

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

**ALEX DONATO
FABIANA DOS SANTOS CONCEIÇÃO
LEONARDO DIAS ROCHA**

**A Influência das Mistura de Combustíveis E0-R95 e
AEHC E100 nos Motores Flex**

Santo André – São Paulo
2014

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

ALEX DONATO
FABIANA DOS SANTOS CONCEIÇÃO
LEONARDO DIAS ROCHA

**A Influência das Mistura de Combustíveis E0-R95 e
AEHC E100 nos Motores Flex**

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

Orientador: Prof. Msc Cleber William Gomes

Coorientador: Prof. Msc Jhonny Frank Sousa Joca

Santo André – São Paulo
2014

Dedicamos este trabalho as nossas famílias
e amigos que nos ensinaram a confiar e
acreditar em nós.

CUTER (Biblioteca FATEC)

Conceição, Fabiana

A influência da Mistura de Combustíveis nos motores Flex / Fabiana dos Santos Conceição, Alex Donato, Leonardo Dias Rocha. - Santo André, 2014. – Quantidade de folhas f: il.

Trabalho de conclusão de curso - FATEC- Santo André.

Curso de Eletrônica Automotiva, 2014.

Orientador: Msc Cleber William Gomes

1.Motor Flex 2.Mistura 3.Combustão I. Donato, Alex II.
Rocha, Leonardo

CDD (Biblioteca FATEC)

CUTER (Biblioteca FATEC)

Conceição, Fabiana

A influência da Mistura de Combustíveis nos motores Flex / Fabiana dos Santos Conceição, Alex Donato, Leonardo Dias Rocha. - Santo André, 2014. – Quantidade de folhas f: il.

Trabalho de conclusão de curso - FATEC- Santo André.

Curso de Eletrônica Automotiva, 2014.

Orientador: Msc Cleber William Gomes

1.Motor Flex 2.Mistura 3.Combustão I. Donato, Alex II.
Rocha, Leonardo

CDD (Biblioteca FATEC)

LISTA DE PRESENÇA

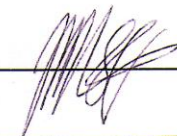
SANTO ANDRÉ, 19 de dezembro de 2014.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA "A INFLUÊNCIA DAS MISTURAS DE COMBUSTÍVEL EOR 95 E AEHC NOS MOTORES FLEX" DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA
PRESIDENTE:

PROF. MSC. CLEBER WILLIAN GOMES 

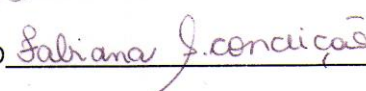
MEMBROS:

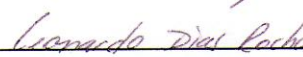
PROF. ARMANDO A. MARIA LAGANÁ 

PROF. LUIS ROBERTO KANASHIRO 

ALUNOS:

ALEX DONATO DA SILVA 

FABIANA DOS SANTOS CONCEIÇÃO 

LEONARDO DIAS ROCHA 

FOLHA DE APROVAÇÃO

(Fornecida pela secretaria)

(nome 1)

(nome 2)

PROJETO DE XXXX DE XXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à FATEC – Santo André como requisito parcial para obtenção do título de tecnólogo em Eletrônica Automotiva.

Data de aprovação ____ / ____ / ____

Nota: _____

Prof.(a) Dr.(a) _____

(Assinatura)

Prof.(a) Dr.(a) _____

(Assinatura)

Prof.(a) Dr.(a) _____

(Assinatura)

SANTO ANDRÉ
2012

AGRADECIMENTOS

A FATEC Santo André, seu corpo docente, direção e colaboradores que nos oportunizaram um ambiente vasto de conceitos fundamentados na confiança no mérito e ética.

As nossas famílias, pelo carinho, incentivo e apoio incondicional.

Ao nosso orientador Cleber William Gomes e coorientador Jhonny Frank Sousa Joca, pelo estímulo e preciosas colaborações ao longo deste trabalho.

Ao nosso amigo e familiar Robson Dias Rocha, pela disposição e preciosas colaborações nos processos confecção deste trabalho.

Este projeto não seria possível sem a assistência de um grupo de pessoas talentosas e generosas que direta ou indiretamente fizeram parte da nossa formação, o nosso sincero obrigado.

Alex Donato

Fabiana dos Santos Conceição

Leonardo Dias Rocha

Epígrafe

“Há um dom acima de todos os outros que torna o homem único entre os animais [...] o imenso prazer de exercer e aprimorar sua habilidade [...] A descoberta é uma dupla relação de análise e síntese juntas. Como análise, ela sonda à procura do que existe [...] Como síntese, une as partes de maneira que a mente criativa transcenda o esqueleto simples fornecido pela natureza .”

Jacob Bronowski

RESUMO

Este trabalho situa-se no contexto de estudo do comportamento do motor de combustão interna com a utilização de misturas entre os combustíveis E0-R95 (Gasolina Especial BR) e AEHC E100 (Álcool Etílico Hidratado Combustível), que tem por objetivo analisar as principais características do motor flex, visto que no Brasil utilização do combustível Etanol é amplamente empregado e incentivado por órgãos governamentais.

