da redução de consumo por aplicação deste dispositivo. No entanto, a ser verdade, é muito estranho os fabricantes de motores ainda não terem dado qualquer notícia da aplicação destes dispositivos.

O objeto deste trabalho é testar a influência deste sistema na redução do consumo específico. Para tal foi usado um sistema já existente. Não foi objetivo produzir um de raiz.

Para uma melhor compreensão do sistema é desejável perceber os princípios de funcionamento e por isso se explica de seguida os princípios que servem de base ao processo.

Com a facilidade de obtenção de informação através da internet, conseguimos pesquisar um sem número de testes, ensaios e experiências para utilizar a água como combustível, sendo que a separação do hidrogénio do oxigénio, se produz no momento da sua utilização, sem armazenamento, o que reduz a perigosidade quase a zero.

O princípio de obtenção do hidrogénio baseia-se na eletrólise da água (explicado no capítulo 1.3.1).

São muitas dezenas os relatos encontrados onde a aplicação caseira de dispositivos destes levam a reduções de consumo de combustível que podem chegar aos 30%. A quase totalidade destes relatos não exclui o fator humano dos testes, ou seja, os testes de consumo são levados a cabo com uma viatura adaptada e conduzida por quem tem conhecimento da experiência em curso e que não estará isento de, mesmo inconscientemente, atuar no sentido pretendido.

## 1.2 Proposta de trabalho

Este trabalho propõe-se verificar qual a influência da montagem de um sistema HHO (referido no primeiro parágrafo do capítulo 2. o porquê desta designação) em paralelo com o sistema de combustível original (neste caso gasolina) num motor de injeção multiponto a gasolina. Foi realizada uma bateria de testes em bancada e sem influência do condutor, para determinar o consumo específico do motor sem o dispositivo e com o dispositivo ligado em diferentes configurações de carga e rotação do motor.

Existem várias empresas que comercializam estes sistemas e que garantem uma redução do consumo de combustível fóssil pela inclusão do hidrogénio, misturado com o oxigénio, na admissão. Crê-se que o hidrogénio produzido substitui a gasolina, e como tem um poder calorífico maior, existe por esta via uma redução do consumo de gasolina. A verdade é que não encontrei nenhum estudo válido que provasse esta teoria.

Com o aumento dos preços dos combustíveis originais (de origem petrolífera), os mercados começaram a ver aparecer sistemas que anunciam valores de abaixamento de consumo da ordem de dois dígitos percentuais, e isto tudo sem gastar nada pois a água tem um preço irrisório.

Fui sempre bastante cético relativamente a estes sistemas se mais não fosse, porque as marcas de automóveis nunca deitaram a mão a estes sistemas. Por outro lado também pesa o facto de poderem existir outros interesses instalados que não apoiem o desenvolvimento destes sistemas.

Como objetivo principal, pretendo verificar se existe ou não uma diminuição do consumo de gasolina utilizando este sistema, conforme anunciado pelo fabricante do mesmo.

Um objetivo secundário será verificar se existe ou não diminuição dos gases nocivos de escape.

### 1.3 O sistema HHO

O sistema é simples e a produção de um equipamento para produzir hidrogénio e oxigénio não requer muitos conhecimentos. Há centenas de pessoas mais habilidosas que construíram aparelhos deste género e que partilham essas mesmas experiências na internet

Neste capítulo explica-se o processo de produção do ponto de vista científico.

#### 1.3.1 A eletrólise da água

O processo é simples. Fazemos atravessar uma porção de água por uma corrente elétrica e dá-se a separação dos dois elementos da molécula, H<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>. A separação está diretamente ligada à quantidade de superfície dos elétrodos. Quanto mais pares de elétrodos forem colocados, maior a quantidade produzida. E se esses elétrodos forem chapas, que têm maior superfície, e forem colocados alternadamente, teremos uma produção ainda maior ao longo de toda a área da superfície das placas.

Há mais fatores que determinam a quantidade de H<sub>2</sub> produzido como sejam, o distanciamento entre elétrodos de sinal contrário, a quantidade de elétrodos e a quantidade de corrente que se fornece ao sistema. Também a condutividade da água é fator diferenciador.

Como o âmbito deste trabalho não é a produção do equipamento mas sim o seu desempenho, não nos alongaremos neste detalhe.

Para desagregar a molécula de água é necessário fornecer energia elétrica e na transformação, para além de obtermos o desejado H<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>, vamos também obter energia calorífica. Esta energia será desperdiçada e é até prejudicial ao nosso propósito pois com o aumento da temperatura da água, esta tenderá a formar vapor que não tem interesse para o sistema e pode até ser contrário ao objetivo. Conforme descrito nas diversas pesquisas feitas, sobretudo em ensaios disponíveis na internet, nestes sistemas, a quantidade de corrente fornecida é um fator determinante para o aquecimento ou não da solução.

A quantidade energia elétrica fornecida (e aproveitada pelo sistema) depende também da condutividade do fluido onde estão mergulhados os elétrodos. Assim, no caso em apreço neste trabalho, à água é adicionado um componente que aumenta a condutividade, neste caso o Hidróxido de potássio (KOH).

Como a desagregação da molécula vai disponibilizar duas moléculas de hidrogénio e uma de oxigénio, há muito tempo que se vem chamando HHO e por isso será usada essa designação doravante.

Neste processo, os iões de um eletrólito de carga elétrica positiva e negativa são transportados pela corrente elétrica e transformados em partículas não carregadas eletricamente. No caso de se tratar de um composto dissolvido, este sofre uma decomposição mais ou menos completa, por ação da água quando esta dissocia os seus iões.

Os elétrodos, positivos e negativos são constituídos por placas de aço inoxidável por ser um material que não sofre corrosão. Dentro do recipiente coloca-se a solução (água com KOH) e faz-se atravessar uma corrente elétrica. Neste caso será a corrente disponível na bateria do automóvel e aquela que é gerada pelo alternador, que funcionam a uma intensidade nominal de 12 V. Com isto forma-se um banho eletrolítico em que os iões de carga positiva (catiões) que contém menor número de eletrões que o respetivo átomo neutro, são atraídos para o cátodo (elétrodo negativo) onde são captados os eletrões e os neutralizam. Os iões de carga negativa (aniões) são atraídos pelo ânodo (elétrodo positivo) onde depositam o excesso de eletrões e se neutralizam.

Neste processo obtemos no elétrodo negativo (cátodo) H<sub>2</sub> e no elétrodo positivo (ânodo) O<sub>2</sub>.

Foram William Nicholson e A. Carlisle [2] que primeiramente descobriram que a corrente elétrica ao atravessar água (que se tornou ainda mais condutora por adição de umas gotas de ácido) fazia aparecer umas bolhas quer no ânodo quer no cátodo. Perceberam também que a quantidade de bolhas que aparecia no cátodo era o dobro das que apareciam no ânodo. A quantidade de bolhas de hidrogénio é o dobro das de oxigénio.

Também de acordo com a lei de Faraday, a massa de qualquer substância na eletrólise, é diretamente proporcional à quantidade de corrente elétrica que passa através da solução.

### 1.3.2 O hidrogénio

O átomo de hidrogénio foi descoberto em 1766 por Henry Cavendish [1] através da decomposição da água mas, o seu nome foi atribuído por Lavoisier.

Este estudo da utilização da água como combustível (por ter hidrogénio na sua composição) não é novo e é algo muito apetecível pelo facto de ser o elemento abundante no planeta Terra mas também pela abundância de hidrogénio no Universo.

O maior problema é que o hidrogénio na Terra se encontra, quase na sua totalidade, combinado com outros elementos. Restará cerca de 0.000055% em forma de gás na atmosfera, este em camadas superiores, devido à sua massa específica.

O átomo do hidrogénio (H) é composto por 1 protão (no núcleo) e 1 eletrão (na única orbita) o que o torna o elemento mais leve de todos os conhecidos. O hidrogénio

molecular ( $H_2$ ) existe pela junção de dois átomos ligados que partilham entre si os dois únicos eletrões numa ligação covalente.

A quantidade de energia que possui por unidade de massa é superior a qualquer outro combustível conhecido: 120,7 kJ/g. Também tem a maior quantidade de energia por unidade de massa 141,9 MJ/kg. Comparado com os combustíveis tradicionais, 1 kg de hidrogénio representa a mesma quantidade de energia que 2,8 kg de gasolina.

A massa volúmica é de 0,08967 kg/m<sup>3</sup>, ou seja, o hidrogénio é 14,4 vezes mais leve que o ar. A densidade do hidrogénio é 1,2928 kg/m<sup>3</sup>

A temperatura de mudança de fase líquido para gás, à pressão atmosférica, é de -252,88 °C. [1]

Em termos de segurança, de referir que o hidrogénio é extremamente inflamável no ar bastando cerca de 4% de volume de ar. A energia necessária para inflamá-lo é muito baixa, podendo em algumas condições existir a auto-inflamação.

O nome HHO é um conceito em que a molécula de água ao ser decomposta vai gerar duas moléculas de hidrogénio e uma de oxigénio.

Consiste em fazer a decomposição da molécula de água ( $H_2O$ ) em  $H_2$  e  $O_2$ , através da eletrolise da água.

Num recipiente com água desmineralizada colocado no habitáculo do motor são introduzidos dois conjuntos de elétrodos ligados aos 12 V do circuito elétrico do veículo. A passagem de corrente elétrica pela água vai fornecer energia suficiente para que se quebre a molécula de  $H_2O$  e se produza, no elétrodo negativo o hidrogénio e no elétrodo positivo o oxigénio. Supostamente estes gases constituídos por oxigénio e hidrogénio ao serem direcionados para o coletor de admissão, irão, por um lado proporcionar uma melhor queima pela adição de oxigénio e por outro uma substituição da gasolina pela adição de hidrogénio por isso, para a as mesmas condições de carga de acelerador e à mesma rotação, prevê-se que tenhamos maior potência e maior binário. É possível que não se perceba a diminuição do consumo pela quantidade gasta no espaço de tempo em que o teste é feito mas, fazendo o cálculo da quantidade gasta por kW numa hora, obteremos um resultado mais fiável e mais comparável.

É também assumido que o facto de se usar hidrogénio e oxigénio vai provocar uma redução dos gases poluentes, nomeadamente CO,  $CO_2$  e NOx.

Conforme é apregoado pelos entusiastas deste sistema, esta solução parece ser boa no entanto, existem alguns pontos a ter em conta que precisam ser verificados e que são o mote para este trabalho:

1. A geração dos gases hidrogénio e oxigénio obtém-se por ação da eletricidade fornecida pela bateria e pelo circuito de carga; a bateria é alimentada/carregada pelo alternador e este é acionado pela rotação do motor. Um alternador de um

automóvel tem uma capacidade típica entre os 0,5 kW e 1 kW. Esta potência é retirada diretamente do motor. Também sabemos que o rendimento de um alternador se situa entre os 50% a 60% [3], não entrando em linha de conta com as perdas existentes na transmissão de rotação através de uma correia trapezoidal. Ora, ao instalarmos o sistema HHO estamos a exigir a produção de mais energia elétrica ao alternador, que é movido pelo motor, que consumirá mais combustível para produzir essa energia. Também sabemos pela Lei da “Conservação da Massa”, que foi mundialmente conhecida como a Lei de Lavoisier, que:

“Numa reação química a massa é conservada porque não ocorre criação nem destruição de átomos. Os átomos mantêm-se os mesmos, mas rearranjados. Os agregados atômicos dos reagentes são desfeitos e novos agregados atômicos são formados”. De uma forma mais popular é costume dizer que: “Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”.

2. A aplicação de corrente elétrica na água tem como função fornecer energia para que a molécula de água se rompa. Ora, a água no estado líquido está num estado energético mais baixo comparativamente às moléculas de hidrogénio e oxigénio separadas após a eletrólise. Seguindo a Lei de Lavoisier:

**Energia água + energia elétrica = energia hidrogénio + energia oxigénio**

Esta equação estará porventura incompleta pois existe um 3º fator a colocar à direita que é o calor gerado na reação. A reação provocada pela eletrólise da água gera libertação de calor em maior ou menor quantidade de acordo com a quantidade de corrente elétrica fornecida/consumida. Assim teremos:

**Energia água + energia elétrica = energia hidrogénio + energia oxigénio + calor**

Como o calor não é aproveitado (dissipa-se), há uma parte da energia que se perde durante a eletrólise. A eletrólise da água tem um rendimento que pode variar de 60% a 90% [11].

Na Figura 1 mostra-se todo o sistema montado onde é possível ver as perdas de energia por calor libertado no motor e no aparelho de produção de HHO. Pode ver-se ainda os rendimentos de cada um dos componentes e perceber que existem por essa via outras perdas que não são negligenciáveis.

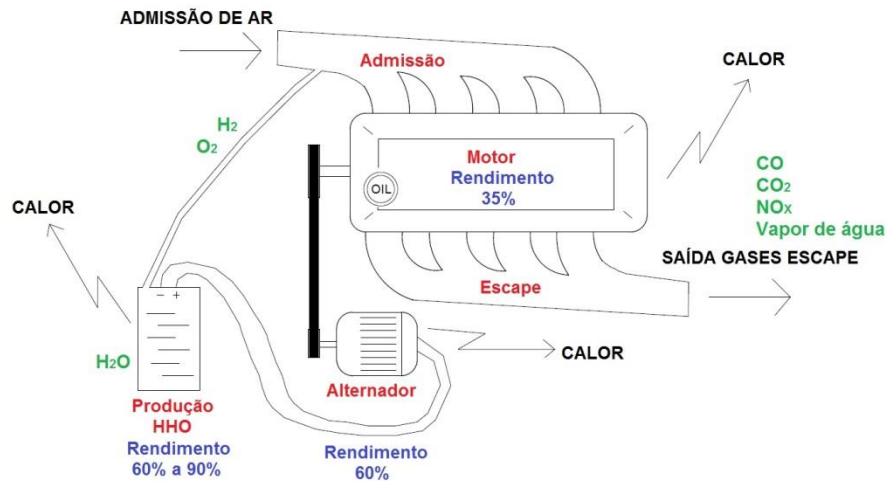


Figura 1 – Esquema do sistema HHO montado num motor.

3. Conforme referido no ponto 2, a ação da corrente elétrica, para além do efeito que se pretende, tem outro efeito que é o aquecimento da água. Haverá uma ocasião em que a água poderá entrar em ebulição o que provocará a entrada de vapor de água na admissão. Tendencialmente este fenómeno será mais crítico quanto mais água existir no recipiente pois sobra menos espaço e o vapor criado terá tendência a ser expelido imediatamente pelo tubo e a entrar pela admissão. De referir que existem equipamentos mais completos e mais elaborados que dispõem de filtros de modo a secar os gases mas, não é o caso do equipamento utilizado. Foi-nos dito pela empresa fornecedora do equipamento que, a partir dos 70°C é normal começar a existir vapor de água em quantidades suficientes para perturbar a eficiência do sistema.
4. Existe outro fator a ter em conta: em rotações mais elevadas os motores têm falhas de ignição e há ciclos que não são completados pois não há queima de combustível. Diga-se a título informativo que é esta a razão pela qual alguns fabricantes usam velas de dois ou quatro polos ou mesmo duas velas por cilindro, para garantir a faísca e conseqüentemente a queima do combustível. Também pode ocorrer pelo facto de a relação estequiométrica entre ar e combustível não ser perfeita. [5]. No caso do hidrogénio esta situação será minimizada pela facilidade que tem em reagir com o oxigénio. Esta poderá ser uma vantagem – a eliminação de ciclos não completos – mas dificilmente pode ser contabilizada a não ser pelos resultados observados que poderão dar alguma indicação de tendência.
5. O uso do hidrogénio tem ainda outras vantagens pois em termos de poluição atmosférica é inexistente: o resultado da combustão é vapor de água! A utilização sistemática deste sistema poderá ser uma vantagem para a “limpeza” dos motores pelo que evitará a deposição de resíduos de carvão nas cabeças do motor, válvulas, coletores e até sistema de escape.

Em resumo, com a utilização do HHO introduzimos no ciclo água no estado líquido, que irá ser expelida pelo escape do motor de combustão interna no estado de vapor, foi necessário fornecer energia à água para esta mudança de fase. Resta saber se a presença de  $H_2$  na queima promove uma combustão mais eficiente e porventura completa do combustível gasolina.

### 1.3.3 Aplicação da eletrólise no sistema HHO

A ideia por trás de um sistema HHO é um assunto relativamente simples. O sistema usa corrente elétrica produzida pelo alternador, que é conduzida aos elétrodos que estão mergulhados na água (à qual foi adicionado um eletrólito, geralmente uma forma de sal para criar melhor condutividade). A corrente elétrica rompe a ligação entre as moléculas de hidrogénio e as moléculas de oxigénio. Estes dois gases são libertados e canalizados para o coletor de admissão para, já dentro da câmara de combustão, serem usados como combustível, substituindo assim uma parte do combustível tradicional (gasolina ou gasóleo) usado no motor em causa.

A água no seu estado puro tem muito poucos iões e por isso podemos acrescentar um sal que lhe permita uma maior ionização para que a corrente elétrica tenha um melhor efeito e a produção dos dois gases seja em maior quantidade. Neste caso a proposta é que seja utilizado Hidróxido de potássio (KOH), ou Carbonato de Sódio ( $Na_2CO_3$ ). Neste caso usamos o primeiro pela facilidade de aquisição.

Este processo vai provocar um aumento da temperatura da água e por isso interessava também analisar este fator pois a partir do momento em que a temperatura atinja um determinado valor, vamos obter água no estado gasoso (vapor de água) que se juntará ao  $H_2$  e ao  $O_2$  na admissão. Isto é prejudicial à queima de combustível. Foi-nos informado pelo fornecedor do equipamento que com o funcionamento do motor a intensidade de corrente gerada poderia subir até aos 30 A o que iria levar a água a aumentar a sua temperatura até cerca de 70 °C e nesta fase já se gera bastante vapor de água, prejudicial à queima de combustível.

Se isto acontecer será necessário acrescentar água à solução para diluir a concentração de KOH, fazendo assim baixar a concentração e consequentemente a quantidade de corrente elétrica que a atravessa.

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A BUSCA POR ENERGIAS ALTERNATIVAS OU REDUÇÃO DE  
CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

2.2 CONSTRUÇÃO DE EQUIPAMENTO DE HHO

2.3 AUMENTO DA EFICIÊNCIA DO MOTOR COM O USO DE HHO

2.4 RESULTADOS OBTIDOS COM O USO DE HHO



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A busca por energias alternativas ou redução de consumo de combustível

Aquando da crise petrolífera no início dos anos 80, proliferou a busca por alternativas ao petróleo que pudessem, por um lado ser abundantes e por outro representassem uma economia para os consumidores/utilizadores. Uma das alternativas é a produção de HHO com equipamentos que fazem a eletrólise da água, separando o hidrogénio do oxigénio com recurso à energia elétrica fornecida por um alternador ou dínamo ou mesmo uma bateria, isto para aplicações em veículos. Existem equipamentos deste género para aplicações em instalações industriais que não foram objeto deste estudo. Ao longo dos anos, muitos outros sistemas foram sendo anunciados como promovendo a poupança de combustível. Alguns exemplos [18]:

- Imãs – Que quando colocados junto à linha de combustível do veículo alinham as moléculas de combustível, mas como os combustíveis são não-polares, este efeito não se opera. Quando testados, os dispositivos de íman não tinham efeito no desempenho do veículo ou qualquer economia de combustível. Ver Figura 2.
- Vaporizadores de combustível – São dispositivos destinados a melhorar a eficiência, alterando a forma como o combustível líquido é vaporizado. Podem ter o aspeto conforme se vê na Figura 4. Incluem aquecedores de combustível e dispositivos para aumentar ou diminuir a turbulência no coletor de admissão. Estas não funcionam porque o princípio já é aplicado ao projetar o motor, e porque a admissão de cada veículo é estudada individualmente e é específica para cada projeto de motor, nenhum dispositivo universal poderia ter qualquer efeito determinado em mais do que um tipo de motor;
- Injeção de ar – Dispositivo que injeta uma quantidade de ar suplementar à da admissão fazendo com que a combustão se dê mais completa pois é sabido que os motores usam uma pequena quantidade de combustível a mais que o necessário e que isso promove uma queima a temperatura mais baixa. Estes sistemas iriam provocar um sobreaquecimento do motor o que seria danoso para o motor. Sobre este assunto pode consultar-se [5];
- Geradores de vórtice – Estes equipamentos teoricamente fazem com que o ar na admissão gere uma turbulência tal que ajude a misturar melhor o ar com o combustível mas na realidade esse equipamento cria uma restrição na entrada de ar o que tem como consequência uma baixa de rendimento. Um exemplo é apresentado na Figura 3;
- Injeção de água na admissão – Teoricamente a injeção de água na admissão, quando atravessa uma camara que emite frequências ultrassónicas, esta fará quebrar as moléculas de água, criando o mesmo efeito que a eletrólise e gerando hidrogénio e oxigénio. Este sistema não funciona porque a suposta quebra da molécula via ultrassons não se dá. Exemplo na Figura 5.



Figura 2 – Imãs



Figura 3 – Gerador de vórtice

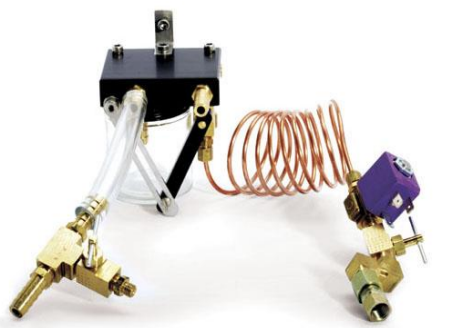


Figura 4 – Vaporizador de combustível



Figura 5 – Injeção de água

## 2.2 Construção de equipamento de HHO

A construção de um equipamento destes é relativamente fácil e existem inúmeros exemplos de equipamentos de fabrico caseiro onde entusiastas se dedicam a experimentar diversas configurações de modo a encontrar o equilíbrio ideal entre quantidade de HHO produzida, energia elétrica consumida, calor gerado. A maioria destes equipamentos são resultado de experiências empíricas sem base científica. Dos poucos trabalhos que têm um cariz mais científico, TS de Silva [8] estudou o processo de construção de um equipamento de produção de HHO, maximizando a quantidade de HHO produzida com baixa temperatura de modo a não produzir vapor de água. O distanciamento entre placas é decisivo para a quantidade de HHO produzido mas inversamente ao aumento da temperatura. O trabalho apresenta apenas duas distâncias entre eléctrodos mas com mais resultados seria possível desenhar uma curva de temperatura e outra de produção de HHO, ambas dependentes da corrente aplicada, e obter-se-ia um ponto de interseção onde se maximizaria a produção de HHO. Existem ainda aparelhos de produção de HHO chamados de pilha seca onde o depósito de água está separado e a produção de HHO se processa numa pilha com quantidades mínimas de água, conforme se pode ver na Figura 6.