Após a definição dos combustíveis a serem avaliados, definiu-se um plano de estudo abrangendo princípios de funcionamento de um motor a combustão, em seguida planejou-se as metodologias e procedimentos para realização dos ensaios. Com o auxílio de equipamentos específicos, obteve-se o comportamento da combustão no momento do ciclo térmico com as proporções das misturas de combustíveis, onde se avaliou os efeitos no consumo de combustível e no torque medido na saída do eixo virabrequim do motor.

Os resultados foram obtidos por meio de ensaios dinamométricos utilizando um motor de estudo para realizar os testes de forma confiável, utilizando equipamentos apropriados para análises dos dados coletados.

Palavras chaves: motor flex, consumo de combustível, torque, ensaios dinamométricos.

ABSTRACT

This work lies in the study of the context of the internal combustion engine behavior with the use of mixtures of fuels ER-R95 and AEHC E100, which aims to analyze the main features of flex engine, whereas in Brazil the use of Ethanol is abroad used and encouraged by government agencies.

After defining the fuel to be evaluated, set up study plan covering engine operating principles combustion, then planned the methodologies and procedures for conducting the tests. With the support of specific equipment, combustion behavior was obtained when the thermal cycle with the amount of fuel mixtures, where the effect was evaluated in the consumption and brake measured at the output of the crankshaft of the engine shaft.

The results were obtained from dynamometer test which are possible to carry out reliable way tests using appropriate equipment for analysis of collected data.

Key word: engine flex, fuel consumption, brake and dynamometer testing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Fluxograma (Autor, 2014).	25
Figura 2. Equipamentos – Densímetro, termômetro, provetas graduadas (Autor, 10/10/2014).	26
Figura 3. Equipamento – Medidor de compressão automotivo (Autor, 10/10/2014).	27
Figura 4. Equipamento – Vela Instrumentada (Autor, 10/10/2014).	27
Figura 5. Osciloscópio (Autor, 10/10/2014).	28
Figura 5. Computador e programa PC-Link (Autor, 10/10/2014).	28
Figura 6. Ciclo de Quatro Tempos. Adaptado de (Manual Mahle Brochura Miolo NOVO, 6/6/2008).	32
Figura 7. O curso do êmbolo no interior do cilindro. Adaptado de (Manual Mahle Brochura Miolo NOVO, 6/6/2008).	34
Figura 8. A cilindrada unitária. Adaptado de (Manual Mahle Brochura Miolo NOVO, 6/6/2008).	35
Figura 9. Câmara de compressão ou de combustão. Adaptado de (Manual Mahle Brochura Miolo NOVO, 6/6/2008).	36
Figura 10. A taxa de compressão. Adaptado de (Manual Mahle Brochura Miolo NOVO, 6/6/2008).	39
Figura 11. Sistema de ignição automotivo convencional. Adaptado (Apostila SENAI / Sistema de Ignição, 2003).	40
Figura 12. Faísca muito adiantada provocando um trabalho negativo considerável e um gradiente acentuado de pressão (Motores de Combustão Interna: volume 1/Franco Brunetti. - São Paulo: Blucher, 2012.).	44
Figura 13. Faísca muito atrasada provocando um pequeno trabalho positivo (Motores de Combustão Interna: volume 1/Franco Brunetti. - São Paulo: Blucher, 2012.).	44
Figura 14. Faísca em instante ideal (Motores de Combustão Interna: volume 1/Franco Brunetti. - São Paulo: Blucher, 2012.).	44
Figura 15. Detecção de detonação no diagrama p- α do motor (Motores de Combustão Interna: volume 1/Franco Brunetti. - São Paulo: Blucher, 2012.).	46
Figura 16. Laboratório de Ensaio Dinamométricos. Adaptado de (Manual Mahle Brochura Miolo NOVO, 6/6/2008).	46
Figura 17. Proporção da Mistura de Combustível. Autor (05/10/2014).	56
Figura 18. Avanço de Ignição. Autor (05/10/2014).	57
Figura 19. 1000 rpm – AEHC E100 0% / E0-R95 100%	58
Figura 20. 1000 rpm – AEHC E100 10% / E0-R95 90%.	58
Figura 21. 1000 rpm – AEHC E100 20% / E0-R95 80%.	58
Figura 22. 1000 rpm – AEHC E100 30% / E0-R95 70%.	58
Figura 23. 1000 rpm – AEHC E100 40% / E0-R95 60%.	59
Figura 24. 1000 rpm – AEHC E100 50% / E0-R95 50%.	59
Figura 25. 1000 rpm – AEHC E100 60% / E0-R95 40%.	59
Figura 26. 1000 rpm – AEHC E100 70% / E0-R95 30%.	59
Figura 27. 1000 rpm – AEHC E100 80% / E0-R95 20%.	59
Figura 28. 1000 rpm – AEHC E100 90% / E0-R95 10%.	59
Figura 29. 1000 rpm – AEHC E100 100% / E0-R95 0%.	60
Figura 30. 5500 rpm – AEHC E100 0% / E0-R95 100%	60
Figura 31. 5500 rpm – AEHC E100 10% / E0-R95 90%.	60
Figura 34. 5500 rpm – AEHC E100 40% / E0-R95 60%.	61
Figura 35. 5500 rpm – AEHC E100 50% / E0-R95 50%.	61
Figura 36. 5500 rpm – AEHC E100 60% / E0-R95 40%.	61
Figura 37. 5500 rpm – AEHC E100 70% / E0-R95 30%.	61
Figura 38. 5500 rpm – AEHC E100 80% / E0-R95 20%.	62
Figura 39. 5500 rpm – AEHC E100 90% / E0-R95 10%.	62
Figura 40. 5500 rpm – AEHC E100 100% / E0-R95 0%.	62
Figura 41. Torque Corrigido. Autor (05/10/2014).	63
Figura 42. Pressão média Efetiva. Autor (05/10/2014).	64
Figura 43. Potencia Corrigida com as referencias de máxima e mínima em relação ao AEHC E100 100%. Autor (05/10/2014).	64

Figura 44. Potencia Corrigida com as referencias de máxima e mínima em relação ao E0-R95 100% . Autor (05/10/2014).	65
Figura 45. Consumo de Combustível. Autor (05/10/2014).	65
Figura 46. Débito. Autor (05/10/2014).	66
Figura 47. Pressão do Cilindro. Autor (05/10/2014).	67
Figura 48. Fator Lambda. Autor (05/10/2014).	67
Figura 49. Consumo Específico de Combustível. Autor (05/10/2014).	68
Figura 50. Manômetro utilizado no ensaio. Autor (05/10/2014).	74
Figura 51. Típica sala de ensaios dinamométricos adaptado (Motores de Combustão Interna: volume 1/Franco Brunetti. - São Paulo: Blucher, 2012.).	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Energia por volume de mistura admitida. Adaptado de (Motores de Combustão Interna: volume 1/Franco Brunetti. - São Paulo: Blucher, 2012.).	31
Tabela 2. Taxa de compressão MIF (Motores de Combustão Interna: volume 1/Franco Brunetti. - São Paulo: Blucher, 2012.).	31
Tabela 3. Taxa de compressão MIF (Motores de Combustão Interna: volume 1/Franco Brunetti. - São Paulo: Blucher, 2012.).	41
Tabela 4. Proporção da Mistura de Combustível. Autor (05/10/2014).	55
Tabela 5. Tabela dos valores de compressão do cilindro. Autor.	Erro! Indicador não definido.
Tabela 6. Tabela de parâmetros para curva de performance. Autor.	76
Tabela 7. Lista de dados coletados durante o ensaio. Autor.	76

LISTA DE SÍMBOLOS

Lista de Símbolos	60
-------------------------	----

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	<u>18</u>
Equação 2	<u>18</u>
Equação 3	<u>23</u>
Equação 4	<u>24</u>
Equação 5	<u>25</u>
Equação 6	<u>25</u>
Equação 7	<u>26</u>
Equação 8	<u>26</u>
Equação 9	<u>26</u>
Equação 10	<u>26</u>
Equação 11	<u>30</u>
Equação 12	<u>30</u>
Equação 13	<u>33</u>
Equação 14	<u>33</u>
Equação 15	<u>36</u>
Equação 16	<u>36</u>
Equação 17	<u>36</u>
Equação 18	<u>37</u>
Equação 19	<u>37</u>
Equação 20	<u>38</u>
Equação 21	<u>38</u>
Equação 22	<u>39</u>
Equação 23	<u>39</u>

LISTA DE CÁLCULOS

Cálculo 1	<u>39</u>
Cálculo 2	<u>39</u>
Cálculo 3	<u>40</u>
Cálculo 4	<u>40</u>

SUMÁRIO

1	Introdução.....	22
1.1	Motivação.....	23
1.2	Objetivo.....	24
1.3	Conteúdo	24
2	Metodologia.....	25
3	Fundamentos teóricos.....	30
3.1	Densidade	30
3.2	Combustíveis	30
3.3	Motores de combustão interna.....	31
3.3.1	Classificação dos motores alternativos aos números de tempos dos ciclos de operação	32
3.3.2	Motores Alternativos á Quatro Tempos (4T)	32
3.3.2.1	Curso do Êmbolo	33
3.3.2.2	Cilindrada Unitária e Total	34
3.3.2.3	Câmara de Compressão ou de Combustão	35
3.3.2.4	Taxa de Compressão Teórica ou Volumétrica.....	36
3.3.2.5	Taxa de Compressão Real ou Dinâmica	37
3.4	Ignição	39
3.5	Combustão nos Motores Alternativos	42
3.5.1	Pressão.....	42
3.5.2	Combustão Normal.....	42
3.5.3	Detonação no Motor de Ignição por Faísca	45
3.6	Dinamômetro.....	46
3.6.1	Dinamômetro de correntes de Foucault (Parasitas)	47
3.6.2	Principais cálculos obtidos em ensaios dinamométricos	47
3.6.2.1	Potência Efetiva	47
3.6.2.1	PME (Pressão Média Efetiva)	49
3.6.2.2	Débito	50
3.6.2.3	Consumo Específico de Combustível	50
3.6.2.4	Calculo do fator de correção para motores ciclo Otto	51
4	Resultado	53
4.1	Cálculos para análise das características do motor.....	53
4.2	Resultado das Misturas de Combustíveis	55
4.3	Resultado Compressão do Cilindro	56
4.4	Resultado da Pressão de Combustão	57
4.5	Resultado Dinamômetro	63
5	Conclusão	69
	Anexos.....	72
	Anexo 1 – Procedimento para o processo de mistura de combustíveis	72
	Lista de equipamentos utilizados nos ensaios:	72
	Procedimento para a realização dos ensaios:	72
	Anexo 2 – Procedimento para o processo de compressão do cilindro.....	73
	Lista de equipamentos utilizados para mensurar a compressão do cilindro	73
	Procedimento para a realização mensurar a compressão do cilindro.....	73
	Anexo 3 – Procedimento para aquecimento do motor em dinamômetro.....	75
	Anexo 4 – Procedimento para curva de performance do motor em dinamômetro	76
	Anexo 5 – Procedimento a instalação da vela instrumentada e equipamentos de suporte.....	77
	Lista de equipamentos utilizados nos ensaios:	77
6	Lista de símbolos.....	78
7	referências	80