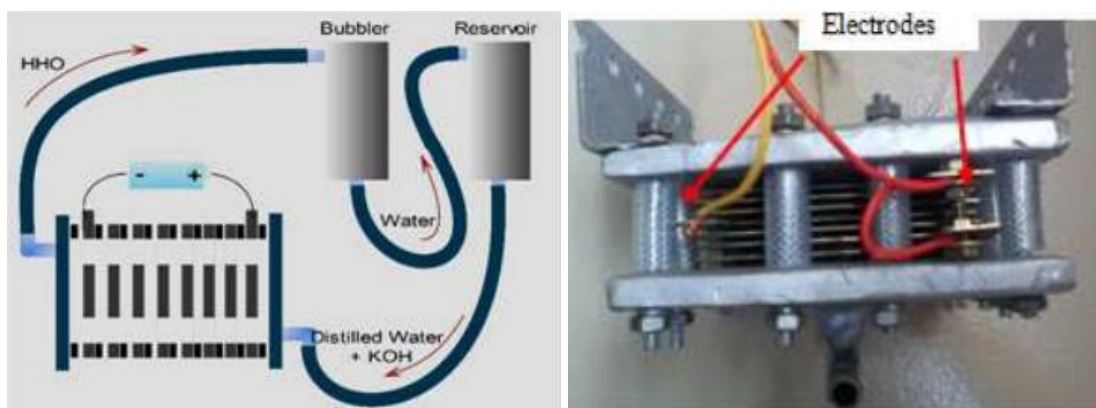


Figura 6 – Esquema de pilha seca à esquerda e pilha à direita – imagens de [8]

## 2.3 Aumento da eficiência do motor com o uso de HHO

Existem inúmeras experiências feitas que podem ser encontradas facilmente na internet e todas apontam para melhorias, algumas muito significativas, na eficiência dos motores e para reduções substanciais no consumo do combustível fóssil. Porém, não foi encontrado nenhum trabalho que se apoie numa base completamente científica e onde exista total ausência ou do fator humano, ou de fatores externos.

Como exemplo, no trabalho apresentado por A. M. Falahat, M. A. Hamdan e J. A. Yamin [9] o motor testado é de baixa cilindrada (197 cc) e embora esteja em banca, a energia elétrica necessária à eletrólise não é fornecida por este mas sim por uma fonte externa conforme se pode ler no ponto 2 desse documento – *“In order to simplify the setup, the HHO gas was generated using 12V external power supply”*.

Como este, existem muitos outros exemplos de experiências realizadas mas que não excluem fatores externos e que por isso não contabilizam as reais trocas de energia, isto é:

- Ou não contabilizam a energia elétrica consumida por ser de fonte externa;
- Ou utilizam baterias que são previamente carregadas para fazer face às necessidades do sistema;
- Ou foram testes realizados com viaturas em circulação que não isentam o fator humano nas suas conclusões (é normal sermos mais cuidadosos a conduzir se estamos perante um sistema que reduz consumos ou pela inversa é normal sermos mais enérgicos quando temos um sistema que produz mais binário ou mais potência no motor);
- Ou foram feitas comparações em condições diferentes (condições atmosféricas, percursos diferentes, condições de peso em circulação da viatura).

#### 2.4 Resultados obtidos com o uso de HHO

O que é apregoado pelos fabricantes e fornecedores dos equipamentos de produção de HHO, é uma poupança de combustível [17] da ordem dos 30% a 40% e uma redução dos compostos nocivos nos gases de escape da ordem dos 80% e até aumento de binário [16] da ordem dos 25%.

Apesar dos valores anunciados, não há nenhum registo de testes laboratoriais que tenham sido feitos para os equipamentos.

No que respeita à redução dos gases nocivos do escape porém, verifica-se que existe uma efetiva redução [10] dos valores de CO e HC.

Na tese de Tânia Esmeralda Rodrigues Estevão [10] relata-se a construção de um equipamento de produção de HHO e sua montagem numa viatura com motor de 2000 cm<sup>3</sup>. A conclusão refere que é praticamente impossível criar um aparelho que produza uma quantidade de HHO suficiente de modo a ser autossuficiente. Com efeito, a necessidade de produção de HHO seria enorme para que o veículo pudesse mover-se apenas com recurso a este meio. Apesar desta tese se referir ao uso de hidrogénio como combustível, nas conclusões nada se diz sobre consumos de combustível e eventuais poupanças (ou não) pelo uso do sistema HHO. Os resultados apresentados referem-se exclusivamente a emissões gasosas e as alterações da sua composição quando utilizado o sistema de produção de HHO e comparado como motor na sua configuração original.

# DESENVOLVIMENTO

3.1 DISPOSITIVOS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

3.2 AQUISIÇÃO DE DADOS

3.3 PROCEDIMENTOS E PREPARAÇÃO DOS TESTES

3.4 TESTES EXPERIMENTAIS

3.5 DIFICULDADES ULTRAPASSADAS



### 3 Testes para ensaio do equipamento de produção HHO

Este capítulo está dividido em duas partes. A primeira onde se apresentam os equipamentos e dispositivos utilizados para a execução dos testes e a segunda parte onde se explicam os testes realizados e seus resultados

#### 3.1 Dispositivos e equipamentos utilizados

Para este trabalho foram utilizados diversos dispositivos e equipamentos, alguns já pertença do ISEP, outros cuja aquisição foi necessária e ainda outros projetados e construídos propositadamente para este trabalho. São estes dispositivos e equipamentos que estão descritos com algum pormenor nos subcapítulos seguintes.

##### 3.1.1 Motor de combustão interna a gasolina

O motor que serviu de base aos ensaios, cuja imagem pode ser vista na Figura 7, foi um Toyota 4A-FE, 1.6 litros de cilindrada, que faz parte de um equipamento didático de apoio às aulas no ISEP. Este equipamento em forma de bancada móvel, como se pode ver na Figura 8, agrega o motor, a caixa de velocidades, o reservatório de combustível, o radiador e todos os demais órgãos mecânicos, elétricos e eletrónicos que possibilitam o normal funcionamento do conjunto. Para além disso tem instalados três mostradores: manómetro de pressão de gasolina, vacuómetro e manómetro de pressão de GPL. O equipamento foi cedido ao ISEP pela Toyota Caetano Portugal há alguns anos.

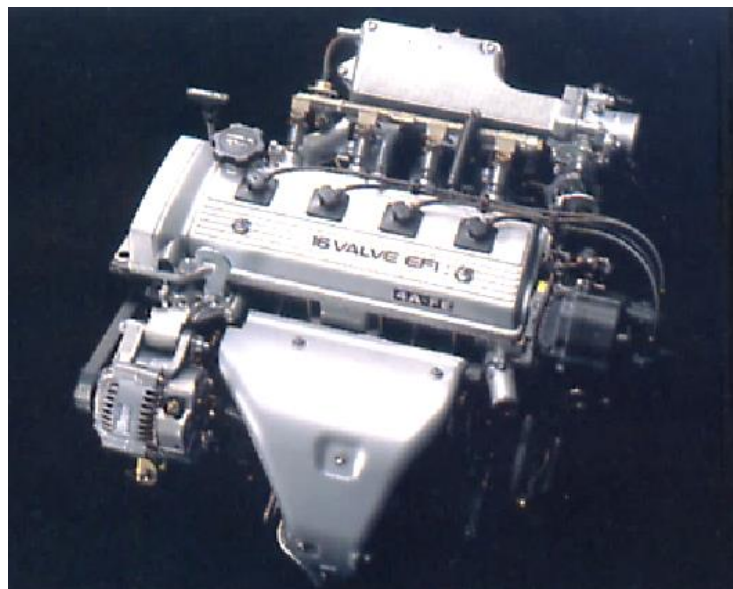


Figura 7 – Imagem do motor (Fonte: Catálogo Toyota Carina E)

## Dados e características do motor:

Fabricante do motor	Toyota Motor Corporation
Designação do modelo	4A-FE
Tipo de motor	4 cilindros em linha e dupla árvore de cames na cabeça
Número de válvulas	16 válvulas, 2 de admissão e 2 de escape por cilindro
Alimentação	Injeção multiponto
Cilindrada	1587 cm <sup>3</sup>
Diâmetro dos pistões	81 mm
Curso dos pistões	77 mm
Taxa de compressão	9,5:1
Potência máxima	78 kW / 106 cv às 6000 rpm
Binário máximo	136 Nm / 13,9 kgfm entre as 4800 e as 5600 r.p.m.
Refrigeração	A água



Figura 8 – Vista frontal do equipamento didático utilizado para os ensaios

O 4A-FE é um motor de injeção multiponto a gasolina de 4 cilindros em linha cuja árvore de manivelas assenta em 5 apoios. A ordem de ignição é 1-3-4-2 e a cabeça é feita em liga de alumínio com um desenho de admissão e escape com janelas em lados

opostos (*cross flow*) com câmaras de combustão de teto inclinado e possuem 4 válvulas por cilindro (duas de escape e duas de admissão) com vela de ignição no centro. As válvulas são acionadas por dois veios de ressaltos (árvore de *comes*), um para as de admissão e outro para as de escape, que por sua vez são acionados por uma correia de distribuição movida pela árvore de manivelas (cambota).

Os êmbolos são em liga de alumínio, de grande resistência à temperatura, tendo no seu topo várias depressões para evitar o contato com as válvulas.

O bloco do motor é feito em ferro fundido.

O cárter de óleo é fabricado em chapa de aço estampada e possui separadores no seu interior de modo a poder manter a pesca da bomba de óleo mergulhada mesmo em travagens bruscas ou curvas com grande apoio, o que não se aplica neste ensaio.

Este motor tem como sistemas de autorregulação uma ECU – sistema eletrônico de comando – e uma sonda *lambda* da 1ª geração, vulgarmente conhecida por “sonda *lambda* de dois fios”. Esta sonda tem como função detetar a presença de oxigénio nos gases de escape e transmitir essa informação à ECU para que possa fazer a correção da quantidade de combustível injetada. Este tipo de sondas só funciona depois de quente (acima dos 300 °C) pelo que todos os testes foram apenas feitos depois de o motor se encontrar na temperatura normal de funcionamento, embora este parâmetro tenha sido trabalhado, como se explica no capítulo Emulação da sonda *lambda* 3.1.7.

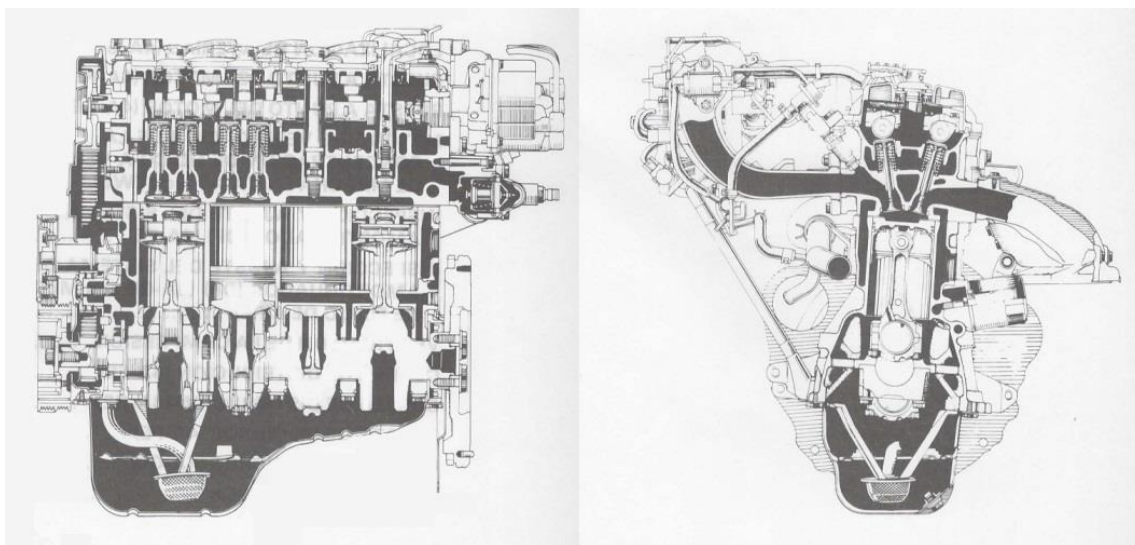


Figura 9 – Imagens do motor em corte. (Fonte: Manual de reparação Toyota 4A-GE)

Como já foi referido, este equipamento tem todos os componentes como sejam: depósito de combustível com bomba de combustível e respetivas tubagens; injeção multiponto com ECU; sistema de admissão com filtro de ar e respetivas condutas; sistema de escape com coletor, silenciador e sonda *lambda* para tomada de dados a enviar à ECU; bateria; motor de arranque; alternador; chave de ignição; painel de instrumentos.

O equipamento dispõe ainda de uma caixa de velocidades automática com respetiva alavanca de comando. Devido à necessidade de medir potência e binário à saída do motor, a caixa de velocidades foi removida deste equipamento.

Ao fazer-se a remoção da caixa de velocidades foi necessário proceder-se a algumas alterações ao equipamento, uma vez que a caixa de velocidades possui sensores e tubos de óleo, e um dos apoios do conjunto se encontra na própria caixa de velocidades.

Foi necessário fazer uma ligação direta para dar indicação ao motor que a caixa de velocidades está engrenada em “neutro”, Figura 10 – Ligação direta para simular “N” (neutro) na caixa de velocidades. Só deste modo se pode colocar o motor em marcha.

Foi necessário vedar os tubos de óleo da caixa de velocidades para evitar derrame.



Figura 10 – Ligação direta para simular “N” (neutro) na caixa de velocidades

O *powertrain* está suportado em três apoios, dois dos quais são fixos na caixa de velocidades. Ora tendo esta sido retirada, precisamos encontrar solução para apoiar o motor. Acresce que o motor de arranque se encontra também fixo na carcaça da caixa de velocidades. A solução encontrada foi desenhar uma peça que substituísse a caixa de velocidades nas suas funções: ligação aos apoios e fixação do motor de arranque. Foi necessário fazê-lo com medidas precisas de modo a respeitar o entre-eixo de engrenamento dos dentes do pinhão de ataque do motor de arranque e da cremalheira do volante do motor.

Para levar a cabo esta tarefa, numa primeira fase foi feito um molde em cartão ensaiando as medidas e posição. Posteriormente foi elaborado um desenho da peça, com o auxílio do *software* Solid Works. Esta tarefa também foi necessária para obter o desenho em formato *dxf* necessário para a produção, tendo-se optado pelo corte a laser de uma chapa de 6 mm. Para obter o conjunto final foi ainda necessário soldar algumas abas, de modo a fixar quer o motor de arranque quer o próprio motor. O suporte foi feito com a peça cortada e com cantoneira de Aço St37 5X5 conforme Figura 11, e aproveitando os sinoblocos já existentes. Pode ver-se o desenho que serviu para o corte da chapa a laser e que se encontra no anexo 6.1.

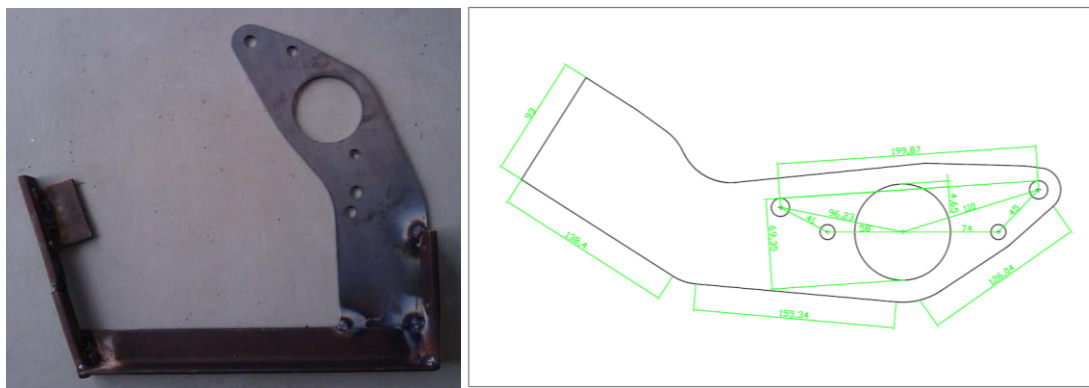


Figura 11 – Suporte para apoios do motor e motor arranque.

Findas as tarefas referidas foi possível colocar o motor em marcha testando a boa adequabilidade das alterações realizadas. Este teste preliminar mostrou que as soluções encontradas funcionaram de forma satisfatória.

No entanto notou-se ainda uma falta de regularidade de funcionamento do motor quando em marcha lenta (ralenti). Esta situação deve-se ao facto de o motor estar equipado com uma caixa de velocidades automática, dispensando assim um volante de motor (volante de inércia) com um peso tão elevado como as viaturas com caixa manual. Conforme se pode ver na Figura 11 este volante de motor tem apenas uma função, a de albergar uma cremalheira onde ataca o pinhão do motor de arranque.

Os volantes de motor das viaturas com caixa manual têm 3 funções:

1. Ter acoplada a cremalheira onde engrena o motor de arranque (já referido acima)
2. Servir de acoplamento para o sistema de embraiagem. A prensa de embraiagem está aparafusada ao volante do motor e entre estes dois componentes encontra-se o disco de embraiagem;
3. Servir de volante de inércia. O peso do volante é calculado de modo a que o funcionamento do motor seja estabilizado e que não sejam perceptíveis variações entre as explosões em cada cilindro. A energia acumulada pela rotação vai ser disponibilizada para manter a rotação estabilizada, especialmente para promover arranques suaves.

Apesar do motor não possuir volante de inércia de massa significativa, acreditou-se que a ligação (rígida em rotação) ao freio eletromagnético iria compensar essa falta de massa do volante, com a grande massa do rotor do freio eletromagnético. Como se verá no capítulo 3.1.5 essa presunção estava errada.

### 3.1.2 Banco de ensaio

O banco de ensaio, que foi disponibilizado, é da marca WEINLICH, modelo MP80.

Este equipamento foi adquirido pelo ISEP em 1997 e desde há alguns anos que tem estado parado. Um dos objetivos secundários deste trabalho (pelo facto de ser

também docente nesta escola) foi colocá-lo de novo em funcionamento com todos os periféricos de modo a poder servir para as aulas do curso de Engenharia Mecânica Automóvel e para outros trabalhos que venham a ser necessários no futuro. De referir que após se ter colocado o banco operacional já foram feitos diversos ensaios e demonstrações para aulas de diversas disciplinas e também tem servido para ensaios de uma marca portuguesa de motociclos numa parceria com o ISEP.

A sua construção robusta e a simplicidade são fatores a ter em conta que à partida garantem fiabilidade e repetibilidade. Trata-se de um freio dinamométrico de funcionamento eletromagnético arrefecido por ar (alhetas).

#### Dados disponíveis

No manual do equipamento que está disponível, pode obter-se várias informações da construção e características do freio.

- Freio elétrico marca TELMA
- Funcionamento por correntes de Eddy
- Rotação no sentido dos ponteiros do relógio – olhando do motor para o freio
- Rotação mínima com leitura de dados – 100 r.p.m.
- Rotação máxima – 6000 r.p.m.
- Binário máximo a 1000 r.p.m. – 800 N·m
- Inércia – 6 kg·m<sup>2</sup>
- Capacidade de carga – de acordo com a tabela da Figura 12.

No freio existe um quadro de comando que pode ser visto na Figura 13 e onde é possível visualizar os seguintes valores:

1. Rotações por minuto (r.p.m.);
2. Potência (kW);
3. Binário (N·m);
4. Rendimento (%);
5. Consumo (g/kW·h).

As informações obtidas no manual do freio são resumidas no que respeita às condições de utilização, numa chapa de características, afixada na estrutura do painel de comando. Aqui existem indicações muito precisas da capacidade e limites de utilização do equipamento, dependendo da rotação e da potência, conforme se pode ver na Figura 12

Nota: O ponto 5 “Consumo” só está disponível se for ligada uma balança através de cabo de aquisição de dados que deverá ser ligado na entrada frontal que se vê na Figura 13 – À esquerda o quadro de comando do Banco de Ensaio; ao centro o variador

e à direita as tomadas de dados. Para isso é necessário que a balança e o freio possuam uma forma de comunicação.

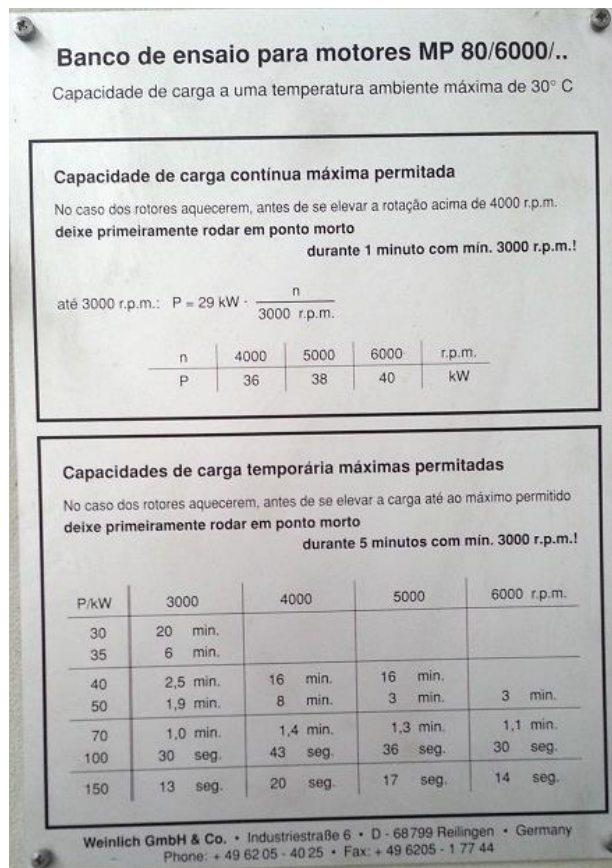


Figura 12 – Tabela de capacidade de carga temporária máximas permitidas, função da potência dissipada e rotação. Placa afixada no freio.