1 INTRODUÇÃO

Em um cenário cada vez mais competitivo, empresas e indústrias do seguimento automotivo vem continuamente buscando mecanismos que permitam a otimização do uso de combustíveis derivados de fósseis. Para tratar essa questão, estão sendo desenvolvidas novas tecnologias para melhoria de sistemas de gerenciamento eletrônico e a utilização de combustíveis renováveis como fonte de energia.

No Brasil devido a crises dos combustíveis provenientes do petróleo, o governo adotou medidas para incentivar o uso de combustíveis alternativos nos motores tais como o Etanol na década de 70. Nesse contexto, empregou-se uma estratégia para incentivar o desenvolvimento de tecnologias capazes de empregar a utilização de um ou mais combustíveis em um mesmo motor, promovendo a denominação de motor FLEX.

Os sistemas eletrônicos embarcados nos veículos automotores atualmente tem a responsabilidade de gerir os efeitos físicos e químicos decorrentes do funcionamento do motor de combustão interna realizando processos de adaptação para trabalhar em condições onde se pode obter o seu melhor desempenho. Esses ensaios são realizados mediante a estudos e a testes dinamométricos.

Baseado na importância do ponto exato da ignição, os estudos de análise dos efeitos do sistema de gerenciamento do avanço de ignição, faz-se necessário para apresentar o comportamento da queima do combustível que impacta no consumo de combustível e combustão.

1.1 Motivação

As estratégias de controle para a utilização de misturas de combustíveis líquidos como a E0-R95 (Gasolina Especial BR) e AEHC E100 (Álcool Etílico Hidratado Combustível) requerem estudos sobre o comportamento dos compostos, pois quando aplicados separadamente o gerenciamento eletrônico e estrutura física do motor são distintos. No gerenciamento eletrônico para os cálculos do tempo de ignição o principal parâmetro é o tempo de queima do combustível para que tenha um melhor aproveitamento da energia térmica proveniente da combustão. O outro fator de suma importância é a taxa de compressão do motor que projetada para obter o melhor rendimento e relação à compressibilidade do combustível. Quando mistura se combustíveis com características distintas à engenharia aplicada nessas estruturas tem que ser modificadas para adaptar aos novos comportamentos.

No Brasil, os órgãos governamentais incentivam o uso do Etanol e para atender essa exigência, os fabricantes de veículos e demais empresas do ramo automotivo construíram centros de pesquisas para desenvolver novas tecnologias. Devido atualmente uma ampla parcela dos veículos comercializados serem FLEX, aonde surgem campos de estudos uma vez que os motores são desenvolvidos para atender ambos combustíveis.

1.2 Objetivo

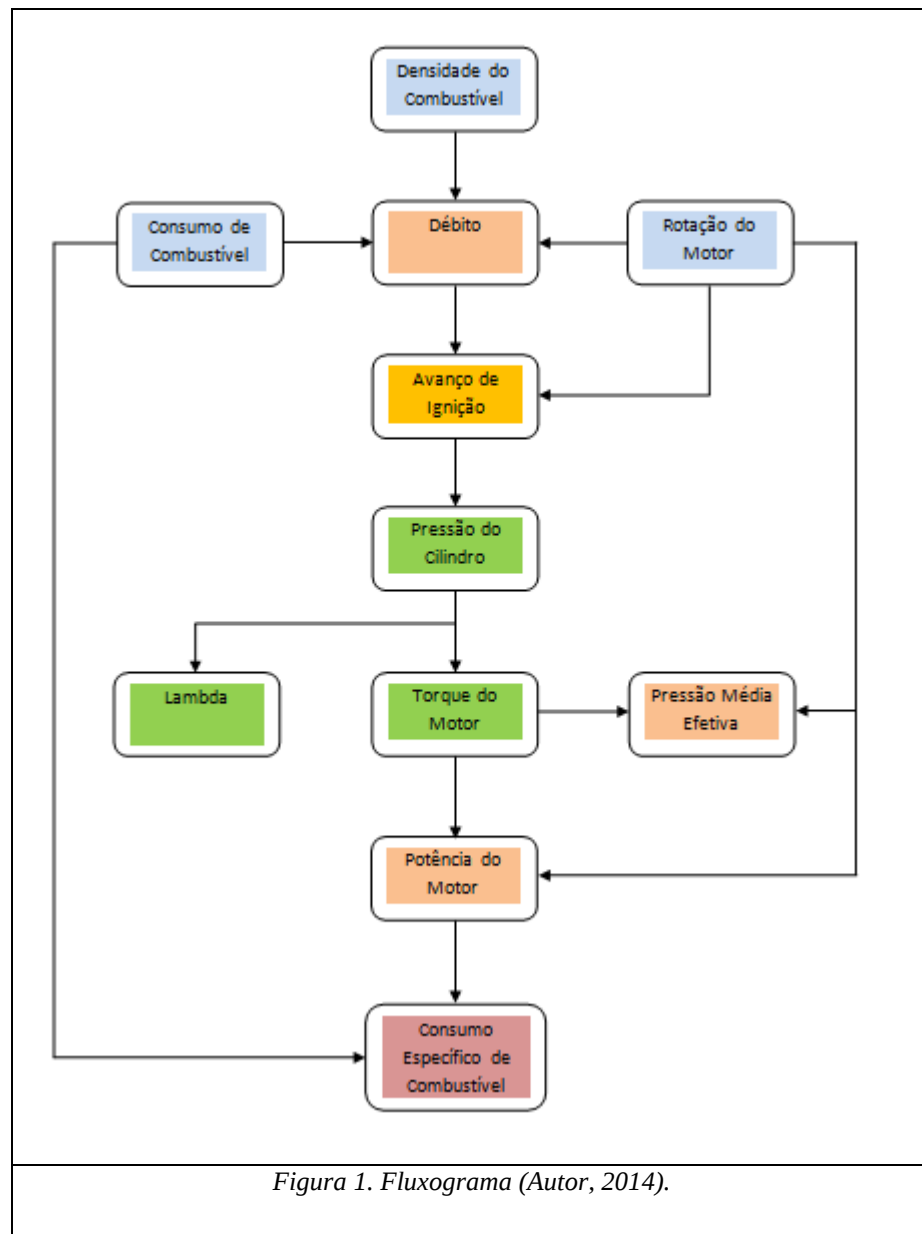
Este trabalho tem a pretensão de analisar o comportamento do motor com diferentes combinações da mistura de dois combustíveis sendo o E0-R95 e o AEHEC E100 através de ensaios dinamométricos. Aonde serão utilizados procedimentos para testes e coletas de dados, que por vez serão analisados para estudar com qual mistura o motor apresenta a melhor eficiência.

1.3 Conteúdo

Este trabalho está dividido em etapas: o capítulo 3 aonde discorrerá sobre uma revisão bibliográfica mostrando os caminhos percorridos para que fosse possível unir todos os conjuntos deste trabalho; no capítulo 4 veremos os ensaios e resultados obtidos ao longo dos testes, estratificando-os para um estudo comparativo das características apresentadas pelo motor quando é utilizado proporções de combustíveis distintas sendo elas derivadas da gasolina e etanol. Verificaremos se a meta foi atingida e quais foram às dificuldades encontradas neste estudo. Finalmente, no capítulo 5 discorreremos sobre as conclusões obtidas dos resultados e a referencias para novos estudos.

2 METODOLOGIA

O processo de estudo primeiramente consistiu no desenvolvimento de um fluxograma para analisar as etapas (Figura 1. Fluxograma (Autor, 10/10/2014).). Os conceitos analisados dividiram-se em equipamentos, cálculos e métodos, a partir dessa estrutura definiram-se as fases dos ensaios.



A primeira fase consiste na preparação dos combustíveis por um processo de mistura química. Este processo utilizou-se densímetros com massas padronizadas e um termômetro ambos imersos na proveta graduada para obter o valor de densidade da amostra em condição ambiente.

Após a definição dos combustíveis, padronizou-se o método para a obtenção das amostras para ensaio (Anexo 1 – Procedimento para o processo de mistura de combustíveis). Adotando uma quantidade para amostra de 200 ml e em seguida, inseriu o combustível na proveta graduada com o auxílio de uma pipeta para aumentar a precisão da dosagem (Figura 2. Equipamentos – Densímetro, termômetro, provetas graduadas (Autor, 10/10/2014).) o processo repetiu-se para todas as amostras desde 100% de E0-R95 até 100% AEHC E100 passando por misturas de 90% de E0-R95 e 10% AEHC E100 e assim consecutivamente.

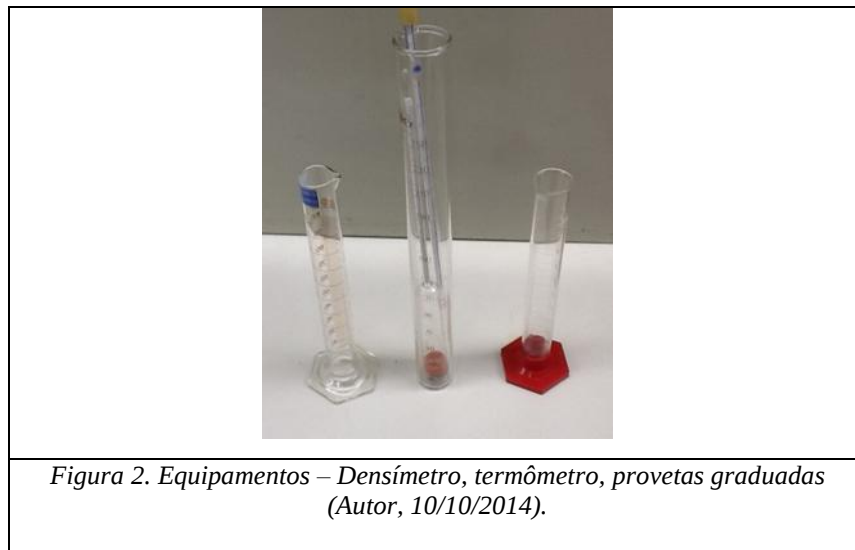


Figura 2. Equipamentos – Densímetro, termômetro, provetas graduadas (Autor, 10/10/2014).