Figura 13 – À esquerda o quadro de comando do Banco de Ensaio; ao centro o variador e à direita as tomadas de dados

Através de um variador, ao centro na Figura 13 (que funciona como um reóstato) regula-se a rotação máxima de serviço que o freio impõe ao motor. O freio estabiliza à rotação selecionada pelo operador, independentemente do binário que o motor desenvolve, indicando no mostrador qual o valor deste binário. Se o binário desenvolvido alterar, ele será mostrado no visor respetivo mas a rotação fica inalterada. Desta forma consegue replicar-se as diferentes condições de carga da condução real.

O acoplamento do motor ao banco de ensaio faz-se através de um veio de transmissão. O banco vem já provido de um veio conforme imagem na Figura 16 mas, nem a furação da flange é coincidente com a da árvore de manivelas, nem o comprimento do veio é suficiente para ligar à cambota do motor. Assim, foi necessário encontrar um veio suficientemente longo e produzir duas falanges para aplicar no freio e na árvore de manivelas. O veio teria obrigatoriamente que possuir duas juntas universais (*cardan's*) de modo a compensar quaisquer desalinhamentos entre o motor e o banco de ensaio.

Tendo em consideração que o binário a aplicar no veio seria sempre o binário à saída do motor e não o binário à saída caixa de velocidades (que em 1ª velocidade pode quadruplicar), então um veio de transmissão de um veículo que utilizasse um motor de características semelhantes, serve para os propósitos deste trabalho e seria sempre usado com um coeficiente de segurança acrescido. O veio encontrado com a medida adequada foi proveniente de um veículo Toyota (de tração traseira) com uma cilindrada e potência semelhantes às do motor a ensaiar.

Na Figura 14 e na Figura 15 pode ver-se o veio e as duas falanges que foram produzidas nas Oficinas do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP de acordo com os desenhos técnicos produzidos pelo autor e que estão no anexo 6.2.

Na Figura 16 pode ver-se o veio de origem montado no freio e que não tem comprimento suficiente para aplicação em certos casos.



Figura 14 – Veio de transmissão com falanges.

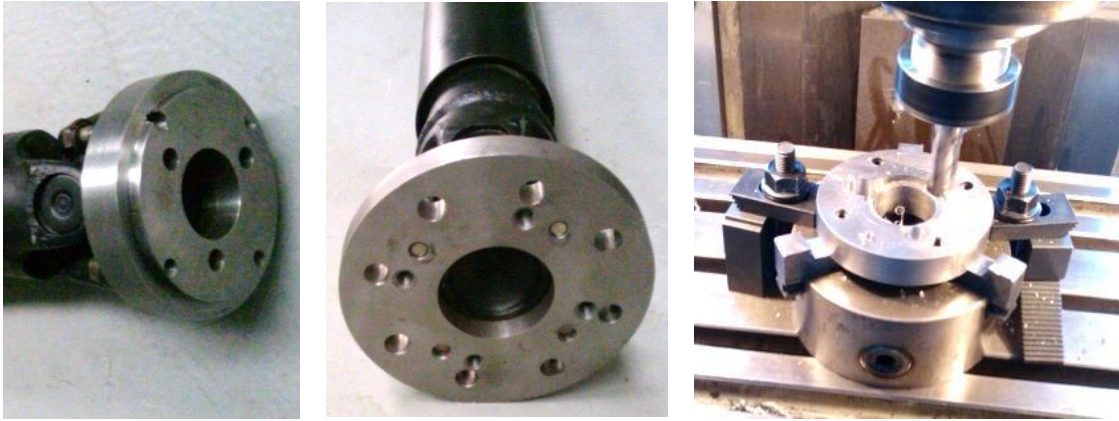


Figura 15 – À esquerda a flange da cambota; ao centro a flange do freio; à direita a maquinagem de uma flange



Figura 16 – Veio original do banco de ensaio

Ainda que o diâmetro das flanges seja reduzido e a sua produção respeitasse as tolerâncias, de modo a prever situações inesperadas, o conjunto do veio de transmissão juntamente com as flanges foi levado a uma empresa especializada para ser calibrado de modo a eliminar potenciais vibrações em determinadas velocidades críticas.

#### *3.1.2.1 Colocação do motor em marcha ligado ao freio*

Feita a ligação do motor ao freio, através do veio de transmissão, conforme Figura 17, foi realizado um primeiro ensaio para verificar a operacionalidade do sistema montado.

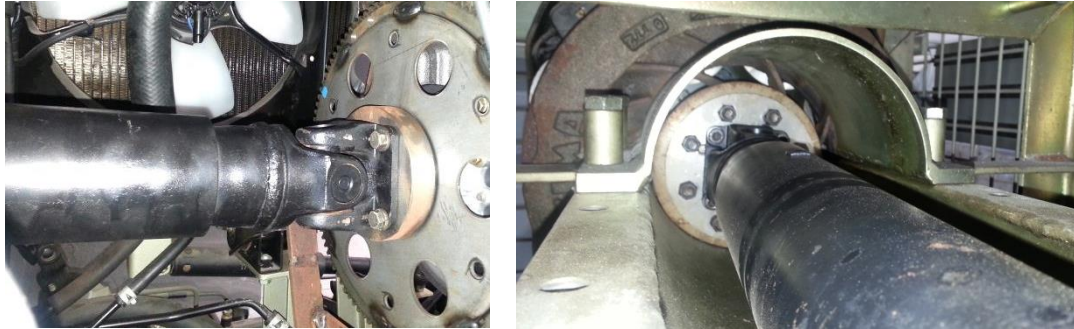


Figura 17 – Falanges aplicadas. À esquerda no motor e à direita no freio

A primeira situação a ter em conta é o facto de o freio eletromagnético ter que ser calibrado antes de cada utilização. Este freio possui uma memória interna que retém o valor de calibração durante alguns dias, mas quando está muito tempo sem ser utilizado perde a memória da calibração anterior.

Esta calibração é feita de acordo com o manual de instruções do freio:

- a. Ligar a corrente elétrica do aparelho;
- b. Se no mostrador aparece o “0” a piscar na escala do “Momento” significa que a memória foi perdida;
- c. Verificar se foi retirado o sistema de travamento para transporte. Neste caso estava ainda colocado e foi desmontado;
- d. Pressionar o botão “0 N·m” na “Calibração”;
- e. Colocar o calibre padrão na lateral – ver Figura 18 – de modo que não fique a abanar para que a força aplicada esteja estabilizada;
- f. Pressionar o botão “valor de calibração”;
- g. Se o processo correu como esperado, aparecerá no mostrador do “Momento” o valor “250” que é o valor do calibre, conforme se pode ver na Figura 18 à direita;
- h. Retirar o calibre;
- i. O Banco está pronto para ser utilizado.



Figura 18 – À esquerda a massa de calibração; ao centro a massa aplicada no freio; à direita a legenda gravada na massa

**Nota:** A calibração do momento é feita com um equipamento que tem um comprimento exato e uma massa exata por isso é essencial que a colocação deste equipamento seja feita de modo que o veio fique encostado ao batente, onde é fixo, e que não haja vibrações. Funciona com o princípio básico de força aplicada a um braço.

### 3.1.3 Caudalímetro

O objetivo deste trabalho consiste na medição de quantidade de combustível. Para se medir a quantidade de combustível que se queima por unidade de tempo e por kW (são estes os dados necessários para o trabalho) é necessário um aparelho de medida que permita essa leitura. Como se sabe, um caudalímetro mede caudais mas aquilo que faz falta para a análise deste trabalho é a massa de combustível. *A posteriori* é necessário calcular a massa em função do volume.

A 1ª opção recaiu num caudalímetro que permitiria ler o caudal de combustível. Dada a precisão pretendida, o caudal em causa e o uso de combustível, não foi imediato encontrar o equipamento e, com estas características não foi encontrado no mercado nacional, o que obrigou a ser adquirido no estrangeiro.

O Caudalímetro, na Figura 19, é constituído por uma unidade de comando (controlador) com visor, onde se pode ler o caudal, e dois sensores que fazem a medição desse mesmo caudal. Os sensores são máquinas de fluxo com turbinas no seu interior, estes geram impulsos por rotação.

Nos motores de injeção existe uma pressão de combustível constante, que neste motor é de  $3 \text{ kgf/cm}^2$ . Esta pressão no circuito gera um caudal elevado, mas nem todo esse combustível é necessário – depende das necessidades do motor de acordo com a posição do acelerador (borboleta de admissão) e as informações que chegam à ECU, neste caso provenientes da sonda *lambda*, e por isso existe uma grande quantidade de

combustível que retorna ao depósito. Assim, é necessário que existam dois sensores, um que faça a leitura do caudal de admissão e outro a leitura do caudal de retorno. A diferença entre estas duas leituras dar-nos-á o consumo efetivo.

O controlador selecionado permite obter duas leituras em simultâneo, canal A e canal B. É possível configurar o equipamento para obter leituras de apenas A, apenas B, soma de A+B e subtração de A-B.

Estes equipamentos foram montados pelo autor numa placa de modo a ficarem fixos e todos no mesmo espaço, fazendo assim um painel de controlo completo.

Depois de ligado este aparelho foram feitos alguns testes para verificar a sua operacionalidade.

O Manual de Instruções dá-nos informações de como programar mas é bastante parco em informações dos dados que podemos recolher e quais os valores que podemos obter.

O Manual de Instruções dá-nos informações de como programar mas é bastante parco em informações dos dados que podemos recolher e quais os valores que podemos obter.

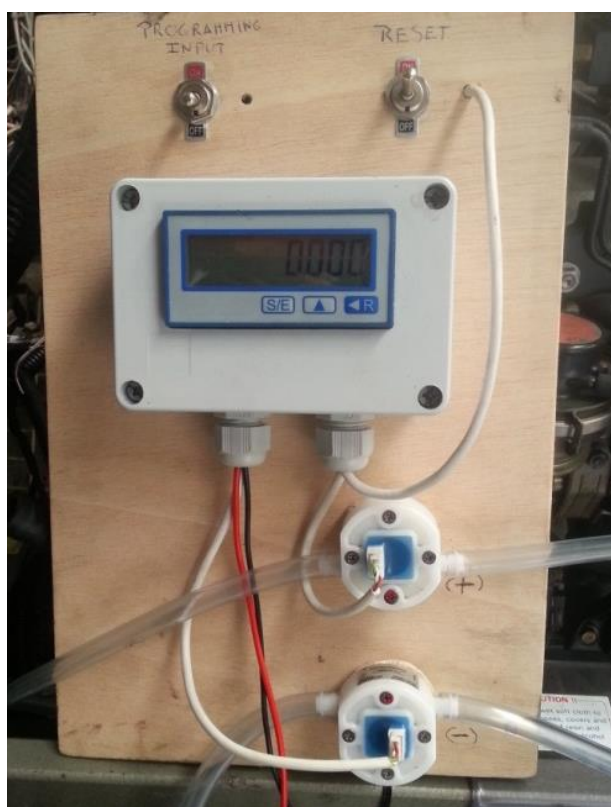


Figura 19 – Caudalímetro com seus acessórios, aplicado no suporte e ligações elétricas

Nos primeiros testes não foi possível perceber-se quais os valores apresentados no mostrador. A ausência de unidades não ajudou ao seu entendimento. Após algumas tentativas frustradas para perceber que significavam os valores apresentados no mostrador, conseguiu-se uma informação por parte do fabricante que permitiu perceber o modo de ajuste. Mas então apareciam valores de consumo completamente

disparatados. Quando o motor trabalhava em vazio (*ralenti*) o valor dos consumos decrescia e até apresentava valores negativos de consumo por longos períodos! Ora sendo isto uma impossibilidade, foram feitos testes usando as várias hipóteses de leitura do painel de comando.

Foram gastas muitas horas à volta deste problema, experimentando várias formas, mas a solução não aparecia nem sequer o entendimento do porquê. Chegou a pensar-se que o caudalímetro teria algum defeito. Depois do próprio fornecedor não conseguir dar mais informações relevantes nem perceber o porquê destes dados sem nexos, foi decidido fazer um teste com uma vasilha graduada e medir a passagem da quantidade de 1 litro de combustível, por gravidade, onde se pudesse confirmar os valores apresentados. Foram feitos cerca de uma dezena de testes de modo a garantir que as leituras eram fiáveis. Durante o teste comprovou-se que este caudalímetro está em perfeito estado de funcionamento e que é apenas um totalizador e que não fornece o consumo instantâneo. Este foi um passo importante. Para ultrapassar esta contrariedade teria que se fazer as medições por unidade de tempo. Dos diversos ensaios onde se fez o combustível atravessar um sensor e depois outro, escolhendo, ora soma ora subtração, conseguiu-se obter sempre resultados corretos.

Com base nos resultados encontrados, voltou a colocar-se o sistema em funcionamento ligado ao motor e o contador iniciou o processo de totalização. A situação anterior repetiu-se: com o motor ao *ralenti*, o mostrador dá resultados próximos de zero e a determinada altura, valores negativos.

Testado em carga os valores começam a subir e a contabilizar o consumo de combustível que vai aumentando mas quando se retira aceleração e se deixa ao *ralenti*, a quantidade fica estática (sinal que a quantidade de combustível o retorno é muito grande e que o motor ainda tem muita inercia não necessitando de combustível para continuar a rodar) e após uns segundos a quantidade começa a decrescer. Se deixarmos o motor a trabalhar em vazio, a quantidade vai descer até zero e continuar em valores negativos. Se a situação se mantinha e o equipamento estava em bom estado de funcionamento, o problema teria que ser outro. Depois de alguma investigação sobre o assunto, concluiu-se que o problema estaria centrado na forma como são contabilizados os caudais na passagem pelos sensores.

Diversos fatores podem convergir para estes resultados dos quais:

- A temperatura do combustível no retorno ser maior que na admissão, provocando um aumento do seu volume e conduzindo a leituras dispares uma vez que o sensor lê caudal volúmico e não caudal mássico ou,
- A pressão de fornecimento do combustível na admissão ser de 3 bar e a de retorno ser praticamente a atmosférica, podendo por isto provocar leituras diferentes.

Mesmo sem um prognóstico exato, esta situação determinou o abandono do caudalímetro, tendo-se optado pela recolha de dados através da montagem de uma

balança (que pesasse o combustível antes e após cada teste) o que aliás é a proposta do fabricante do banco de ensaio.

Dir-se-ia em jeito de conclusão, e de uma forma popular, que “não vale a pena inventar o que já está inventado”.

### 3.1.4 Balança eletrónica

A balança que estava disponível e que foi utilizada é da marca KERN e foi cedida para este efeito pelo Laboratório do Departamento de Engenharia Química do ISEP.

A balança é de mostrador digital, tem uma capacidade de 30 kg e uma precisão de 2 g. É a que está representada na Figura 20.



Figura 20 – Balança. À esquerda a imagem de catálogo e à direita a balança com o depósito de combustível

O autor estava ciente que uma precisão de apenas 2 g representava uma margem de erro considerável para medições em rotações baixas, com pouca carga de acelerador e para tempos curtos pois, 2 gramas a mais ou a menos num total da ordem dos 100 gramas representam 2% de erro. Apesar disso e consciente deste facto, foi decidido continuar pois a alternativa existente era uma balança de apenas 3 kg o que não comportava nem sequer o peso do depósito com a bomba de gasolina. Comprar uma balança para este trabalho também foi colocado fora de hipótese. A solução, como se vai ver adiante, passou por testes de maior duração.

O peso total do conjunto com cerca de 12 litros de combustível ronda os 20 kg.

A balança referida de marca KERN, é o modelo FKB30K2A.

Esta balança está provida de uma ligação RS232 de saída de dados.

Para utilizar esta balança foi necessário colocá-la num local onde não sofresse influência da movimentação de ar provocada pela rotação do freio ou pelo funcionamento da ventoinha do radiador. Para além disso, era necessário retirar o

depósito de combustível do local onde se encontrava no equipamento didático para o colocar em cima da balança. Este ato teve como consequência a necessidade de se refazer (aumentar) as tubagens de combustível. Para evitar o corte dos tubos existentes (que servirão para reposição do sistema no final dos testes) foram utilizadas novas ponteiras e tubo transparente (tubo de cristal) sendo este fixo por meio de abraçadeiras. As primeiras abraçadeiras que haviam sido usadas eram fracas e não faziam a vedação convenientemente. Foi preciso trocá-las por outras mais fortes pois as primeiras não aguentavam a pressão de gasolina. Nas imagens da Figura 21 pode ver-se as ligações.



Figura 21 – Da esquerda para a direita: Os dois tipos de abraçadeiras; a ligação ao filtro de combustível; as ligações ao depósito de combustível

O posicionamento das tubagens também foi tido em conta para que o peso dos tubos não influenciasse as pesagens de combustível. Foram colocadas numa posição horizontal e apoiados externamente.

### 3.1.5 O volante do motor e sua influência no funcionamento do motor

Depois de montadas as tubagens e de colocar o depósito na balança, fez-se um primeiro ensaio para avaliar a facilidade de leitura dos valores. Fez-se o teste a várias velocidades e concluiu-se que, com alguma carga no freio, e principalmente a rotações menores, havia uma grande flutuação nos valores de potência e binário, lidos no freio. Feita uma análise ao sistema, suspeitou-se que o veio de transmissão, pelo facto de ser constituído por dois tubos concêntricos com uma camada de borracha a ligá-los (tipo sinobloco), pudesse provocar essa flutuação. Mas esta situação, a ser verdade, também seria notada na viatura de onde foi retirado o veio, pelo que foi afastada esta hipótese.

Entretanto, conforme se referiu no capítulo 3.1.1, aventou-se a hipótese de o volante do motor ser demasiado leve (de uma caixa automática) sendo por isso necessário um volante de maior peso.

Encontrou-se um volante de uma viatura com o mesmo motor mas com caixa manual e este foi instalado no equipamento didático utilizado para os testes. Como a espessura deste é muito superior ao original, foi ainda necessário utilizar parafusos mais compridos para o fixar na árvore de manivelas juntamente com a flange.

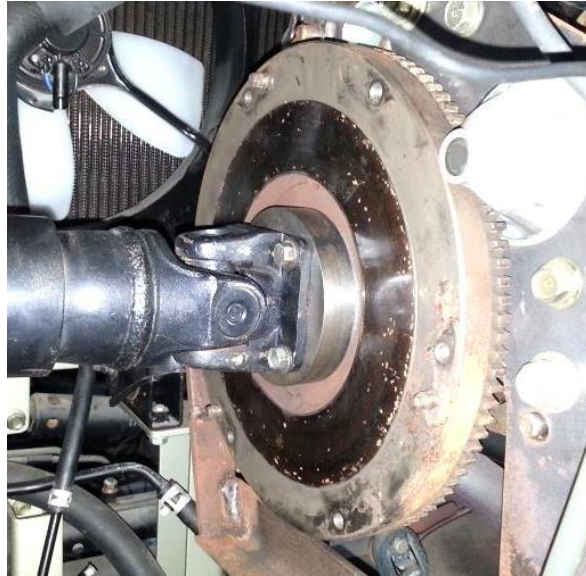


Figura 22 – Volante de inércia instalado

Depois de instalado o novo volante, realizaram-se novos testes de verificação e a flutuação nos valores de potência e binário lidos foi praticamente eliminada.

Se dúvidas existissem, fica verificado que o volante do motor enquanto volante de inércia é de extrema importância para a suavidade de funcionamento do motor e nem mesmo o facto de existir uma ligação ao rotor do freio, que tem uma grande massa, conseguiu suprir a necessidade da existência do volante.

### 3.1.6 Aparelho para produção de HHO

O equipamento foi-nos cedido por uma empresa portuguesa que comercializa este tipo de equipamentos sobretudo para aplicação em queimadores de gás para aplicações industriais onde segundo nos informaram, tem tido enorme sucesso pela poupança de combustível, que naqueles casos é o gás. Foi-nos pedido anonimato pelo que não iremos divulgar a empresa nem a marca.

O equipamento apresenta-se conforme a Figura 23 e a Figura 24 e é constituído por uma cuba em aço inox onde, no seu interior, estão montadas diversas placas de eléctrodos (ânodos e cátodos intercalados). No topo desse depósito existem dois relés responsáveis pela ligação do sistema. Existe ainda um visor que nos informa a corrente que está a ser usada pelo equipamento e que é fornecida pela bateria ou pelo alternador.



Figura 23 – Kit do aparelho HHO

Este dispositivo possui um sistema de segurança para garantir que não produz hidrogénio com o motor parado o que podia ser perigoso pela concentração deste gás e conseqüente risco de explosão. Assim, os relés são apenas ativados pela energia produzida pelo alternador. A ligação faz-se pelo fio elétrico do alternador que dá informação ao painel de instrumentos. Este fio recebe o sinal (+) apenas quando o alternador roda.

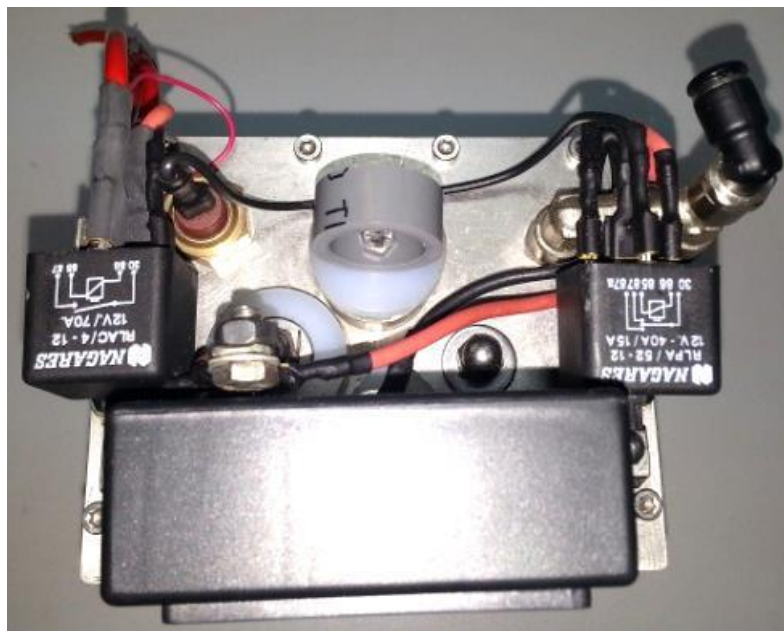


Figura 24 – Vista superior do aparelho HHO

O equipamento está provido de um filtro antirretorno de chama (ao centro da Figura 23) e um fusível.