A segunda fase consiste na pesquisa das dimensões do êmbolo para realizar os cálculos teóricos da cilindrada unitária e total, câmara de combustão e taxa de compressão teórica e real. Esses cálculos serão posteriormente utilizados para avaliar a compressão do cilindro e pressão mensurada no interior da câmara de combustão durante o funcionamento do motor ao longo dos testes.

Após a obtenção dos cálculos das dimensões realizou-se a compressão do cilindro com o auxílio de manômetro (Figura 3. Equipamento – Medidor de compressão automotivo (Autor, 10/10/2014). Realizou-se a compressão do cilindro conforme procedimento (Anexo 2 – Procedimento para o processo de compressão do cilindro).



Figura 3. Equipamento – Medidor de compressão automotivo (Autor, 10/10/2014).

A terceira fase consiste na instalação da vela instrumentada (Figura 4 Equipamento – Vela Instrumentada) no cilindro nº4 analisado para mensurar a pressão gerada no interior da câmara de combustão (Anexo Procedimento). Este equipamento composto de uma vela de ignição com um transdutor de pressão que é aplicado em teste calibração e desenvolvimento de componentes para motores.

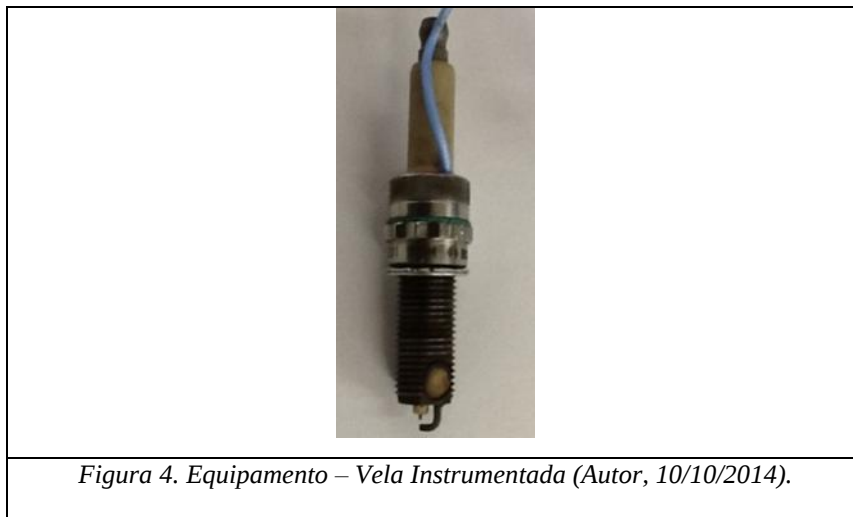
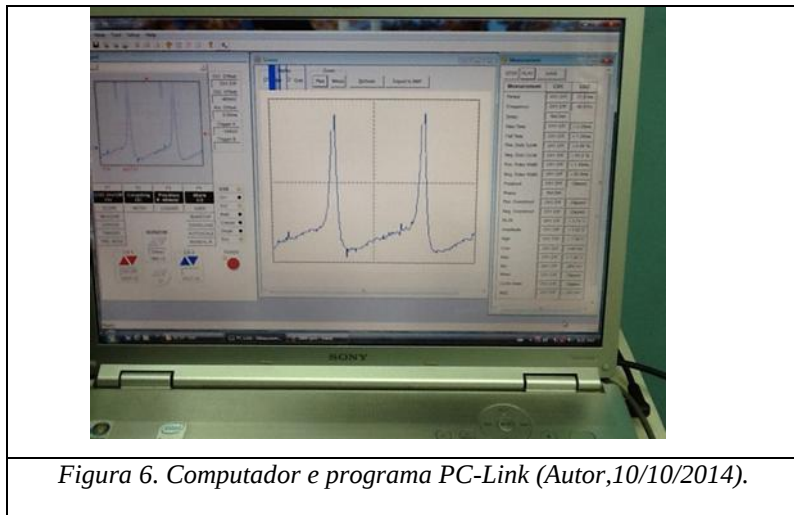


Figura 4. Equipamento – Vela Instrumentada (Autor, 10/10/2014).

Para a leitura e coleta dos dados da obtidos da vela utilizou-se o osciloscópio e computador auxiliar. O configurou-se o osciloscópio conforme manual do aparelho com o intuito de obter o sinal gerado (Figure 5. Osciloscópio. Autor, 2014). O computador além da coleta de dados permite a configuração do osciloscópio de forma simultânea com o auxílio do programa PC link (Figure 6. Programa PC Link. Autor, 2014).



A quarta fase refere-se ao teste em bancada dinamométrica. Este tipo de ensaio consiste em realizar curvas específicas apresentadas pelo motor de combustão interna, os mesmos são obtidos através de equipamentos chamados de dinamômetros, a fim de comprovar as propriedades mensuradas tais como consumo, torque e consumo.

O dinamômetro tem como função medir o torque do motor, através do controle da rotação do motor aplicando um torque externo.

Primeiramente aquecemos o motor (Anexo 3 – Procedimento para aquecimento do motor em dinamômetro) para assegurar as condições de aquecimento, onde às peças do motor estão acomodando-se e atingindo características ideais de trabalho desenvolvido pelo fabricante.

Em seguida padronizou-se um modelo para a realização da curva de desempenho (Anexo 4 – Procedimento para curva de desempenho do motor em dinamômetro) aonde serão coletados dados com o motor em condições de trabalho. Este procedimento é amplamente utilizado pelos fabricantes para desenvolver e calibrar o motor conforme projeto.