O conjunto foi montado e aplicado numa estrutura em chapa quinada feita propositadamente para o efeito pelo autor, de modo a promover uma boa fixação do conjunto. Este por sua vez é imobilizado na estrutura através de molas, conforme Figura 25.

Para além disto é necessário fazer uma ligação elétrica à massa. Foi utilizado um dos parafusos da cuba e ligado ao chassis do motor.

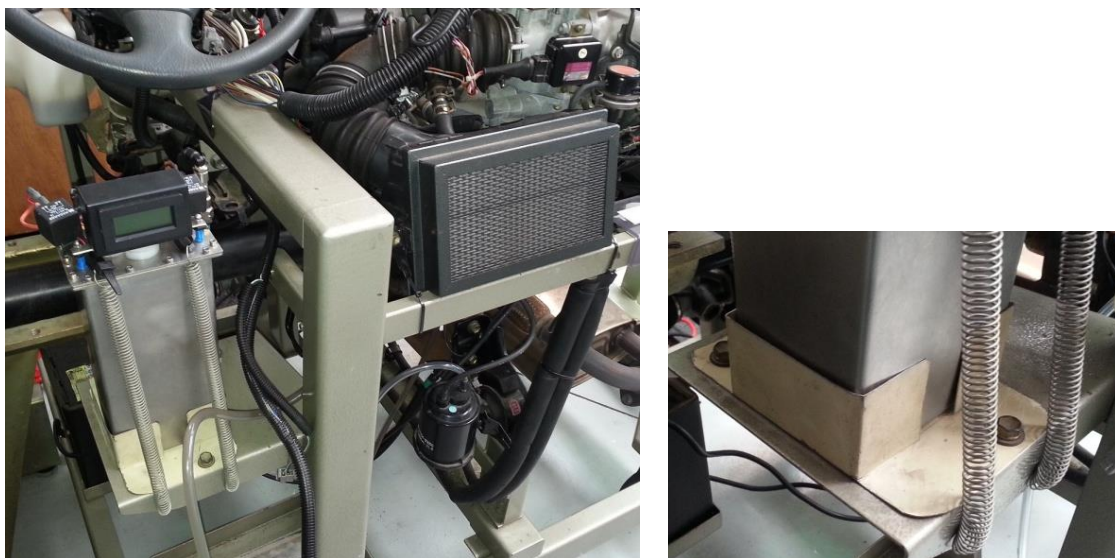


Figura 25 – À esquerda o aspeto do conjunto montado e à direita o suporte feito em chapa

### 3.1.7 Emulação da sonda *lambda*

A Empresa que forneceu o equipamento refere ainda que é necessário fazer a emulação da sonda *lambda* para obter melhores resultados. Num passado recente fornecia junto com o kit uma pequena caixa eletrónica que era instalada entre a sonda e a ECU, que tinha por objetivo modificar os valores lidos. Aquando do fornecimento do kit, este dispositivo já não estava disponível e o fabricante recomenda o reposicionamento da sonda *lambda*.

Para perceber melhor a que se devia esta emulação, uma vez que a explicação foi parca, aprofundou-se o conhecimento sobre esta sonda. A sonda *Lambda*, no caso do motor em análise, e conforme já foi referido atrás, existe para detetar a concentração de oxigénio na saída de escape. Essa leitura é enviada à unidade de controlo eletrónico do motor – ECU – que com esses dados corrige a quantidade de combustível a injetar. A sonda consegue detetar quantidades de oxigénio contidas nos gases de escape e fornece uma tensão que varia entre os 0,2 V e os 0,8 V respetivamente para concentrações de oxigénio acima de 0,5% e abaixo de 0,3%.

As sondas de zircónio, como é o caso, funcionam corretamente apenas quando aquecidas acima dos 300 °C pelo que os testes foram feitos apenas depois de o motor

estar à temperatura normal de funcionamento. Este procedimento foi garantido levando a que a ventoinha elétrica do radiador começar a trabalhar pela 1ª vez.

Depois de analisada esta questão da emulação, percebeu-se que esta emulação da sonda *lambda* tem como objetivo dar informações diferentes daquelas para as quais foi originalmente pensada ou, usando uma expressão mais popular, “enganar a ECU”. Esta emulação pode ser feita através de um equipamento próprio, que não nos foi fornecido, ou utilizando a sonda *lambda* a uma temperatura ligeiramente mais baixa. Isto é conseguido através do afastamento da sonda *lambda* do fluxo direto do escape. Utilizando um espaçador com cerca de 20 mm de espessura, como se pode ver na Figura 27, consegue-se esse efeito. Ao trabalhar a uma temperatura menor, a sonda *lambda* retorna valores de tensão condizentes com muito baixas concentrações de oxigénio. Assim, obtendo-se uma leitura errada (de menor concentração de oxigénio a que corresponderia uma queima mais completa) a unidade de controlo da injeção vai injetar uma menor quantidade de combustível obrigando o motor a trabalhar com misturas mais pobres. A consequência disto é que a quantidade de combustível injetada/consumida também é mais baixa.

Como veremos mais à frente, o motor tem um desempenho idêntico e por vezes melhor, em termos de consumos, quando a sonda faz menos bem o seu papel e o motor trabalha com misturas mais pobres. Então poderemos pensar que a sonda faz consumir mais combustível, e se assim é, porque está assim configurada?

Colocando a questão de outra forma: então porque é que os motores dos automóveis não vêm configurados desde novos desta forma? Se consomem menos, seria preferível!

Segundo Jorge Martins in *Motores de Combustão Interna*, edição de 2006, no capítulo 7., refere que os combustíveis (neste caso a gasolina) são injetados na câmara de combustão no estado líquido e necessitam de ser vaporizados para se poderem misturar com o ar. Para que isso aconteça, a gasolina necessita de calor que é retirado à mistura ar-combustível que por sua vez arrefece. Idealmente a mistura ar-combustível devia ser estequiométrica porém, os construtores perceberam que se for injetada uma pequena quantidade de combustível acima da relação estequiométrica, essa quantidade de gasolina vai também vaporizar-se retirando calor à mistura. Ainda que este combustível a mais não seja queimado (não tem oxigénio para se dar a combustão), vai permitir o arrefecimento interno do motor e consequentemente o abaixamento da temperatura dos gases de escape.

Esta atitude protege os motores de eventuais danos ou desgastes prematuros e consequentemente protege a imagem de qualidade dos fabricantes.

Com efeito, nos ensaios com a sonda *lambda* alterada, foi possível verificar visualmente que, principalmente nas configurações de carga mais elevada e em rotações mais altas, o coletor de escape e mesmo parte do tubo de escape chegam ao rubro, como se pode ver na Figura 26, indicativo que a temperatura era mais elevada que nos ensaios onde a sonda *lambda* se encontrava conforme originalmente.

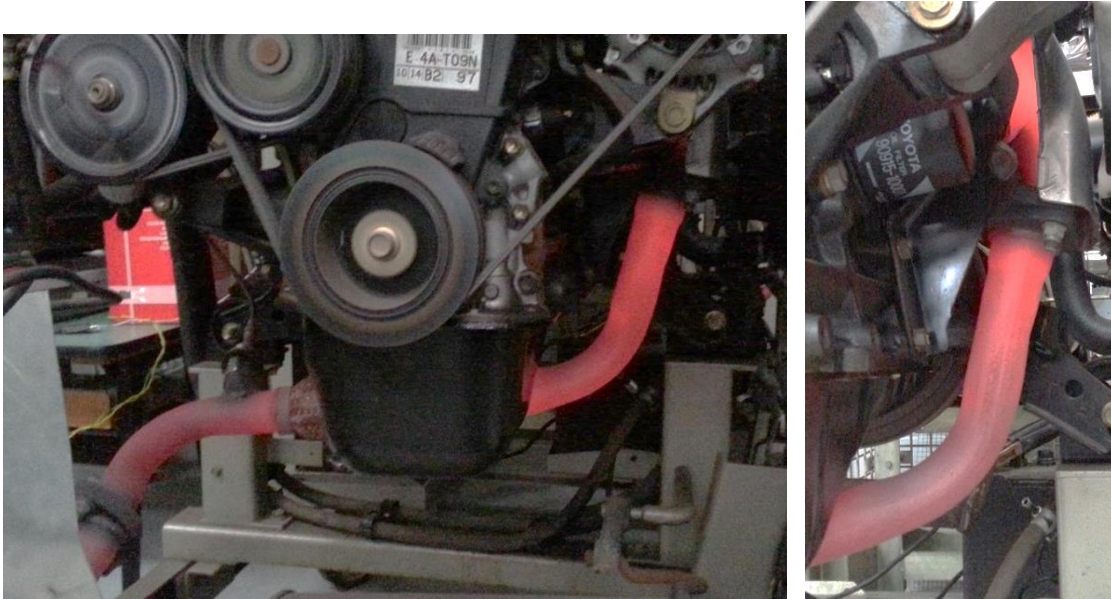


Figura 26 – Imagem do sistema de escape durante um teste com carga elevada

Conforme sugerido, foi feito um espaçador para a sonda de forma a afastá-la do centro da conduta de escape, conforme se pode ver na Figura 27.

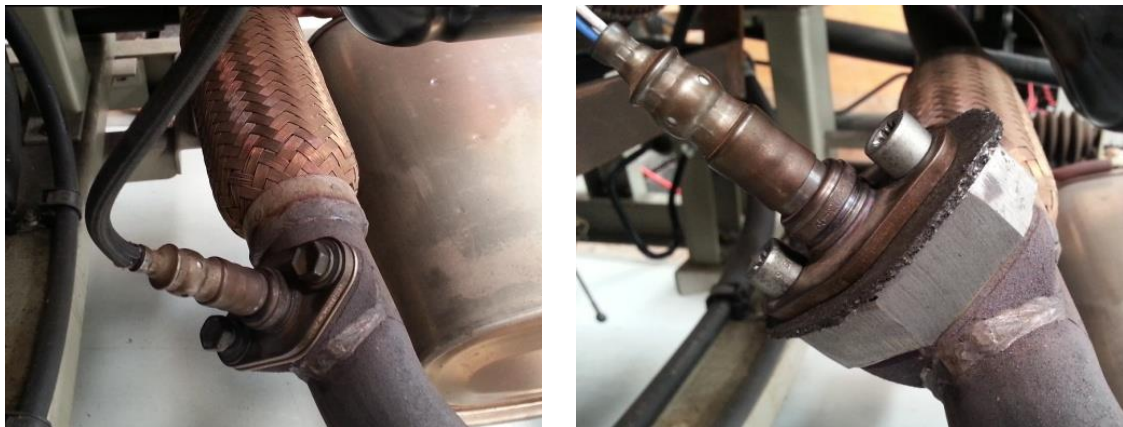


Figura 27 – À esquerda a sonda na posição original e à direita a sonda com o espaçador

O espaçador foi também executado pelo autor, nas oficinas do ISEP. Aproveitando a junta como molde, foi cortada uma chapa com 20 mm de espessura e feitos os furos na medida correta. Ver Figura 28 – Execução de furos no espaçador.

Os parafusos tiveram que ser substituídos por outros com mais 20 mm de comprimento e foi também usada uma nova junta entre a sonda e o espaçador.



Figura 28 – Execução de furos no espaçador

### 3.2 Aquisição de dados

Após a montagem e teste de todos os componentes e equipamentos referidos no capítulo anterior, faltava ainda definir o formato da aquisição de dados. A primeira opção para aquisição de dados seria obter o software do equipamento fornecido pelo fabricante, o que facilitaria muito o trabalho, visto a recolha manual dos valores no mostrador não ser satisfatória. Após consulta à Weinlich GMBH (com quem se manteve contato durante todo o processo) obteve-se a informação que, apesar do equipamento ter sido vendido há mais de 20 anos, o *software* estava disponível.

O valor pedido para a aquisição estava muito acima do que seria possível conseguir por parte da Escola. Por parte do autor, a aquisição estava também fora de questão.

Após alguma meditação sobre o assunto, assumiu-se que a opção seria fazer os testes filmados com todos os indicadores de dados incluídos na imagem e, *a posteriori* retirar os dados obtidos com a imagem parada. Seria uma solução de recurso, sujeita a erros e onde não seria possível obter por exemplo as médias de r.p.m. ou de binário ou de potência. A solução não agradava mas a alternativa não se vislumbrava.

Neste ponto, o trabalho ficou parado bastante tempo, tentando encontrar uma solução que fosse suficientemente fiável e prática.

Enquanto se preparava todo o sistema com os equipamentos descritos no capítulo anterior, surgiu uma alternativa: fazer o *software* de aquisição. No âmbito do Programa Erasmus, o estudante Hendrik Rauch manifestou o interesse em fazer um trabalho na área de testes de motor. Rapidamente se percebeu que pelas valências que dispunha e pelo facto de ser alemão poderia ser um elemento facilitador no contato com o fornecedor do banco de ensaio, também alemão.

Como trabalho complementar àquele que se propunha fazer, foi-lhe então entregue a tarefa de encontrar uma forma de fazer a aquisição de dados do banco de ensaios para um PC. A incumbência agradou-lhe e a primeira tarefa foi perceber como obter os dados através das portas de comunicação. Após conhecidas as necessidades, foi com a ajuda de um colega investigador do Laboratório de Sistemas Autónomos, LSA,

Eng.º Diogo Machado, que se escolheu o *software* adequado para aquisição de dados do banco. A aplicação que serviu de base a este trabalho foi o Microsoft Visual Studio. Com as diretivas de necessidades de dados que foram emanadas pelo autor, Hendrick foi capaz de escrever as linhas de programação necessárias para obter esses dados. Seria necessário adquirir os dados do banco e da balança com a mesma base de tempo, por duas vias diferentes e guardar esses dados no mesmo ficheiro informático e depois tratar os dados em PC.

O freio tem duas saídas de dados, uma para valores de potência, binário e rotações e outra para dados de consumo. No entanto, como já referido, não se conseguia obter leituras dos consumos através do monitor do banco sem possuir o *software* original, razão pela qual foi necessário construir um cabo para tomada de dados diretamente da balança. Na Figura 29 pode ver-se as ligações que foram construídas para adquirir dados do freio e dados da balança.

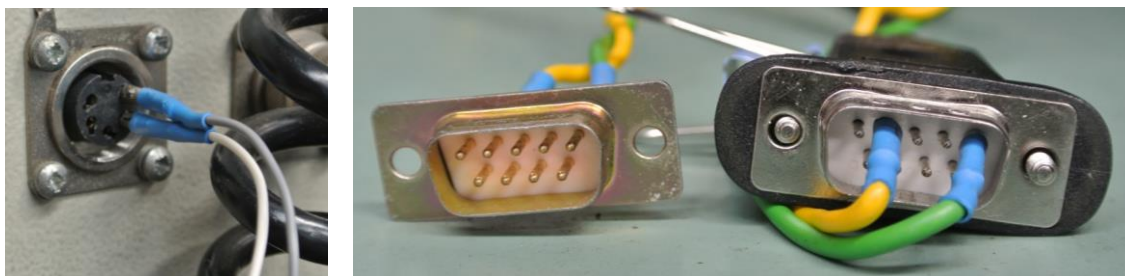


Figura 29 – À esquerda a ligação com o banco de ensaio e à direita ligação com a balança para obtenção dos dados no PC

### 3.2.1 Fatores que influenciam os dados obtidos

Em teoria, depois de tudo montado, a tomada de dados seria imediata. Porém há diversos fatores que influenciam os testes e que podem alterar os resultados obtidos nas medições.

Se alguns desses fatores podem ser controlados ou minimizados, outros sê-lo-ão muito pouco ou até impossíveis de controlar, pelo menos no ambiente em que se fizeram os testes.

Alguns desses fatores são:

1. A temperatura ambiente;
2. A humidade relativa do ar;
3. A pressão atmosférica;
4. A qualidade e ou composição do combustível;
5. A temperatura de funcionamento do motor;
6. A quantidade de HHO produzida por unidade de tempo.

Para cada um dos fatores acima mencionados foram tidos alguns cuidados e estabelecidos procedimentos de modo a causar a menor intrusão externa no sistema a analisar, promovendo assim a menor variabilidade possível nos resultados:

1. A temperatura, a humidade e a pressão atmosférica podem variar significativamente de um dia para o outro alterando a eficiência dos motores, com facilidade. Os testes foram feitos sempre em dias secos e com temperaturas atmosféricas nunca inferiores a 15 °C;
2. Todo o combustível utilizado foi sempre da mesma marca e do mesmo índice octano, para além de ter sido sempre comprado no mesmo posto de abastecimento (ainda que saibamos que isso não garante a mesmas características);
3. Temperatura do motor e do óleo do motor. O facto da temperatura do motor se elevar, obrigando o termostato a abrir a meio de um teste e/ou a ventoinha do radiador se ligar, pode afetar as leituras obtidas. Por isso mesmo, após atingida a temperatura normal de funcionamento, a ventoinha foi ligada permanentemente de modo a não influenciar as leituras e consequentes comparações;
4. A quantidade de HHO produzida varia com a quantidade de energia elétrica fornecida e por isso os testes com o equipamento ligado foram feitos sempre com valores de intensidade de corrente (verificados no mostrador do equipamento de produção de HHO) acima dos 15 A e abaixo dos 25 A. Estes valores foram dados pelo fornecedor do equipamento que, correspondem à gama em que a produção de HHO é máxima sem que o calor atingido seja demasiado elevado e provoque demasiado vapor de água. O vapor de água iria influenciar negativamente os resultados;
5. Conforme de refere no primeiro parágrafo do capítulo 3.3, e como forma de minimizar a influência dos diferentes fatores externos (condições atmosféricas), foram feitos grupos de 4 ensaios a determinada carga e rotação onde o sistema HHO estava ora ativo ora inativo, todos realizados num curto intervalo de tempo (mesma manhã ou mesma tarde) e com o mesmo combustível. Desta forma minimiza-se os efeitos das condições atmosféricas nos grupos de testes que queremos comparar.

### 3.3 Procedimentos e preparação dos testes

O motor foi ensaiado para determinadas condições pré estabelecidas, com e sem o sistema HHO a funcionar e com e sem a emulação (reposicionamento) da sonda *lambda*. Para que as conclusões a retirar deste estudo sejam abrangentes para todas as condições de funcionamento do motor, foi importante fazer o maior número de combinações possíveis incluindo várias cargas, várias rotações, sistema HHO ligado e desligado, sonda *lambda* reposicionada ou na posição original.

Os testes foram feitos para as condições que a seguir se descrevem, de acordo com as combinações referidas e com uma razoável discretização dos mesmos.

### 3.3.1 Carga de acelerador

Considerando que nas condições mais usuais de condução em estrada o acelerador se mantém abaixo de meio e raramente se usa a carga total, decidiu-se não usar mais do que 75% da aceleração.

A utilização deste sistema de produção de HHO, é procurada por condutores que visam sobretudo consumir menos combustível, logo a opção por cargas mais baixas deve ser tida em consideração. Após alguma ponderação, que teve principalmente em conta estas gamas de utilização do acelerador, definiu-se que se utilizaria o acelerador em três posições correspondentes a 25%, 50% e 75% da abertura da borboleta. Para que estes valores de carga tenham uma boa repetibilidade entre ensaios, o seu posicionamento foi realizado com recurso a calibres especialmente construídos para esse fim conforme se pode ver na Figura 30.

Neste equipamento didático (bancada de motor), a aceleração consegue-se por intermédio de um cabo de aço com mola de retorno, que é puxado manualmente por um manípulo. A forma que se afigurou poder aliar a simplicidade de uso com a garantia de repetibilidade ao longo dos diversos ensaios foi a colocação de calibres que bloqueassem o acelerador na posição requerida, conforme a Figura 30.

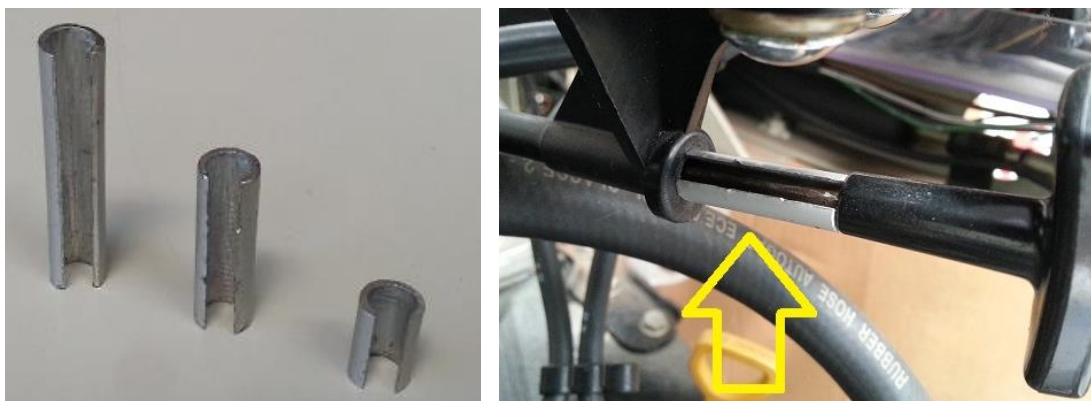


Figura 30 – À esquerda os Calibres de acelerador e à direita a colocação dos calibres

Para saber o exato comprimento de cada calibre, foi preciso dividir o curso total do acelerador em 4 partes e assim conseguir obter as 3 posições requeridas. Para ter alguma garantia que se obtinha as medidas certas optou-se por fazer de duas formas distintas e comparar o resultado:

1ª forma - Pela variação do angulo de rotação da borboleta de admissão – Figura 31

2ª forma - Pelo curso do cabo do acelerador – Figura 32

### 1ª forma – Ângulo da borboleta de admissão

- 1 – Foi fixado um círculo de cartão no parafuso da borboleta (parte móvel) e um arame num ponto fixo do coletor de admissão (parte fixa).
- 2 – Foi marcada uma linha coincidente com o arame.
- 3 – Fez-se rodar a borboleta para a abertura total e marcou-se nova linha coincidente com o arame
- 4 – Fez-se a divisão do ângulo de abertura total obtido em 4 partes iguais. Cada divisão corresponde agora a  $\frac{1}{4}$  do total de aceleração.
- 5 – Fez-se a medição do curso do acelerador para cada angulo

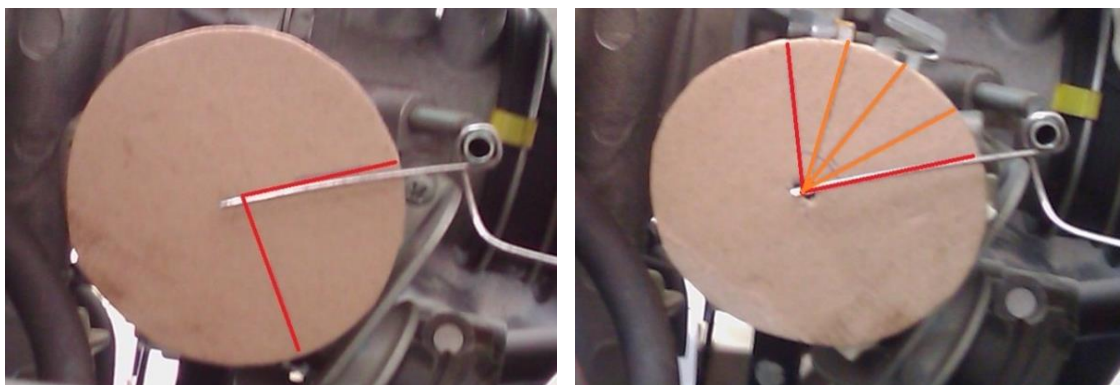


Figura 31 – Determinação do ângulo máximo de rotação da borboleta

### 2ª forma – Curso do cabo do acelerador

Na posição de acelerador completamente aberto, mediu-se o curso do cabo que é de 52 mm. Dividiu-se este comprimento em 4 partes para determinar o valor de curso para cada uma das gamas 25%, 50% e 75%.

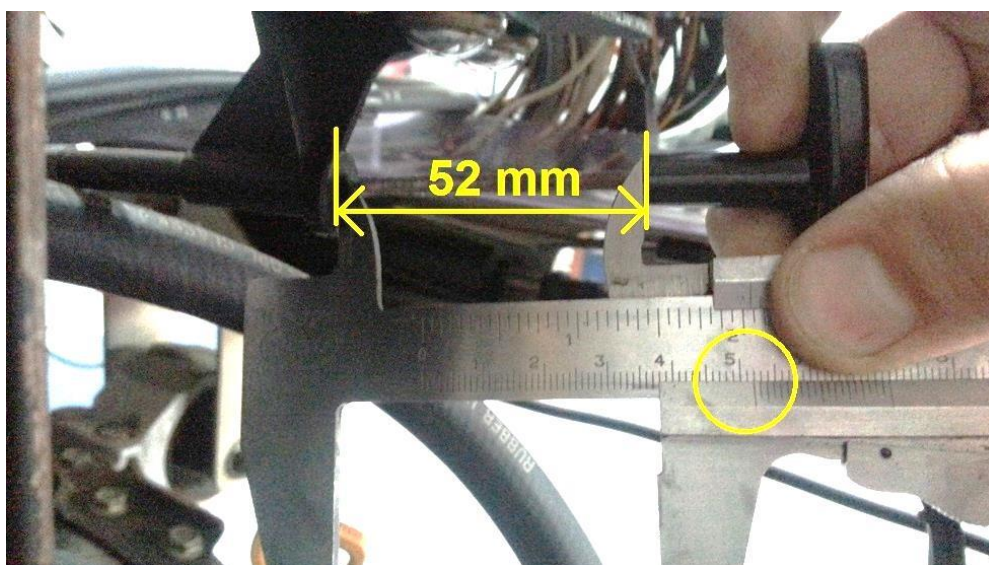


Figura 32 – Determinação do curso máximo de acelerador

Comparados estes valores de comprimento de cada curso, verificou-se que os resultados eram idênticos aos obtidos pela 1ª forma. Foram então produzidos os calibres em alumínio, nos comprimentos encontrados.

Avaliou-se ainda o uso destes calibres pela perspectiva da segurança e da dificuldade de serem retirados com rapidez para fazer baixar a rotação no caso de alguma falha mecânica de algum dos sistemas mas, o equipamento didático está provido de um botão de corte geral que desliga o motor, conforme Figura 33, pelo que se optou por manter este sistema.

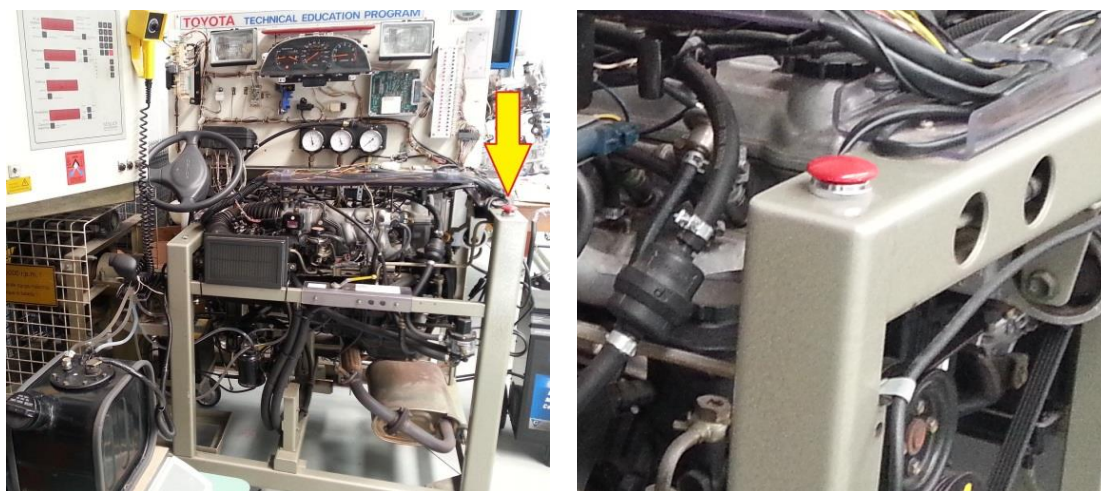


Figura 33 – Botão de corte geral - emergência

### 3.3.2 Definição de gama de rotações dos testes a realizar

No planeamento inicial estava previsto fazer o maior número possível de testes de modo a se obter uma grande quantidade de resultados para traçar gráficos de consumo por gamas de rotação. Assim, inicialmente, definiram-se 7 gamas de rotação:

- 1) 1500 r.p.m.;
- 2) 2000 r.p.m.;
- 3) 2500 r.p.m.;
- 4) 3000 r.p.m.;
- 5) 3500 r.p.m.;
- 6) 4000 r.p.m.;
- 7) 4500 r.p.m..

Apesar da zona de binário máximo se localizar acima das 4800 r.p.m. e a potência máxima ser atingida às 6000 r.p.m., o autor considerou que os testes a realizar se deveriam cingir às gamas de rotações definidas acima. Esta decisão teve vários fatores em linha de conta:

- 1 – Se este sistema é para economizar combustível, então é suposto que os condutores sejam moderados na gama de rotações do motor.

- 2 – Em rotações muito elevadas, o tempo máximo de utilização do freio diminui significativamente, conforme se pode ver no quadro da Figura 12.
- 3 – A capacidade de produção do HHO é constante (não se considerou relevante as flutuações de energia elétrica produzida pelo alternador) pelo que aumentar a rotação previsivelmente fará baixar a concentração de HHO na admissão, o que não trará benefícios para o processo.
- 4 – Apesar das condições de segurança que foram tidas em conta, quanto maior a rotação, maiores os riscos.

### 3.3.3 Preparação do sistema HHO

No depósito de água destilada (desmineralizada) deveria ser colocada uma parte de concentração de KOH (hidróxido de potássio) de modo a que a intensidade de corrente fosse próxima de 20 A. Segundo o fabricante do equipamento, nestas condições é quando se gera maior quantidade de Hidrogénio e Oxigénio. Porém, é também nestas condições que a água tem tendência a aquecer. Em alguns ensaios prévios, verificou-se que para valores próximos dos 30 A, o vapor de água produzido é muito provocando a ebulição da água com a conseqüente entrada desta na admissão.

A concentração de KOH para o depósito fornecido, segundo informação do fabricante, é de 3 a 4 colheres sopa (segundo a wikipedia, “soup spoon” = colher de sopa = 15ml). Na Figura 34 apresenta-se os componentes da solução.

As instruções do equipamento referem que primeiro deve diluir-se em cerca de 20 cl de água desmineralizada e só depois adicionar a restante, que já se encontra no reservatório.

Na Figura 35 mostra-se o recipiente concebido para fazer a mistura. Poderá parecer um recipiente bastante vulgar e pouco preciso e o sistema de medição demasiado arcaico para o fim a que se destina mas, a verdade é que não foram fornecidas quantidades exatas da mistura. Depois de ser colocado o sistema em funcionamento, é necessário acrescentar ou água ou concentrado de KOH de modo a manter a intensidade de corrente dentro dos limites estabelecidos.



Figura 34 – Componentes da solução



Figura 35 – Recipiente com medidas

Nos primeiros ensaios de teste que foram realizados, percebeu-se que a intensidade de corrente que indicava o mostrador do aparelho de HHO ultrapassava com facilidade os 30 A. Esta situação determinava que a temperatura do eletrólito subisse e provocasse vapor de água em abundância. Perante esta situação foi-nos dito pelo fornecedor do equipamento para reduzir o concentrado de KOH e não encher o depósito, de forma a reduzir a produção de vapor, o que veio a verificar-se.

#### 3.3.4 Ensaios preliminares

Estavam agora preparados, montados e ligados, todos os equipamentos e periféricos para iniciar os primeiros testes preparatórios antes de iniciar os ensaios reais.

Procedeu-se a diversos testes de forma a contactar com o processo, a ganhar sensibilidade para a afinação dos equipamentos e para perceber se existiam outros fatores que pudessem interferir com as medições.

Os procedimentos para inicializar a tomada de dados requerem vários passos:

1. Ligar a energia elétrica no freio e confirmar se no quadro de comando se ilumina;
2. Ligar o computador;
3. Ligar a balança e colocar mostrador a zero;
4. Colocar o depósito de combustível na balança;
5. Ligar as conexões elétricas do computador ao freio e à balança para obtenção de dados, com as cablagens da Figura 29;
6. Colocar o motor em marcha e aquecê-lo até à temperatura normal de funcionamento – observado o ponteiro de temperatura existente no painel. Por observações anteriores, sabe-se que o ponteiro se deverá manter sensivelmente a meio da escala. A ventoinha de arrefecimento do radiador deverá iniciar o seu movimento. Nesta altura desliga-se a ficha do sensor de temperatura de água, e a ventoinha trabalhará ininterruptamente;
7. Ligar o ventilador externo para arrefecimento adicional;

8. Acelerar o motor aplicando o calibre correspondente e aplicar binário de frenagem com o regulador (reóstato) até estabilizar na rotação pretendida. Avaliar a estabilidade da rotação (nesta ocasião é normal existir uma flutuação na rotação que pode durar até uns 5 segundos) e iniciar o processo de aquisição de dados com o *software*. Na Figura 36 podemos ver o aspeto da interface disponível em ecrã;
9. Cronometrar 60 segundos e terminar a aquisição de dados clicando em “Stop Log”. Retirar o calibre e regular o variador de modo a deixar o motor rodar em vazio durante pelo menos o tempo que é necessário para a preparação de novo teste. Ao ficheiro obtido atribui-se o nome de acordo com o teste realizado. De referir que o *software* grava cada medição sempre com o mesmo nome pelo que é essencial renomear cada um dos testes.

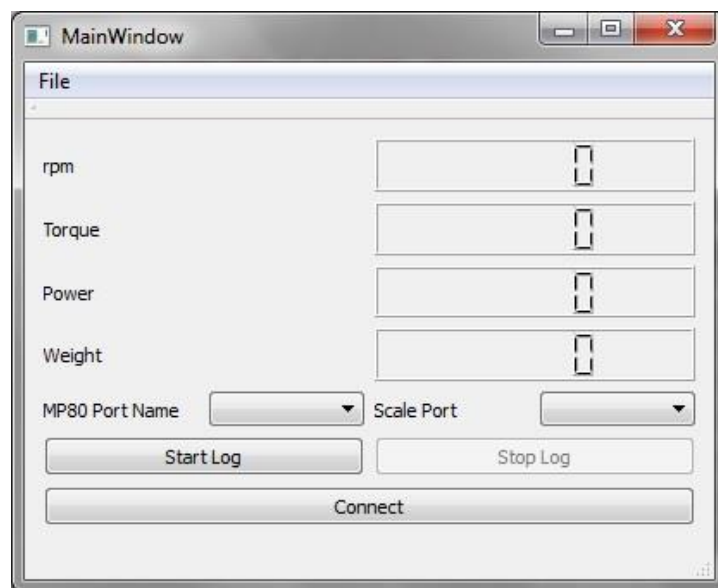


Figura 36 – Aspeto da janela do *software* de aquisição de dados construído no âmbito deste trabalho

Os dados adquiridos neste processo são:

- ✓ Rotações por minuto, do motor (r.p.m.);
- ✓ Binário desenvolvido (“Torque” em Nm);
- ✓ Potência (“Power” em kW);
- ✓ Massa de combustível (“Weight” em g).

Esta janela no ecrã serve como comando mas também para disponibilizar visualmente algumas informações.

É ainda necessário um cuidado adicional, verificar a ligação dos conetores, pois será necessário confirmar que as ligações estão corretas e que existe comunicação. Para isso deve definir-se em que entrada USB do PC está ligado cada conjunto de cabos (“M80 Port Name” ou “Scale Port”). Depois clicar em “Connect” para garantir que existe transmissão de dados. Nesta altura os valores devem aparecer nas respetivas

janelas. Estando o motor parado, teremos apenas valores do peso de combustível, estando os restantes com valor zero (“0”).

Depois de colocado o motor em marcha, de se estabilizar na rotação pretendida, aplicada a carga de acelerador e tendo estabilizado todos os parâmetros referidos anteriormente, podemos clicar em “Start Log”. É neste momento que os dados começam a ser gravados no ficheiro.

Os dados são enviados para um ficheiro informático em formato *Excel* que os grava com o nome “log”. A tomada de dados é feita em pequenos intervalos de tempo com uma taxa de amostragem de:

- ✓ r.p.m. – 1,4 amostras por segundo;
- ✓ Binário – 1,4 amostras por segundo;
- ✓ Potência – 1,4 amostras por segundo;
- ✓ Peso combustível – 4,6 amostras por segundo.

O ficheiro com os dados em bruto apresenta-se conforme o exemplo apresentado no anexo 6.3 (Figura 47) do qual se apresenta um excerto na Figura 37

	A	B
1	14:57:50:215,,,,10704	
2	14:57:50:319,, +3001,,	
3	14:57:50:437,,,,10704	
4	14:57:50:537,+88.5,,,	
5	14:57:50:537,,,,10704	
6	14:57:50:757,,,+27.8,	
7	14:57:50:757,,,,10702	
8	14:57:51:87,, +3001,,	
9	14:57:51:87,,,,10702	
10	14:57:51:307,+91.0,,,	
11	14:57:51:417,,,,10702	
12	14:57:51:527,,,+28.0,	
13	14:57:51:637,,,,10702	

Figura 37 – Extrato do ficheiro excel em bruto (não tratado)

Este ficheiro é depois tratado por forma a poder ser lido, e serem extraídos os dados pretendidos. Para isso, o ficheiro *excel* com o nome “log” é gravado com outro nome, seguindo um código onde constam os dados do respetivo teste: data, rotação, carga de acelerador, tempo do teste, se foi com ou sem o dispositivo de produção de HHO ligado, se foi com ou sem emulação da sonda *lambda* e o número do teste. Exemplifica-se com o seguinte nome de um ficheiro:

14\_07\_2500rpm\_25%\_2min\_NO\_HHO\_SPACER\_1\_3

Este nome indica-nos que foi feito em 14 de julho, a 2500 r.p.m, com 25% de carga de acelerador, durante 2 minutos, sem uso de HHO e com o espaçador na sonda *lambda*. Ainda que foi o teste número 1 de um total de 3 testes com as mesmas condições.

O ficheiro fica com o aspeto que se pode ver no exemplo apresentado no anexo 6.4 (Figura 48, Figura 49 e Figura 50) e do qual está representado um excerto na Figura 38.

	A	B	C	D	E
1	Time	Torque [Nm]	Rpm [1/min]	Power [kW]	Fuel tank [g]
2	14:57:50,922	91,0	3001	27,8	10702
3	14:57:52,044	89,5	3001	28,0	10702
4	14:57:52,754	89,5	3001	28,1	10696
5	14:57:53,217	87,5	3001	27,4	10696
6	14:57:53,872	88,5	3001	27,8	10696
7	14:57:54,769	88,5	3001	27,7	10692
8	14:57:55,478	90,0	3001	27,7	10690
9	14:57:56,223	87,5	3001	27,8	10690
10	14:57:56,928	89,0	3001	28,3	10686
11	14:57:58,099	89,0	3000	27,5	10684

Figura 38 – Excerto de ficheiro *excel* depois de tratado

Após este trabalho de recolha de dados, são obtidos valores de cada ensaio fazendo a média obtida de todos os pontos registados para a potência, o binário e o número de rotações. O tempo final em segundos é subtraído ao tempo inicial e obtido o tempo efetivo de leitura de dados. A massa de combustível (quantidade de gramas) total gasta, é também obtida pela subtração entre o valor inicial e o valor final, dentro desse intervalo de tempo.

Os resultados finais de cada ensaio, após este tratamento, são também visualizados numa tabela comparativa conforme anexo 6.5. Na Figura 39 pode ver-se um excerto deste ficheiro.

RPM	Carga	HHO	Controlo	Tempo total (s)	Binário médio (Nm)	RPM médio	Potencia média (Kw)	Consumo total (g)	Consumo específico (g/Kw.h)	Média
2500	25%	Sem HHO	Lambda	118,58	67,6	2493,3	17,8	198	338,08	
			Lambda	119,90	68,0	2494,1	17,6	190	324,13	
			Lambda	119,96	67,9	2494,3	17,6	190	323,97	328,73
		Espaçador	Espaçador	118,43	66,0	2500,7	17,3	190	333,85	
			Espaçador	118,93	70,2	2501,8	18,4	204	335,60	
			Espaçador	119,35	69,4	2501,5	18,2	198	328,15	332,53
		Com HHO	Lambda	116,96	66,1	2500,3	17,2	188	336,43	
			Lambda	119,08	65,1	2498,6	17,0	188	334,33	
			Lambda	119,25	66,9	2496,7	17,4	190	329,65	333,47
	Espaçador	Espaçador	118,54	67,7	2500,3	17,7	206	353,45		
		Espaçador	118,43	67,0	2500,4	17,5	202	350,88		
		Espaçador	117,34	66,3	2500,9	17,3	202	358,23	354,19	
	50%	Sem HHO	Lambda	119,19	99,2	2499,9	25,9	260	303,20	
			Lambda	119,74	99,6	2499,9	25,9	264	306,46	
			Lambda	118,89	99,8	2499,5	26,1	260	301,64	303,77
		Espaçador	Espaçador	119,14	97,1	2508,1	25,5	256	303,35	
			Espaçador	119,19	88,9	2506,0	23,3	234	303,34	
			Espaçador	118,48	98,6	2508,2	25,9	256	300,33	302,34
Com HHO		Lambda	119,08	98,2	2502,4	25,6	264	311,77		
		Lambda	119,79	95,7	2504,6	25,1	260	311,30		
		Lambda	119,34	97,8	2502,2	25,6	260	306,62	309,99	

Figura 39 – Excerto de ficheiro *excel* depois de tratado

### 3.4 Testes experimentais

Após a verificação de que todo o dispositivo está preparado e devidamente testado, foi marcada a primeira sessão de testes. Inicialmente foram planeados 84 testes, com as seguintes combinações: 7 gamas de rotação, 3 posições de acelerador, 4 configurações do sistema HHO (com e sem HHO, com e sem emulação da sonda *lambda*):  $7 \times 3 \times 4 = 84$  testes.

Todos os testes foram feitos num intervalo de 5 dias, sempre com os pares de ensaios comparáveis (sistema HHO ligado e desligado), conforme referido no capítulo 3.2.

Ao longo destes 5 dias de ensaios, a temperatura ambiente variou dos 20°C aos 25°C e a pressão atmosférica entre os 1016 mbar e os 1022 mbar e a humidade relativa entre os 74% e os 82%. Ainda que o autor tenha a consciência que qualquer um destes fatores contribui para o melhor ou pior desempenho do motor, neste estudo não foram tidos em consideração, quer pelo que já foi explicado quanto aos pares de ensaios comparáveis, quer pelo facto da amplitude de variação dos parâmetros atmosféricos ser muito baixa. Os cuidados tidos foram os já referidos no capítulo 3.2.1.

#### 3.4.1 Bateria de testes iniciais

Os resultados desta 1ª ronda de testes foram compilados e posteriormente analisados. As tabelas e gráficos de comparação encontram-se a seguir neste capítulo.

Mesmo antes de fazer os testes, tentou-se projetar algumas das conclusões que poderiam ser esperadas:

1. Gama de rotações onde o sistema economiza mais combustível;
2. Posição do acelerador onde se nota mais economia de combustível;
3. Tipo de teste com melhor eficiência;
4. Qual a gama de rotações e carga de acelerador em que o sistema HHO funciona melhor;
5. O sistema HHO não faz qualquer efeito;
6. O sistema HHO tem ligeiros benefícios mas que são residuais;
7. O sistema HHO faz consumir mais combustível;
8. O motor com alteração da sonda *Lambda* gasta menos que com o sistema HHO;
9. Os consumos mantêm-se mas o binário melhora;
10. Os consumos são semelhantes mas a potência desenvolvida aumenta.