A quinta fase refere-se à coleta e análise de dados utilizando ferramentas de edição tais como Microsoft Excel e Word. Os dados serão estruturados em tabelas e demonstrados em forma de gráfico.

Para a descrição dos combustíveis mantivemos as siglas padrões E0-R95 e AEHC E100 para facilitar o reconhecimento do composto, acrescentou-se o termo porcentagem para identificar da quantidade na mistura. As siglas E0 e E100 significa a quantidade AEHC (Álcool Etílico Hidratado Combustível).

3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1 Densidade

A densidade ρ de um material como a relação entre a sua massa e o seu volume (Halliday Fundamentos de Física 2). Analisamos uma pequena porção do material de massa Δm e o volume ΔV e definimos a sua densidade como:

$\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V}$	Eq. 1
------------------------------------	-------

e se este material tiver uma distribuição uniforme de massa, a sua densidade será a mesma em todas as suas partes. Neste caso teremos:

$\rho = \frac{m}{V}$	Eq. 2
----------------------	-------

Onde:

ρ	é a densidade (Kg/L).
m	é a massa (kg).
V	é o volume da câmara de combustão (L).

3.2 Combustíveis

Os combustíveis utilizados nos teste foram E0-R95 e AEHC E100 tem composições químicas diferentes devido a suas origens. O combustível E0-R95 é derivado de compostos fósseis proveniente do processo de destilação do petróleo. O combustível AEHC E100 é derivado de origem vegetal proveniente do processo de destilação da cana-de-açúcar. A combustão de ambos podem apresentam resultados distintos, devido as suas características físico-químicas (Tabela 1).

Combustível	Equação reduzida	PCI (KJ/Kg)	r (Razão Ar/Combust. (em massa))	PCI/r	PCI/r relativo ao iso-octano
Etanol	$\text{CH}_3\text{O}_{0,5}$	26.805	8,99	2.982	1,019
Gasolina C	$\text{CH}_{2,05}\text{O}_{0,07}$	39.205	13,28	2.952	1,007
Gasolina PODIUM	$\text{CH}_{2,15}\text{O}_{0,08}$	39.810	13,38	2.975	1,015
GNV* (Gás natural veicular)	$\text{CH}_{3,76}$	48.296	16,93	2.853	0,973*
*valor comparativo, pois o GNV já está vaporizado. O valor real é um pouco menor					

Tabela 1. Energia por volume de mistura admitida. Adaptado de (Motores de Combustão Interna: volume 1/Franco Brunetti. - São Paulo: Blucher, 2012.).

3.3 Motores de combustão interna

Combustão é o processo químico exotérmico de oxidação de um combustível e para que isso ocorra é necessário que o combustível reaja com o oxigênio do ar e necessita-se de algum agente que provoque essa reação. Denomina-se ignição o processo que provoca o início da combustão.

MIF - Motores de Ignição por faísca ou Otto

Nesses motores, a mistura combustível-ar é admitida, previamente dosada ou formada no interior dos cilindros quando há injeção direta de combustível (GDI) é inflamada por faísca que ocorre entre os eletrodos de uma vela.

Taxa de Compressão MIF	
Combustível	Taxa de compressão
Etanol Hidratado	10.0 : 1 até 14.0 : 1
Gasolina E22	8.5 : 1 até 13.0 : 1

Tabela 2. Taxa de compressão MIF (Motores de Combustão Interna: volume 1/Franco Brunetti. - São Paulo: Blucher, 2012.).

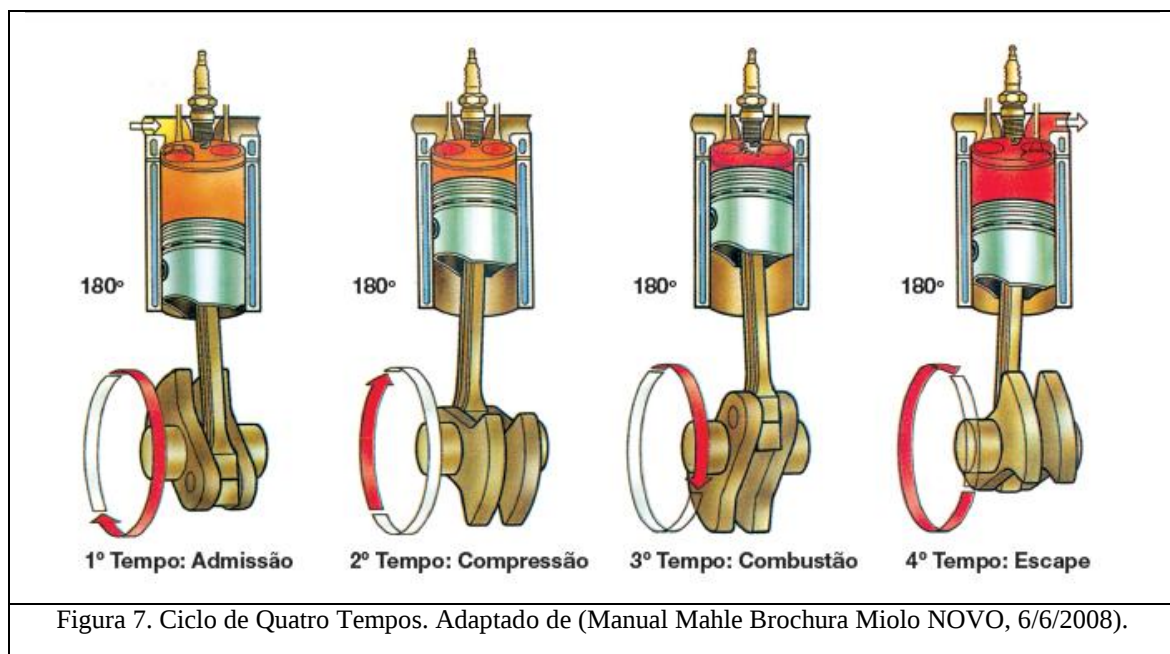
3.3.1 Classificação dos motores alternativos aos números de tempos dos ciclos de operação