Em resumo, esperava-se poder tirar conclusões e que estas fossem compreensíveis ou explicáveis ou ainda deixar em aberto a possibilidade de aprofundar este tema de estudo, ou mesmo deixar pistas para um outro trabalho posterior dentro de uma determinada gama mais restrita de parâmetros. Ao contrário, encontraram-se resultados díspares e com tendências pouco representativas o que não foi satisfatório para o autor.

**NOTA 1:** Só foi feito 1 teste para cada situação, o que não previne eventuais falhas ou desvios durante um teste.

**NOTA 2:** O facto de cada teste ter a duração de 60 segundos, para algumas gamas de rotação mais baixas ou para menores cargas de acelerador, os consumos ficaram abaixo dos 100 gramas. Ora, com já foi referido anteriormente, a resolução da balança é de 2 g. Uma diferença de 2 g significa 2% numa medição de 100 g.

Na Tabela 1 apresentam-se os resultados obtidos de onde foram retirados os dados para os gráficos que se apresentam imediatamente a seguir.

Tabela 1 – Resultados de consumos em g/kW.h

Rotações / minuto ->		1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500
25%	Sem HHO com lambda	409,0	418,1	348,1	325,3	347,3	365,5	387,3
	Sem HHO Sem lambda	333,2	372,9	363,0	322,4	358,5	381,1	378,8
	Com HHO Com lambda	455,5	388,2	340,2	329,5	329,9	368,0	371,8
	Com HHO Sem lambda	349,2	383,7	365,2	343,2	364,3	377,2	376,9
50%	Sem HHO com lambda	369,0	341,0	316,0	360,6	390,6	354,2	374,4
	Sem HHO Sem lambda	385,7	338,5	316,4	354,8	391,9	348,8	360,8
	Com HHO Com lambda	390,9	338,2	316,1	354,1	397,7	344,1	365,2
	Com HHO Sem lambda	382,2	347,6	325,5	358,8	397,7	345,1	379,8
75%	Sem HHO com lambda	371,3	338,5	307,5	359,2	435,3	348,1	358,1
	Sem HHO Sem lambda	409,1	364,0	305,8	376,5	449,6	345,9	375,9
	Com HHO Com lambda	380,1	337,2	309,8	373,3	444,0	352,8	368,5
	Com HHO Sem lambda	391,0	344,0	316,8	387,0	463,0	351,0	366,2

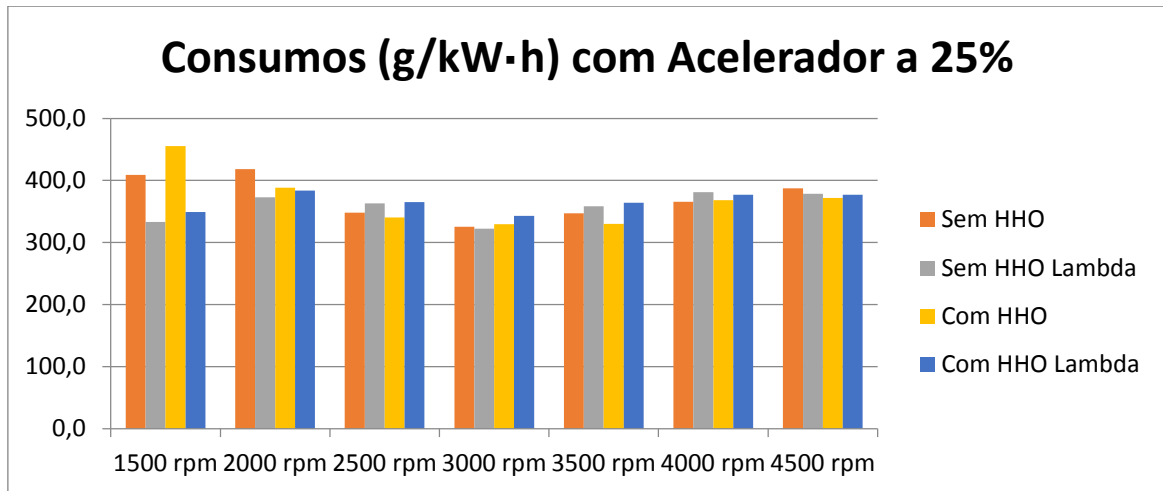


Gráfico 1 – Consumos específicos em g/kW·h para acelerador a 25%

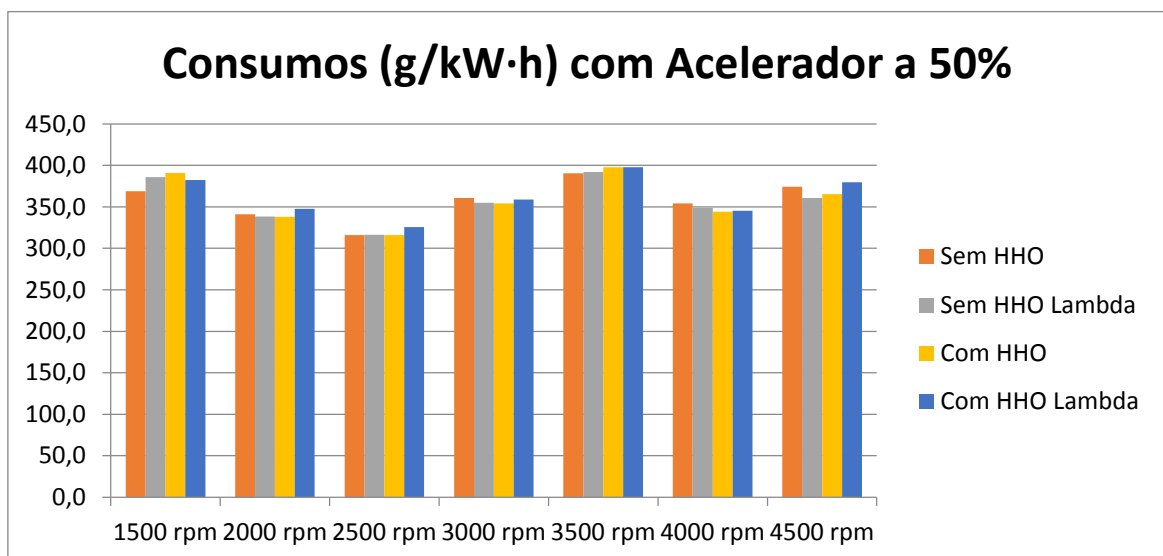


Gráfico 2 – Consumos específicos em g/kW·h para acelerador a 50%

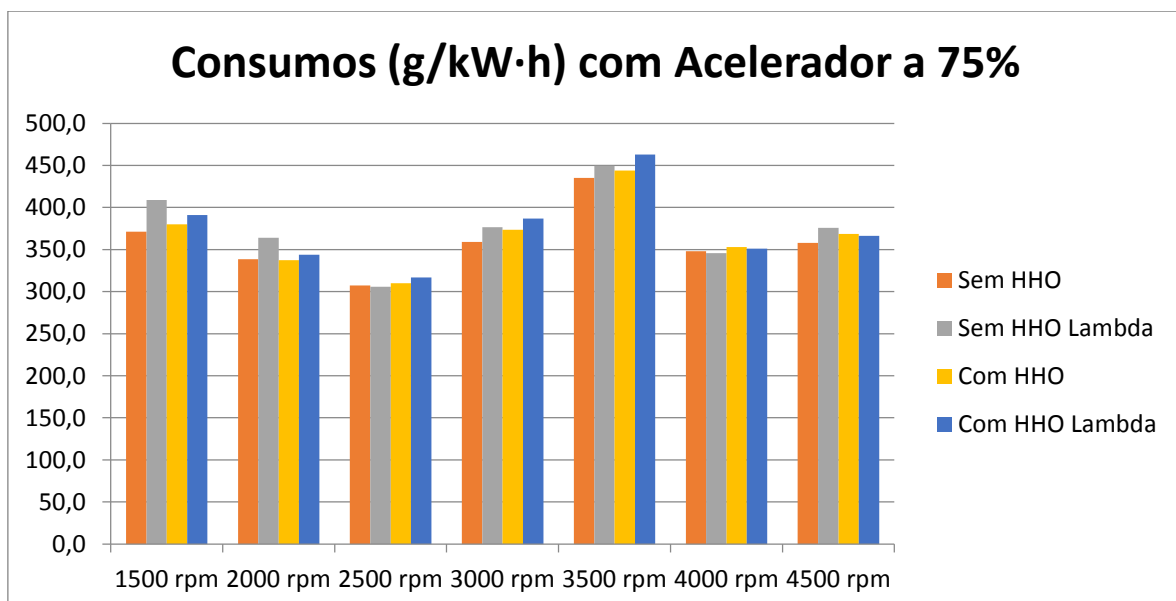


Gráfico 3 – Consumos específicos em g/kW·h para acelerador a 75%

Perante os resultados apresentados no Gráfico 1, no Gráfico 2 e no Gráfico 3 não há conclusões inequívocas a retirar mas, ao observar os gráficos acima, pode-se, ainda assim, observar que nos 21 grupos de testes:

- a. Em 4 testes (19,04%), o uso do sistema HHO (sem emulação da sonda *lambda*) apresenta os específicos e apenas em 8 testes apresenta os menores consumos específicos;
- b. Em 10 testes (47,62%), o uso do sistema HHO (com emulação da sonda *lambda*) apresenta maiores consumos específicos e em nenhum caso apresenta o menor consumo específico;
- c. A emulação da sonda *lambda* sem o uso do sistema HHO apresenta os melhores resultados em 6 testes (28,57%);
- d. O motor a trabalhar sem qualquer alteração, apresenta os melhores resultados de consumo específico em 7 testes (33,3%);
- e. Neste motor, de funcionamento em ciclo Otto, o consumo específico de combustível numa gama de rotação de 1500 r.p.m. e 2000 r.p.m. é maior que para as gamas de rotação entre 2500 r.p.m. e 3000 r.p.m. e no caso de carga de acelerador de 25%, até nas 3500 r.p.m. é mais vantajoso;
- f. Os consumos específicos mais baixos obtiveram-se para gamas de 3000 r.p.m. para 25% de aceleração e para gamas de 2500 r.p.m. para 50% e 75% de aceleração.

Estas duas últimas conclusões, aliadas ao facto já referido atrás, de ter feito apenas um teste para cada configuração, e ainda porque os testes até aqui realizados não foram conclusivos, foi planeado mais uma bateria de testes com maior tempo de duração e com uma menor gama de rotações. Os resultados são apresentados no capítulo 3.4.4.

### 3.4.2 Bateria de testes de maior duração

Foram feitos novos testes, com carga de acelerador a 25%, 50% e 75% mas apenas para as gamas que, à partida, seriam mais prováveis ser usadas no dia-a-dia e que obtiveram resultados globais com menor variabilidade: 2500 r.p.m., 3000 r.p.m. e 3500 r.p.m.

Para cada caso foram feitos 3 ensaios para garantir a repetibilidade e eliminar possíveis erros que não teriam sido detetados na bateria de testes iniciais.

Para retirar peso a eventuais erros de leitura, esta segunda bateria de testes foi feita com a duração de 120 segundos, o dobro dos 60 segundos definidos na primeira bateria de testes. Aumentando o tempo, reduz-se a margem de erro. Conforme já foi explicado, o facto de a balança ter um intervalo mínimo de leitura de 2 g, para consumos agora esperados da ordem dos 200 g nas situações de rotações de 2500 r.p.m. o erro representa apenas 1%.

Os testes foram realizadas nas mesmas condições que os anteriores. Com a mesma balança, com combustível da mesma empresa (Galp), de 95 octanas e comprada no mesmo posto de abastecimento.

### 3.4.3 Análise de gases de escape

Nesta segunda bateria de testes foi incluída a medição de mais um parâmetro: a análise dos gases de escape. Foi feita a medição de gases de escape com o objetivo de perceber se a utilização de HHO influencia a composição dos gases expelidos pelo escape, no sentido da redução dos elementos nocivos.

Essa medição foi feita apenas para uma serie de testes, pois não fazia parte do objetivo inicial. Esta teve como objetivo apenas complementar as conclusões deste trabalho e eventualmente deixar um novo caminho para experiências futuras.

#### 3.4.3.1 Equipamento utilizado

O equipamento utilizado neste ensaio foi o existente no Laboratório Automóvel do ISEP. É da marca SUN, modelo MGA1500S e que está representado na Figura 40 – Analisador de gases de escape SUN MGA 1500S representado na Figura 40.

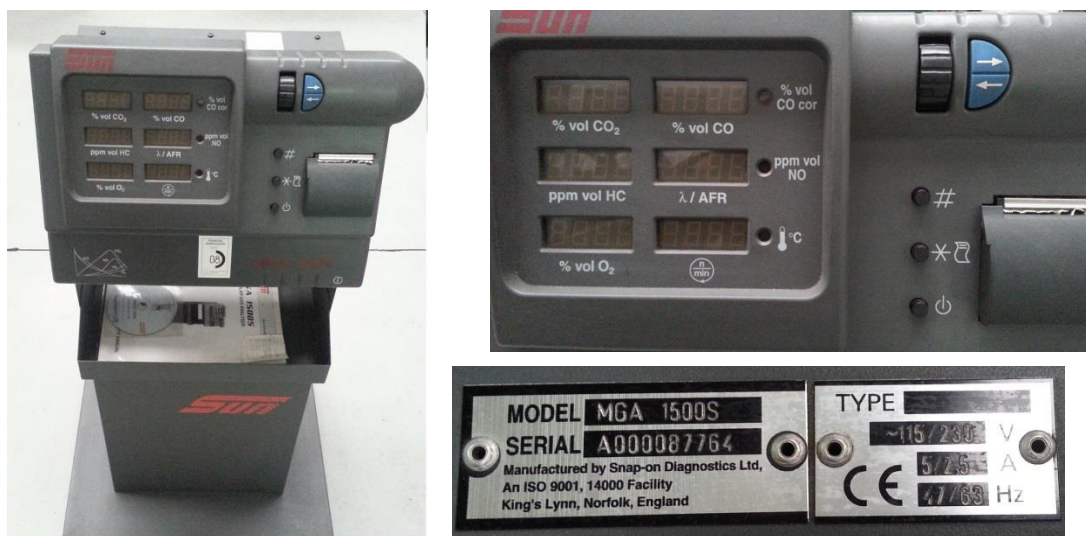


Figura 40 – Analisador de gases de escape SUN MGA 1500S

Este equipamento apesar de estar calibrado desde a sua colocação em funcionamento, nunca mais foi calibrado mas, o uso que tem é também quase nulo pelo que se assumiu que os resultados seriam minimamente confiáveis.

A tomada de valores foi feita para testes a 2500 r.p.m., com 25 % de carga de acelerador e nas quatro configurações, com e sem HHO e com e sem emulação da sonda *lambda*.

Na Figura 41 mostra-se os resultados obtidos.



Figura 41 – Cópia dos talões impressos no analisador de gases de escape

Os valores de CO e HC têm tendência a ser mais baixos quando se utiliza o sistema com HHO mas com apenas 4 testes o resultado é pouco representativo.

Na Figura 42 mostram-se valores obtidos com o mesmo equipamento mas para a situação em que o sistema HHO está ligado com emulação da sonda *lambda*, a uma rotação de 2500 r.p.m. e com 25% de acelerador.



Figura 42 – Cópia dos talões impressos no analisador de gases de escape com HHO e emulação da sonda *lambda*

Consegue-se perceber que no espaço de apenas 18 minutos, entre o primeiro teste e o ultimo teste, os valores vão baixando, conforme se pode ver na Tabela 2.

Tabela 2 – Medições feitas aos gases de escape

	1º teste	2º teste	3º teste	4º teste
CO <sub>2</sub> (%)	13,77	13,92	13,93	14,00
HC (ppm)	152	133	107	112
CO (%)	2,434	2,208	2,057	1,867

Poder-se-á inferir que o efeito do HHO cria condições para que a queima seja mais “limpa”, isto é que a combustão seja feita de forma mais completa e isso permita a redução dos compostos poluentes nos gases de escape. Aliás, esta é uma bandeira que alguns fabricantes de equipamentos destes utilizam como forma que marketing.

#### 3.4.4 Execução dos testes finais

Foram feitos vários conjuntos de testes, alternando com e sem a emulação da sonda *lambda*, com e sem HHO em funcionamento e ainda alternando entre rotações mais elevadas e rotações mais baixas de modo a proteger o motor de sobreaquecimentos. Cada conjunto de testes foi feito para as quatro configurações dentro de cada gama de rotação e carga de acelerador, sendo que em cada configuração se fizeram os 3 ensaios considerados consecutivamente.

As condições de configuração de todos os equipamentos e seus acessórios foram as mesmas que se utilizaram nos testes do capítulo 3.4.1.

Esta última ronda de testes decorreu num intervalo temporal de duas semanas e as condições atmosféricas variaram em temperatura entre os 18 °C e os 21 °C; a humidade relativa entre 82% e 89% e a pressão atmosférica entre os 1010 mbar e os 1015 mbar.

Os valores obtidos nos diferentes ensaios, depois de feitas as médias de cada conjunto de 3 ensaios, podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de consumo específico de combustível em g/kW.h e sua variação percentual

		2500 r.p.m.		3000 r.p.m.		3500 r.p.m.	
		Consumo (g/kW.h)	Variação (%)	Consumo (g/kW.h)	Variação (%)	Consumo (g/kW.h)	Variação (%)
25%	Sem HHO Com lambda	328,7	<b>100,0</b>	317,6	<b>100,0</b>	338,3	<b>100,0</b>
	Sem HHO Sem lambda	332,5	<b>101,2</b>	324,2	<b>102,1</b>	345,2	<b>102,1</b>
	Com HHO Com lambda	333,5	<b>101,4</b>	331,2	<b>104,3</b>	353,6	<b>104,6</b>
	Com HHO Sem lambda	354,2	<b>107,7</b>	337,2	<b>106,2</b>	355,9	<b>105,2</b>
50%	Sem HHO Com lambda	303,8	<b>100,0</b>	343,9	<b>100,0</b>	375,8	<b>100,0</b>
	Sem HHO Sem lambda	302,3	<b>99,5</b>	343,7	<b>99,9</b>	372,0	<b>99,0</b>
	Com HHO Com lambda	309,9	<b>102,0</b>	349,1	<b>101,5</b>	388,7	<b>103,4</b>
	Com HHO Sem lambda	328,2	<b>108,0</b>	363,4	<b>105,7</b>	369,5	<b>98,3</b>
75%	Sem HHO Com lambda	299,8	<b>100,0</b>	363,7	<b>100,0</b>	450,2	<b>100,0</b>
	Sem HHO Sem lambda	303,8	<b>101,3</b>	363,6	<b>100,0</b>	425,4	<b>94,5</b>
	Com HHO Com lambda	303,4	<b>101,2</b>	375,4	<b>103,2</b>	458,4	<b>101,8</b>
	Com HHO Sem lambda	312,5	<b>104,2</b>	380,5	<b>104,6</b>	436,4	<b>96,9</b>

**Legenda:** As colunas onde se lê “Variação %” dizem respeito à coluna à sua esquerda. O valor 100% é de referência e refere-se ao motor na sua configuração original. Os restantes valores percentuais são o comparativo com o valor de referência.

Da observação da Tabela 3 – Valores de consumo específico de combustível em g/kW.h e sua variação percentual pode tirar-se algumas conclusões, conforme se refere a seguir:

1. Os consumos específicos para 25% de carga de acelerador, com exceção da gama de 2500 r.p.m., têm os valores mais baixos;
2. Os resultados com carga de acelerador de 25% são bastante diferentes e têm grandes variações; as situações mais desfavoráveis são aquelas em que o sistema HHO está em funcionamento, sendo que a configuração proposta pelo fornecedor do equipamento – com emulador da sonda *lambda* e HHO ligado – é a que tem um desempenho pior. Este resultado é exatamente o oposto daquilo que se pretende com a aplicação deste equipamento.
3. As configurações em que o sistema HHO tem melhor desempenho são para as gamas de rotação de 3500 r.p.m. com 50% e 75% de carga de acelerador, onde se nota claramente que a emulação da sonda *lambda* provoca uma baixa de consumo específico.
4. O conjunto de ensaios que mostra melhor desempenho (menor consumo específico) é para a configuração de 75% de acelerador às 2500 r.p.m. com diferenças médias de 3% a 4% quando comparados com os homólogos a 50% de carga de acelerador e diferenças da ordem dos 9% a 10% quando comparado com os homólogos a 25% de carga de acelerador.
5. A emulação da sonda *lambda* mostra ter um impacto determinante na baixa de consumo, mesmo sem o sistema HHO a funcionar. Apenas em duas das 18 comparações, com o sistema original, o sistema HHO mostrou ter melhor desempenho que as restantes configurações, que foi com 50% e 75% de carga de acelerador, ambas às 3500 r.p.m..
6. O valor mais baixo de consumo específico sem HHO e com emulação da sonda *lambda*, foi no conjunto de testes com 2500 r.p.m. e 50% de carga de acelerador, apesar da diferença para o original ser de apenas 0,5% menos

Apresenta-se de seguida os gráficos comparativos dos ensaios que dão uma visão global dos resultados.

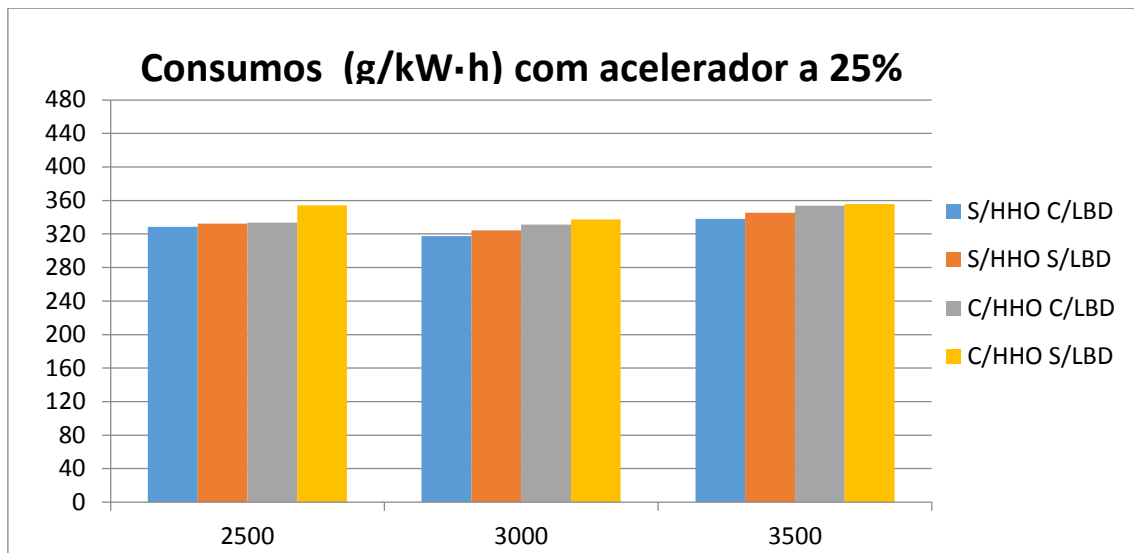


Gráfico 4 – Consumos específicos em g/kW.h para carga de acelerador a 25%

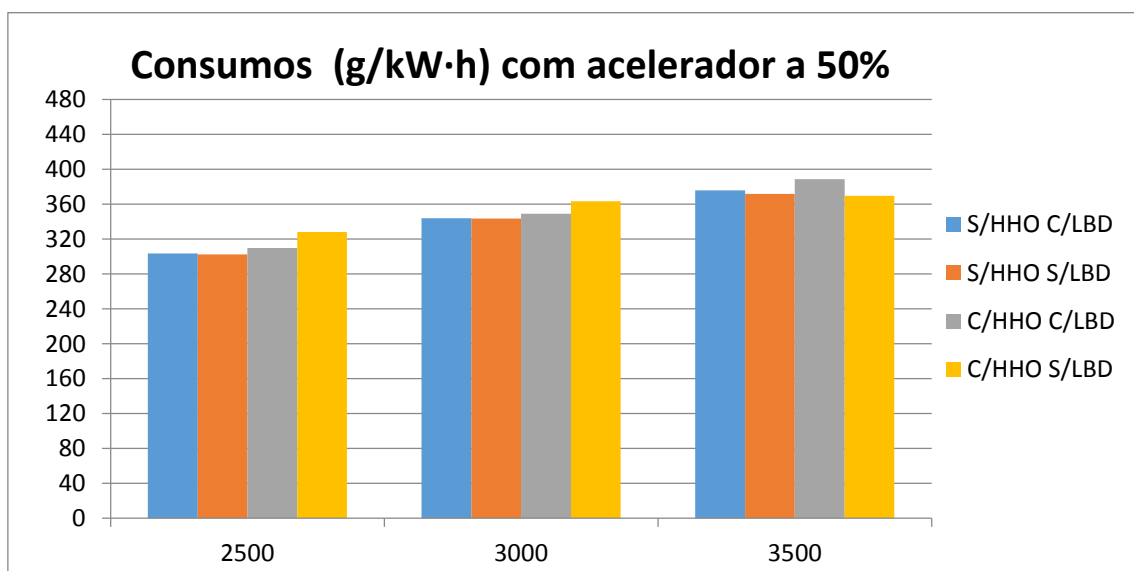


Gráfico 5 – Consumos específicos em g/kW.h para carga de acelerador a 50%

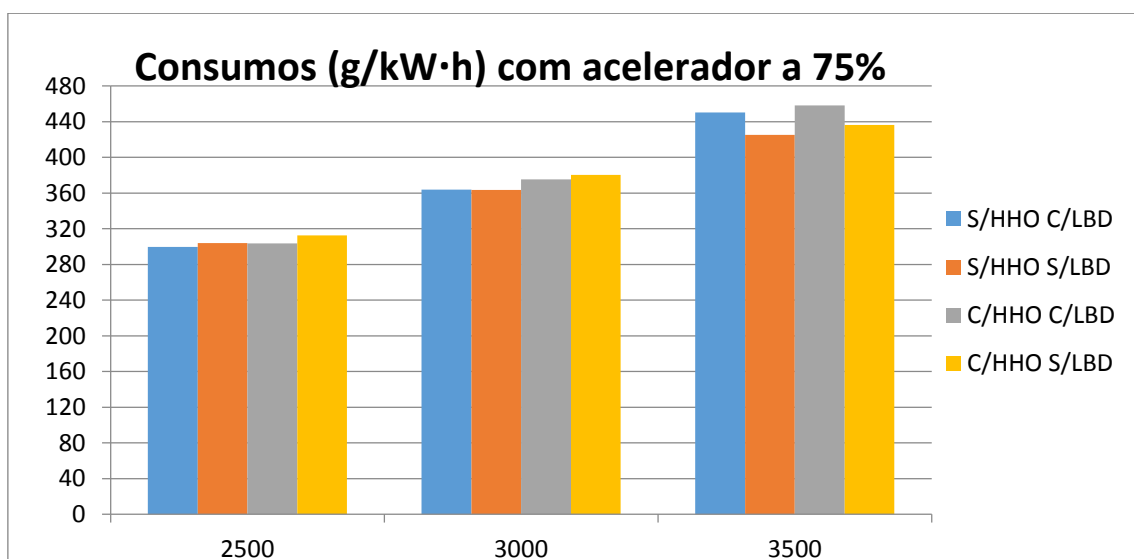


Gráfico 6 – Consumos específicos em g/kW.h para carga de acelerador a 75%

### 3.5 Dificuldades ultrapassadas

A opção por inclusão deste capítulo pretende deixar informações que possam ajudar a antecipar contrariedades para alguém que precise de fazer um trabalho semelhante. Quando o autor avançou para este tema não imaginava que iria precisar de intervenção em tantas áreas como veio a verificar-se. Cada passo deste trabalho foi um desafio que foi sendo superando sempre com determinação.

#### 3.5.1 Execução de apoios do motor

Foi necessário desenhar e construir um suporte para suspender o motor, o que exigiu desenho em “*Solid Works*”, corte de chapa por laser e soldadura.

#### 3.5.2 Execução de falanges e seleção de um veio de transmissão

Depois de encontrado o veio de transmissão com as características certas para este motor e com o comprimento adequado, foi necessário projetar e desenhar falanges e produzi-las. No final foi ainda necessário equilibrar o conjunto.

#### 3.5.3 Inclusão de um volante de inércia

No equipamento didático, o volante do motor era de um veículo com caixa automática, o que com esta configuração se mostrou inadequado para este propósito. Foi necessário substituí-lo por um volante de uma caixa de velocidades manual. Esta situação só foi detetada após alguns dias e depois dos primeiros testes experimentais. Há necessidade de um volante de inércia.

#### 3.5.4 Montagem de sistema HHO e respetivo suporte.

Seguindo as instruções do fabricante para montagem do equipamento de produção de HHO, ainda assim foi necessário fazer as respetivas adaptações com tubagem adequada e o suporte para o aparelho. A escolha de um sistema de fixação flexível mostrou-se necessária para eliminar vibrações.

#### 3.5.5 Utilização do caudalímetro

A utilização do caudalímetro foi provavelmente o maior contratempo pois existia a convicção inicial que iria funcionar com exatidão. Foram gastos muitos dias a testar, a comprovar e compreender o porquê do funcionamento inadequado deste equipamento para o fim em causa.

#### 3.5.6 Aquisição de dados via *software*

Este trabalho não teria sido feito desta forma sem o *software* de aquisição de dados que foi produzido (conforme referido anteriormente, com a colaboração de Hendrik Rauch e Diogo Machado). Perceber quais os sinais que saíam do banco e interpretá-los foi um trabalho moroso mas que se revelou de grande importância, dir-se-ia determinante para que se levasse este projeto até ao fim.

### 3.5.7 Controlo da temperatura da solução (água + KOH)

Quando utilizada a percentagem de KOH recomendada pelo fabricante, a solução tinha tendência para aquecer rapidamente e assim gerar vapor de água que era expulso do aparelho diretamente para o coletor de admissão. Para controlar a temperatura foi necessário controlar a percentagem de KOH na água de modo a que a intensidade de corrente se mantivesse nos valores ideais entre os 15 e os 25 amperes. Os valores adequados de KOH estão muito abaixo daqueles que o fornecedor do equipamento recomenda.

Verificou-se em determinado dia, após grande quantidade de testes, que a temperatura da água aumentou de tal modo que para além do vapor de água gerado, alterando o equilíbrio da passagem de corrente elétrica que atingiu os 40 A derretendo um dos isoladores de plástico (*nylon*). O teste teve que ser repetido após o sistema arrefecer e depois de reparado o referido isolador conforme se pode ver na Figura 43.

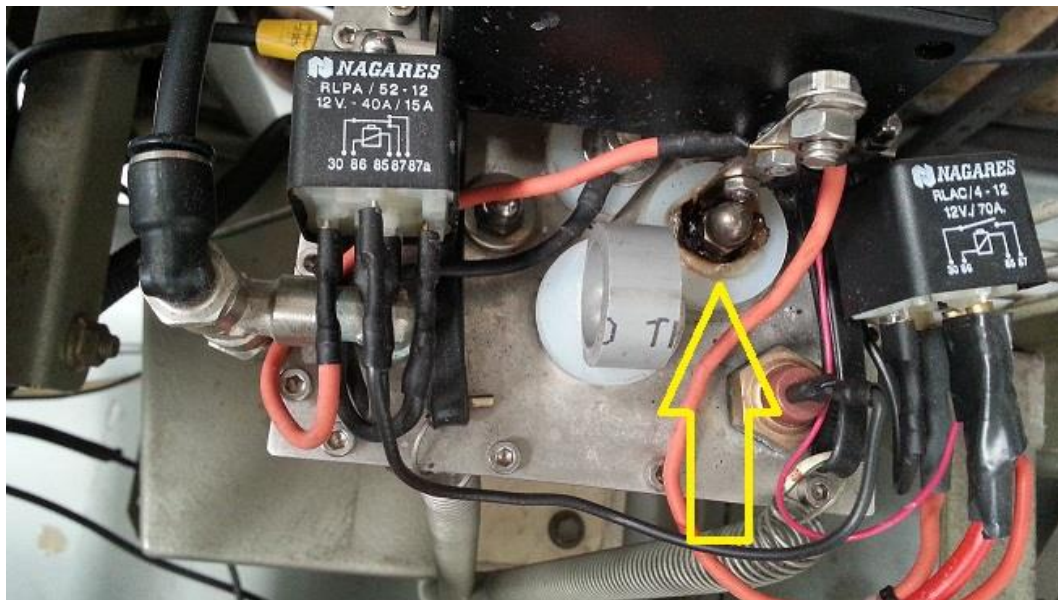


Figura 43 – Suporte de isolamento derretido pelo calor gerado dentro da cuba

# CONCLUSÕES

4.1 EQUIPAMENTO DE PRODUÇÃO DE HHO

4.2 CAUDALIMETRO

4.3 PRODUÇÃO DE HHO

4.4 RESULTADOS OBTIDOS



## 4 CONCLUSÕES

### 4.1 Equipamento de produção de HHO

O sistema HHO é de fácil produção e utilização. A segurança no que respeita a eventuais fugas ou concentrações de hidrogénio é quase nula, desde que a instalação do equipamento seja feita de acordo com os procedimentos preconizados pelo fabricante.

O sistema HHO produz hidrogénio e oxigénio através da eletrólise da água e estes dois gases recombinados novamente, libertam uma quantidade de energia na oxidação que, em teoria, em quantidades maiores, seria suficiente para fazer funcionar o motor sem a necessidade de combustível fóssil. Porém, as quantidades de HHO produzidas teriam que ser imensas o que exigiria um aparelho de dimensões demasiado grandes e para além disso, como a quantidade de HHO produzida tem variações muito pequenas, a utilização exclusiva de HHO seria insuficiente para as necessidades de diferentes cargas de acelerador

### 4.2 Caudalímetro

A utilização de um caudalímetro com as características daquele que foi usado no início deste trabalho (que acabou por ser abandonado) mostrou não servir para o fim requerido. A solução que veio a ser adotada foi a que é preconizada pelo fabricante do freio e que revelou ser exata

### 4.3 Produção de HHO

A produção de HHO exige energia que tem que ser fornecida pelo sistema elétrico da viatura e como essa energia, em forma de intensidade de corrente, é fornecida pela rotação do motor, este precisa de mais energia para rodar. Este efeito de circuito fechado sem que haja outro tipo de energia externa, e onde há perdas substanciais por via do calor gerado (para além da baixa eficiência do alternador, do motor e do sistema HHO), faz com que o sistema em si não seja mais eficiente que o original a funcionar apenas com gasolina.

Ainda que de uma forma pouco aprofundada, percebe-se que o nível de poluição, na forma de CO e HC, se reduz ao utilizar este sistema, tendencialmente porque a queima de H<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> se faz de forma “limpa” e que essa queima também promove uma redução de CO e HC. A utilização continuada de HHO, também ajuda a manter os componentes do motor com menores quantidades de hidrocarbonetos (carvão) que se formam nas condutas de escape e nas válvulas de escape.

Não foi provado que a aplicação de um sistema de produção de HHO, no motor ensaiado, provoque uma redução do consumo de combustível conforme anunciado pelo fabricante. O efeito da emulação da sonda *lambda*, por si só, é mais eficaz que a utilização de HHO.

#### 4.4 Resultados obtidos

1. Os resultados com carga de acelerador de 25% são bastante diferentes e têm grandes variações; as situações mais desfavoráveis são aquelas em que o sistema HHO está em funcionamento, sendo que a configuração proposta pelo fornecedor do equipamento – com emulador da sonda *lambda* e HHO ligado – é a que tem um desempenho pior. Este resultado é exatamente o oposto daquilo que se pretende com a aplicação deste equipamento.
2. As configurações em que o sistema HHO tem melhor desempenho são para as gamas de rotação de 3500 r.p.m. com 50% e 75% de carga de acelerador, onde se nota claramente que a emulação da sonda *lambda* provoca uma baixa de consumo específico.
3. A emulação da sonda *lambda* mostra ter um impacto determinante na baixa de consumo, mesmo sem o sistema HHO a funcionar. Apenas em duas das 18 comparações, com o sistema original, o sistema HHO mostrou ter melhor desempenho que as restantes configurações, que foi com 50% e 75% de carga de acelerador, ambas às 3500 r.p.m.

Não foi provado que o uso do sistema de produção de HHO acoplado a um motor de combustão interna tenha uma influência no sentido da diminuição do uso de combustível fóssil.

# BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5.1 LIVROS CONSULTADOS

5.2 DOCUMENTOS CIENTIFICOS

5.3 SITES CONSULTADOS



## 5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

### 5.1 Livros consultados

- [1] Newton, David E., *The Chemical Elements*, 1994;
- [2] Rigden, John S, *Hydrogen: The Essential Element*; 2002
- [3] BOSCH, *Manual de Tecnologia Automotiva*, 25ª edição;
- [4] Dias, João Salazar; “*Hidrogénio e Fuel Cells – Bases de um novo paradigma energético?*” Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, 2002.
- [5] Jorge Martins, *Motores de combustão interna*, 2ª edição 2006;
- [6] Daniel J. Holt, *Hydrogen and its future as a transportation fuel*, SAE international, 2003
- [7] Gene D. Berry e outros, *Hydrogen as a future transportation fuel*, Elsevier, 1996

### 5.2 Documentos científicos

- [8] TS de Silva, L Senevirathne and TD Warnasooriya, *HHO generator – An approach to increase fuel efficiency in spark ignition engines*, European Journal of Advances in Engineering and Technology, 2015,
- [9] A. M. Falahat, M. A. Hamdan e J. A. Yamin, *Engine Performance powered by a mixture of hydrogen and oxygen fuel obtained from water electrolysis*, International Journal of Automotive Technology, 2014
- [10] Tânia Esmeralda Rodrigues Estevão, *O hidrogénio como combustível*, FEUP MIEM, 2008

### 5.3 Sites consultados

- [11] <https://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=1070>. Consultado Setembro 2016
- [12] <http://www.lamtec-id.com/energias/hidrogenio.php>. Consultado Outubro 2012
- [13] [http://paginas.fe.up.pt/~projfeup/cd\\_2012\\_13/files/REL\\_Q1Q2\\_01.PDF](http://paginas.fe.up.pt/~projfeup/cd_2012_13/files/REL_Q1Q2_01.PDF) Consultado Setembro 2016
- [14] [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
- [15] <http://www.ucsusa.org/clean-vehicles/electric-vehicles/how-do-hydrogen-fuel-cells-work>. Consultado Setembro 2015
- [16] <http://hydroxsystems.co.uk/hho-hydrogen-system-technology.html> Consultado Setembro 2015
- [17] <http://ultimatepower.pt/ucce/> Consultado Abril 2015
- [18] <http://www.popularmechanics.com/cars/a310/1802932/> Consultado Outubro 2014



# ANEXOS

- 6.1 DESENHO DO SUPORTE PARA O MOTOR E MOTOR DE ARRANQUE
- 6.2 DESENHO DAS FALANGES APLICADAS NAS EXTREMIDADES DO VEIO DE TRANSMISSÃO
- 6.3 FICHEIRO COM DADOS EM BRUTO, RETIRADOS DO *EXCEL*
- 6.4 FICHEIRO DE DADOS TRATADOS COM MÉDIAS E TOTAIS NA ÚLTIMA PÁGINA
- 6.5 TABELAS COM TODOS OS RESULTADOS DOS TESTES FINAIS



## 6 ANEXOS

### 6.1 Desenho do suporte para o motor e motor de arranque

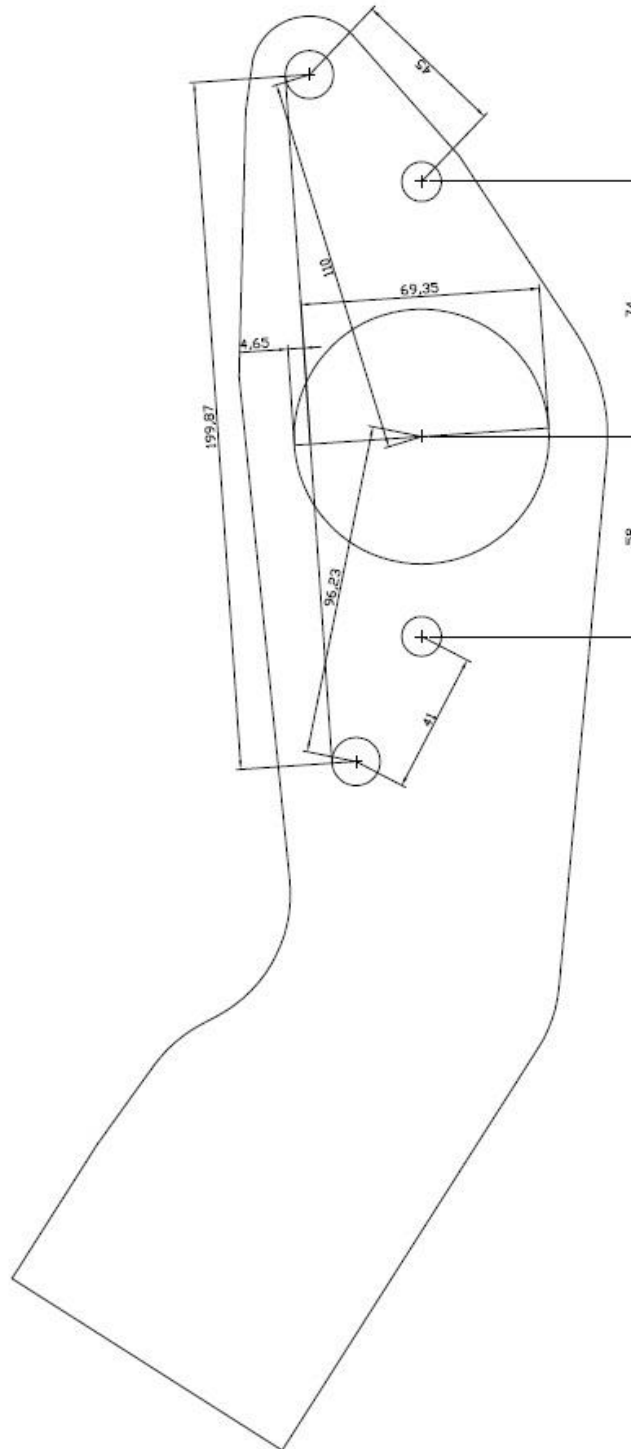


Figura 44 – Suporte do motor e do motor de arranque

## 6.2 Desenho das falanges aplicadas nas extremidades do veio de transmissão

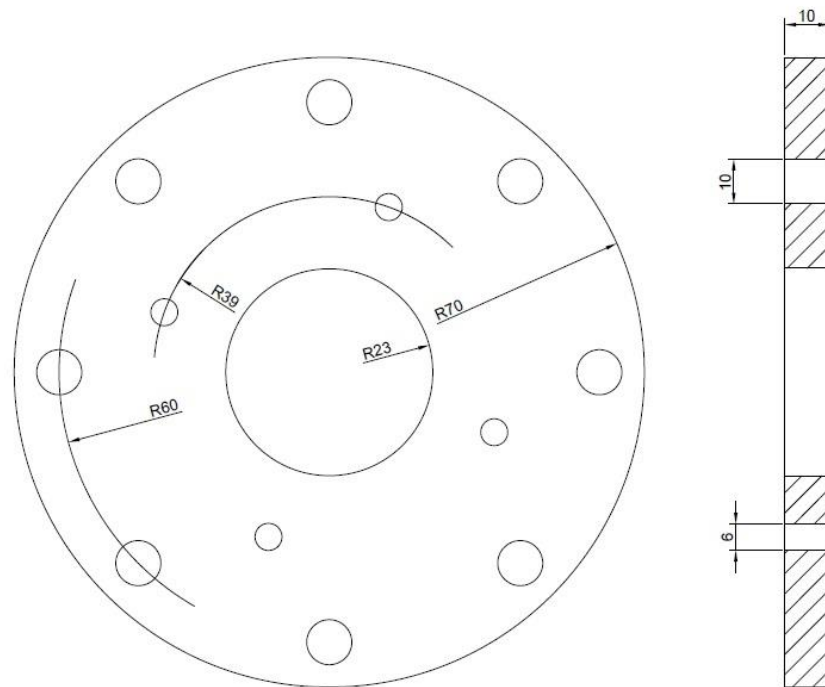


Figura 45 – Falange de ligação do veio de transmissão ao freio

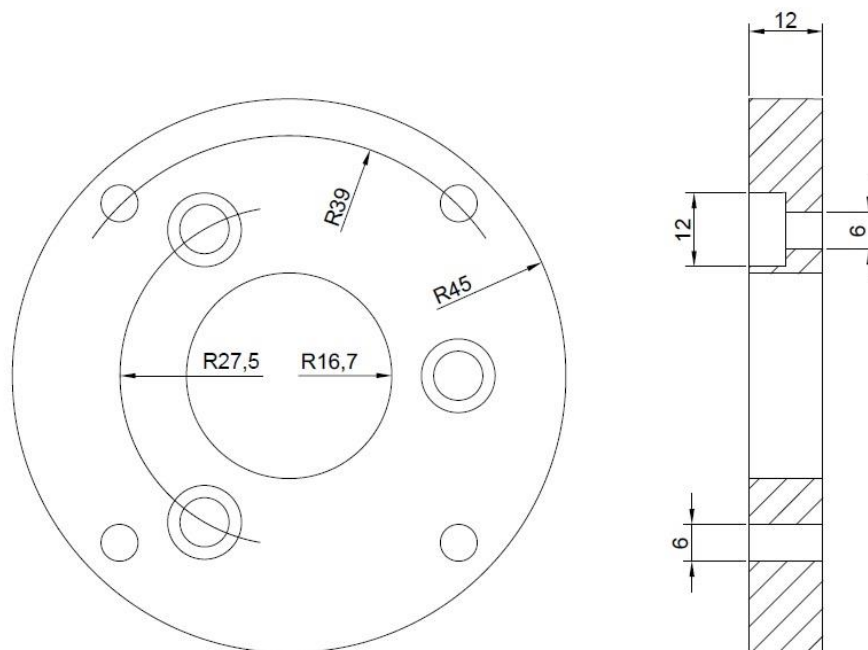


Figura 46 – Falange de ligação do veio de transmissão à árvore de manivelas

### 6.3 Ficheiro com dados em bruto, retirados do *excel*

2500\_50% S\_HHO\_C\_lambda\_2

```
15:8:39:728,,,,11588
15:8:39:835,+103.0,,
15:8:40:51,,,,11588
15:8:40:165,,,+26.4,
15:8:40:383,, +2500,,
15:8:40:385,,,,11588
15:8:40:601,+99.5,,,
15:8:40:603,,,,11588
15:8:40:713,,,,11588
15:8:40:925,,,+26.0,
15:8:40:927,,,,11588
15:8:41:39,,,,11588
15:8:41:149,, +2499,,
15:8:41:254,,,,11588
15:8:41:362,+103.5,,,
15:8:41:579,,,,11584
15:8:41:694,,,+25.3,
15:8:41:907,, +2499,,
15:8:41:909,,,,11584
15:8:42:127,+100.5,,,
15:8:42:129,,,,11584
15:8:42:241,,,,11582
15:8:42:349,,,+26.5,
15:8:42:457,,,,11582
15:8:42:677,, +2500,,
15:8:42:786,,,,11580
15:8:42:893,+100.5,,,
15:8:43:111,,,+26.3,
15:8:43:113,,,,11580
15:8:43:327,,,,11580
15:8:43:438,, +2499,,
15:8:43:440,,,,11580
15:8:43:657,+101.0,,,
15:8:43:659,,,,11580
15:8:43:767,,,,11580
15:8:43:878,,,+26.3,
15:8:43:985,,,,11580
15:8:44:93,, +2500,,
15:8:44:309,,,,11580
15:8:44:423,+99.5,,,
15:8:44:640,,,+25.8,
15:8:44:642,,,,11576
15:8:44:856,, +2499,,
15:8:44:857,,,,11576
15:8:44:966,,,,11576
15:8:45:188,+102.0,,,
15:8:45:188,,,,11576
15:8:45:401,,,+26.2,
15:8:45:515,,,,11574
15:8:45:624,, +2500,,
```

Página 1 de 21

Figura 47 – Página nº 1 de 21 de um ficheiro com dados em bruto (sem tratamento)

## 6.4 Ficheiro de dados tratados com médias e totais na última página

Data_acquisition_Testbench_final				
Time	Torque [Nm]	Rpm [1/min]	Power [kW]	Fueltank [g]
15:08:39,782	103,0			11588
15:08:40,556	99,5	2500	26,4	11588
15:08:40,983	103,5	2499	26,0	11588
15:08:41,853	100,5	2499	25,3	11584
15:08:42,893	101,0	2499	26,3	11580
15:08:44,424	102,0	2499	25,8	11576
15:08:45,513	100,5	2500	26,2	11574
15:08:46,220	102,0	2499	26,1	11574
15:08:47,042	102,0	2500	25,7	11570
15:08:47,754	100,5	2500	26,2	11568
15:08:48,571	98,0	2500	26,2	11568
15:08:49,281	100,0	2499	26,1	11568
15:08:50,100	100,0	2500	26,1	11564
15:08:51,124	100,5	2500	26,2	11562
15:08:51,575	100,0	2500	25,7	11562
15:08:52,230	99,5	2499	26,0	11558
15:08:53,102	97,0	2501	25,1	11558
15:08:54,142	101,5	2500	26,3	11556
15:08:55,672	101,0	2500	26,1	11552
15:08:57,174	98,5	2501	26,2	11552
15:08:57,896	100,0	2500	26,0	11548
15:08:58,292	99,5	2500	26,1	11546
15:08:59,002	99,5	2499	25,4	11546
15:08:59,815	99,5	2500	25,9	11546
15:09:00,528	100,0	2500	26,0	11542
15:09:01,438	102,0	2500	26,1	11540
15:09:02,058	100,5	2499	27,6	11536
15:09:03,240	103,0	2499	26,3	11536
15:09:04,280	100,0	2500	26,2	11532
15:09:05,005	98,0	2499	26,2	11530
15:09:05,823	99,5	2498	26,0	11530
15:09:06,480	99,5	2498	25,4	11530
15:09:07,192	99,5	2499	26,0	11528
15:09:08,009	98,5	2500	25,8	11526
15:09:08,717	99,5	2501	25,4	11522
15:09:09,538	100,0	2501	26,1	11520
15:09:10,251	100,0	2500	26,0	11520
15:09:11,064	99,5	2500	26,0	11520
15:09:11,777	97,5	2500	26,0	11516
15:09:12,541	99,0	2500	25,9	11514
15:09:13,197	99,0	2500	26,2	11514
15:09:14,073	100,5	2500	25,8	11514
15:09:14,727	99,0	2500	25,9	11510
15:09:15,543	94,5	2508	21,3	11508
15:09:16,252	92,5	2508	20,6	11508
15:09:17,072	101,0	2499	25,4	11508
15:09:17,782	99,0	2500	25,6	11504
15:09:18,544	99,0	2500	26,0	11504
15:09:19,255	99,5	2500	26,0	11504
15:09:19,966	99,5	2500	25,6	11498
15:09:20,784	99,5	2500	26,0	11496

Página 1 de 3

Figura 48 – Página nº 1 de 3 de um ficheiro com dados tratados

Data_acquisition_Testbench_final				
15:09:21,494	102,5	2499	26,0	11496
15:09:22,313	99,0	2499	25,4	11496
15:09:23,025	99,0	2500	26,0	11490
15:09:24,077	99,5	2500	26,0	11490
15:09:24,738	99,5	2500	26,0	11490
15:09:25,514	98,0	2499	26,0	11486
15:09:25,973	101,5	2499	25,6	11486
15:09:26,792	99,5	2500	26,0	11486
15:09:27,502	100,0	2499	25,9	11482
15:09:28,321	99,5	2499	26,1	11482
15:09:29,030	100,0	2499	26,0	11480
15:09:30,110	99,5	2500	26,0	11478
15:09:30,502	100,0	2499	26,1	11474
15:09:31,213	97,0	2500	25,4	11474
15:09:31,979	96,5	2501	26,3	11474
15:09:32,742	99,5	2500	26,3	11474
15:09:33,945	99,0	2499	25,9	11468
15:09:35,679	99,5	2500	26,0	11462
15:09:36,511	98,0	2500	26,1	11462
15:09:37,221	99,5	2500	26,7	11462
15:09:38,038	98,0	2500	26,0	11458
15:09:38,749	99,0	2500	26,5	11456
15:09:39,566	99,5	2499	25,5	11456
15:09:40,277	99,0	2500	25,9	11456
15:09:41,042	99,0	2500	25,9	11452
15:09:42,096	99,5	2500	25,9	11450
15:09:42,570	99,5	2499	26,0	11448
15:09:43,606	99,0	2500	26,0	11444
15:09:45,137	99,5	2500	26,0	11444
15:09:46,611	97,0	2500	26,0	11440
15:09:48,140	104,0	2496	25,2	11438
15:09:48,861	96,5	2497	25,3	11438
15:09:49,288	99,5	2498	25,7	11434
15:09:49,996	98,5	2500	25,8	11432
15:09:50,815	99,5	2500	25,8	11432
15:09:51,527	99,5	2500	26,0	11430
15:09:52,371	99,5	2500	26,0	11426
15:09:52,946	100,0	2499	26,5	11426
15:09:54,236	99,5	2498	25,3	11422
15:09:55,281	101,0	2500	25,8	11422
15:09:56,386	99,0	2500	26,0	11418
15:09:57,857	99,0	2500	26,0	11414
15:09:59,005	99,0	2500	25,9	11410
15:10:00,157	99,5	2500	25,9	11410
15:10:00,533	99,5	2500	26,0	11410
15:10:01,242	101,0	2501	25,4	11410
15:10:02,065	99,5	2501	26,0	11406
15:10:02,775	105,0	2498	26,0	11402
15:10:03,539	97,5	2498	25,4	11402
15:10:04,245	102,0	2497	24,7	11402
15:10:04,956	100,5	2501	26,0	11402
15:10:05,777	100,0	2500	26,3	11398

Página 2 de 3

Figura 49 – Página nº 2 de 3 de um ficheiro com dados tratados

Data\_acquisition\_Testbench\_final

15:10:06,485	99,5	2500	25,8	11396
15:10:07,303	99,0	2500	26,0	11396
15:10:08,015	99,5	2500	25,9	11396
15:10:08,833	101,0	2500	26,0	11392
15:10:09,489	100,0	2500	26,7	11390
15:10:10,256	100,0	2500	26,2	11390
15:10:10,966	98,0	2501	26,2	11390
15:10:11,835	99,0	2500	25,6	11384
15:10:12,491	97,0	2500	25,8	11382
15:10:13,312	99,0	2500	25,7	11382
15:10:14,023	99,0	2500	25,8	11382
15:10:14,839	101,0	2501	25,9	11378
15:10:15,495	98,0	2500	26,0	11378
15:10:16,205	99,5	2500	25,7	11376
15:10:17,023	99,0	2501	25,2	11372
15:10:17,735	99,0	2501	25,8	11370
15:10:18,881	101,0	2500	25,8	11370
15:10:20,082	102,0	2500	26,0	11366
15:10:21,029	99,5	2500	25,7	11366
15:10:21,501	101,5	2500	26,0	11364
15:10:22,210	99,5	2501	26,1	11362
15:10:23,030	100,0	2500	26,0	11360
15:10:23,738	99,5	2500	26,1	11358
15:10:24,557	99,0	2500	26,0	11358
15:10:25,270	99,0	2500	25,9	11358
15:10:26,087	99,5	2500	26,2	11354
15:10:27,062	100,0	2500	25,7	11352
15:10:27,777	100,0	2501	26,1	11352
15:10:28,272	100,0	2500	26,0	11352
15:10:28,981	99,5	2500	26,0	11348
15:10:29,797	99,5	2500	26,0	11346
15:10:30,509	102,5	2500	26,0	11344
15:10:31,528	99,5	2499	26,0	11342
15:10:31,984	97,0	2499	26,0	11340
15:10:33,091	99,0	2500	25,9	11340
15:10:33,804	99,0	2500	25,9	11340
15:10:34,594	99,0	2500	25,9	11336
15:10:34,989	99,0	2500	25,8	11332
15:10:35,807	99,0	2500	25,8	11332
15:10:36,518	99,5	2500	25,9	11330
15:10:37,682	99,5	2500	26,0	11330
15:10:37,991	99,0	2500	25,9	11328
15:10:39,069	101,0	2500	26,2	11326
15:10:39,520	99,0	2500	25,6	11324

00:01:59	100	2500	26	264
Tempo total (m.s)	Média binário (N.m)	Média r.p.m.	Média potência (kW)	Total combustível (g)

Página 3 de 3

Figura 50 – Página nº 3 de 3 de um ficheiro com dados tratados

## 6.5 Tabelas com todos os resultados dos testes finais

## 6.5.1 Tabela com resultados de testes a 2500 r.p.m.

RPM	Carga	HHO	Controlo	Tempo total (s)	Binário médio (Nm)	RPM médio	Potencia média (Kw)	Consumo total (g)	Consumo específico (g/Kw.h)	Média
2500	25%	Sem HHO	Lambda	118,58	67,6	2493,3	17,8	198	338,08	328,73
			Lambda	119,90	68,0	2494,1	17,6	190	324,13	
			Lambda	119,96	67,9	2494,3	17,6	190	323,97	
			Espaçador	118,43	66,0	2500,7	17,3	190	333,85	
			Espaçador	118,93	70,2	2501,8	18,4	204	335,60	
			Espaçador	119,35	69,4	2501,5	18,2	198	328,15	
		Com HHO	Lambda	116,96	66,1	2500,3	17,2	188	336,43	333,47
			Lambda	119,08	65,1	2498,6	17,0	188	334,33	
			Lambda	119,25	66,9	2496,7	17,4	190	329,65	
			Espaçador	118,54	67,7	2500,3	17,7	206	353,45	
			Espaçador	118,43	67,0	2500,4	17,5	202	350,88	
			Espaçador	117,34	66,3	2500,9	17,3	202	358,23	
	50%	Sem HHO	Lambda	119,19	99,2	2499,9	25,9	260	303,20	303,77
			Lambda	119,74	99,6	2499,9	25,9	264	306,46	
			Lambda	118,89	99,8	2499,5	26,1	260	301,64	
			Espaçador	119,14	97,1	2508,1	25,5	256	303,35	
			Espaçador	119,19	88,9	2506,0	23,3	234	303,34	
			Espaçador	118,48	98,6	2508,2	25,9	256	300,33	
		Com HHO	Lambda	119,08	98,2	2502,4	25,6	264	311,77	309,90
			Lambda	119,79	95,7	2504,6	25,1	260	311,30	
			Lambda	119,24	97,8	2502,3	25,6	260	306,63	
			Espaçador	118,44	90,6	2505,8	23,7	254	325,75	
			Espaçador	118,10	88,5	2505,2	23,1	250	329,90	
			Espaçador	118,53	92,3	2506,3	24,2	262	328,82	
75%	Sem HHO	Lambda	119,79	106,1	2501,2	27,8	278	300,53	299,80	
		Lambda	118,94	106,0	2502,7	27,8	274	298,32		
		Lambda	120,21	106,0	2502,1	27,7	278	300,56		
		Espaçador	119,30	103,2	2510,3	27,1	264	293,97		
		Espaçador	118,48	100,2	2510,3	26,3	266	307,31		
		Espaçador	120,80	102,6	2508,3	26,9	280	310,20		
	Com HHO	Lambda	120,98	103,9	2503,7	27,3	276	300,84	303,43	
		Lambda	119,90	104,0	2504,0	27,3	278	305,75		
		Lambda	119,84	104,1	2503,8	27,3	276	303,70		
		Espaçador	119,42	100,3	2508,8	26,3	274	314,07		
		Espaçador	119,19	99,4	2509,1	26,1	268	310,14		
		Espaçador	118,88	98,8	2509,5	25,9	268	313,35		

## 6.5.2 Tabela com resultados de testes a 3000 r.p.m.

RPM	Carga	HHO	Controlo	Tempo total (seg)	Binário médio (Nm)	RPM médio	Potencia média (Kw)	Consumo total (g)	Consumo (g/Kw.h)	Média
3000	25%	Sem HHO	Lambda	118,99	64,0	2988,2	20,0	212	320,70	317,65
			Lambda	119,30	63,6	2988,5	20,0	208	313,83	
			Lambda	119,25	64,1	2988,6	20,1	212	318,41	
			Espaçador	120,10	62,8	2994,0	19,7	214	325,62	
			Espaçador	120,00	63,1	2997,5	19,8	212	321,21	
			Espaçador	120,00	62,9	2999,0	19,7	214	325,89	
		Com HHO	Lambda	119,19	61,0	3001,6	19,1	210	332,08	331,17
			Lambda	118,81	61,1	3002,0	19,1	212	336,32	
			Lambda	119,25	62,3	2990,1	19,5	210	325,11	
			Espaçador	119,14	60,5	3017,3	19,1	210	332,22	
			Espaçador	118,95	60,9	3010,3	19,2	214	337,33	
			Espaçador	118,54	60,4	3008,6	19,0	214	342,06	
	50%	Sem HHO	Lambda	119,73	95,5	2995,9	29,9	342	343,92	343,94
			Lambda	120,58	95,3	2995,8	29,9	346	345,49	
			Lambda	118,15	95,3	2996,5	29,9	336	342,40	
			Espaçador	117,70	91,0	3000,8	28,5	320	343,42	
			Espaçador	120,10	92,0	3002,2	28,8	326	339,30	
			Espaçador	120,10	92,0	3003,7	28,9	336	348,50	
		Com HHO	Lambda	120,01	92,2	3008,1	29,0	338	349,63	349,09
			Lambda	119,30	91,7	3009,2	28,9	336	350,84	
			Lambda	119,14	93,0	2999,1	29,1	334	346,82	
			Espaçador	119,30	87,5	2999,1	27,4	330	363,43	
			Espaçador	118,77	87,4	3000,1	27,4	326	360,63	
			Espaçador	118,81	87,3	3000,5	27,3	330	366,27	
75%	Sem HHO	Lambda	119,16	94,7	2995,7	29,6	360	367,44	363,71	
		Lambda	119,35	94,5	2995,2	29,6	356	362,78		
		Lambda	119,96	94,5	2994,9	29,6	356	360,93		
		Espaçador	120,80	90,6	3001,8	28,4	338	354,68		
		Espaçador	119,30	90,3	3002,2	28,4	344	365,51		
		Espaçador	120,00	90,8	3003,3	28,5	352	370,53		363,57
	Com HHO	Lambda	120,28	89,8	3010,3	28,3	356	376,51	375,38	
		Lambda	121,02	90,0	3010,7	28,3	356	374,20		
		Lambda	120,20	89,9	3010,1	28,4	356	375,43		
		Espaçador	119,20	88,7	3000,0	27,8	354	384,58		
		Espaçador	119,25	88,7	2999,9	27,8	348	377,90		
		Espaçador	119,30	88,5	2999,5	27,7	348	379,11		380,53

## 6.5.3 Tabela com resultados de testes a 3500 r.p.m.

RPM	Carga	HHO	Controlo	Tempo total (seg)	Binário médio (Nm)	RPM médio	Potencia média (Kw)	Consumo total (g)	Consumo (g/Kw.h)	Média
3500	25%	Sem HHO	Lambda	119,00	54,9	3504,5	20,1	224	337,14	338,25
			Lambda	119,11	55,7	3500,6	20,4	226	334,84	
			Lambda	119,13	53,8	3511,9	20,1	228	342,78	
			Espaçador	120,00	52,7	3498,0	19,3	224	348,19	
			Espaçador	120,00	52,8	3501,7	19,3	222	345,08	
			Espaçador	120,00	52,6	3490,0	19,1	218	342,41	
		Com HHO	Lambda	119,92	53,6	3494,0	19,5	230	354,08	353,64
			Lambda	121,33	53,9	3494,5	19,6	234	354,24	
			Lambda	123,13	54,5	3499,3	19,9	240	352,61	
			Espaçador	120,00	52,9	3511,1	19,9	234	352,76	
			Espaçador	119,60	51,9	3515,3	19,5	232	358,12	
			Espaçador	120,70	52,8	3521,8	19,4	232	356,68	
	50%	Sem HHO	Lambda	119,51	94,2	3513,0	34,5	434	378,94	375,84
			Lambda	119,64	94,0	3513,6	34,6	428	372,21	
			Lambda	119,56	93,4	3501,2	34,4	430	376,38	
			Espaçador	119,70	90,1	3509,6	33,0	406	370,02	
			Espaçador	119,30	88,9	3510,2	32,6	402	372,11	
			Espaçador	120,80	88,0	3499,6	32,2	404	373,90	
		Com HHO	Lambda	119,85	92,3	3503,7	33,7	442	393,96	388,71
			Lambda	120,01	93,2	3504,7	33,9	438	387,58	
			Lambda	119,19	90,6	3508,6	33,3	424	384,58	
			Espaçador	119,90	88,7	3520,6	33,1	398	361,03	
			Espaçador	120,00	87,8	3524,9	32,3	404	375,23	
			Espaçador	119,00	88,1	3529,5	32,5	400	372,33	
75%	Sem HHO	Lambda	118,93	87,1	3511,2	32,0	460	435,13	450,22	
		Lambda	118,54	84,5	3512,0	31,1	466	455,05		
		Lambda	119,33	85,1	3509,5	30,4	464	460,47		
		Espaçador	118,90	86,0	3504,7	31,7	436	416,44		
		Espaçador	117,70	83,7	3497,8	30,6	436	435,80		
		Espaçador	119,30	85,5	3501,4	30,9	434	423,83		425,36
	Com HHO	Lambda	118,15	85,0	3504,0	30,5	464	463,54	458,37	
		Lambda	117,83	85,6	3504,8	31,3	462	450,97		
		Lambda	118,90	84,5	3503,8	30,5	464	460,62		
		Espaçador	121,60	84,3	3517,8	31,3	464	438,88		
		Espaçador	118,50	84,0	3519,5	31,0	440	431,20		
		Espaçador	121,10	83,3	3520,5	30,6	452	439,11		436,40