Ciclo de operação é a sequência de processos sofridos pelo FA, processos estes que se referem periodicamente para a obtenção de trabalho útil. Entende-se por tempo o curso do pistão, e não se deve confundir tempo com processo, pois, ao longo de um tempo, poderão acontecer diversos processos. Quanto ao número de tempos, os motores alternativos, sejam do tipo MIF ou MIE, são divididos em dois grupos. Para nossa aplicação estudamos o de 4 tempos.

3.3.2 Motores Alternativos á Quatro Tempos (4T)

Neste caso, o pistão percorre quatro cursos, correspondente a duas voltas de manivela do motor, para que seja completado um ciclo (Figura 3 – Ciclo de Quatro Tempos). Os quatro tempos são descritos como:

- 1º Tempo Admissão;
- 2º Tempo Compressão;
- 3º Tempo Expansão;
- 4º Tempo Escape.



A - TEMPO DE ADMISSÃO

O pistão desloca-se do PMS ao PMI. Neste movimento o pistão dá origem a uma sucção (depressão) que causa um fluxo de gases através de válvula admissão VA, que se encontra aberta. O cilindro é preenchido com a mistura combustível - ar ou somente ar nos motores de injeção direta de combustível - GDI - se for de ignição por faísca, ou por ar (apenas ar), nos MIE.

B - TEMPO DE COMPRESSÃO

Fecha-se a válvula de admissão e o pistão se desloca do PMI ao PMS, comprimindo a mistura ou apenas ar, dependendo respectivamente se o motor é um MIF ou MIE. Neste segundo caso a compressão deverá ser suficientemente elevada para que seja ultrapassada a TAI do combustível.

C - TEMPO DE EXPANSÃO

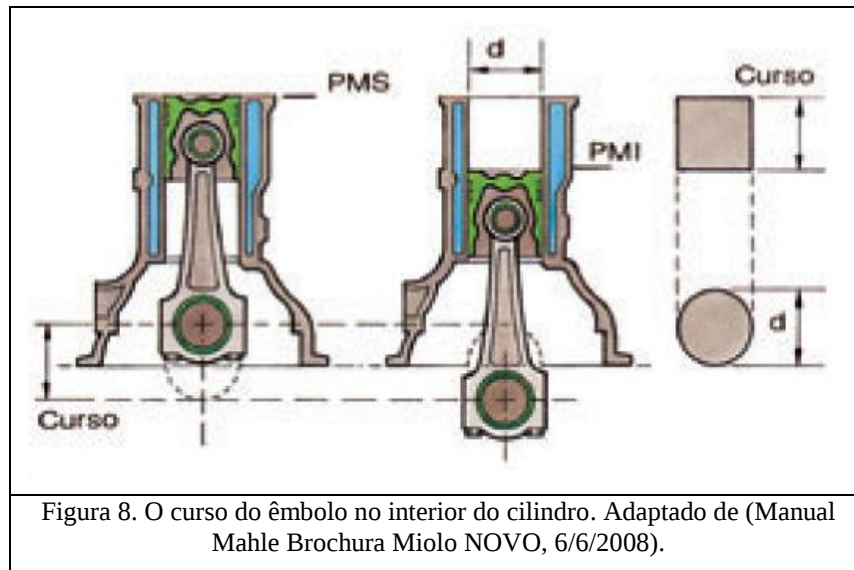
No MIF, nas proximidades do PMS, salta a faísca que provoca a ignição da mistura, enquanto no MIE é injetado o combustível no ar quente, iniciando-se uma combustão espontânea. A combustão provoca um grande aumento da pressão, o que permite "empurrar" o pistão para o PMI, de tal forma que o FA sofre um processo de expansão. Esse é o processo que realiza o trabalho positivo (útil) do motor.

D - TEMPO DE ESCAPE

Com a válvula de escape aberta, o pistão desloca-se do PMI ao PMS, "empurrando" os gases queimados para fora do cilindro, para reiniciar o ciclo pelo tempo de admissão.

3.3.2.1 Curso do Êmbolo

O curso do êmbolo é definido pela distância caracterizada pelo Ponto Morto Superior (PMS) entre Ponto Morto Inferior (PMI) aonde o pistão inverte o sentido de movimento (Figura 4 – O curso do êmbolo no interior do cilindro).



3.3.2.2 Cilindrada Unitária e Total

A cilindrada unitária é definida pelo volume caracterizado pelo diâmetro do êmbolo e curso total deslocado pelo pistão entre o PMI ao PMS multiplicado pelo número de cilindros (**nc**) do motor (Figura 5 – A cilindrada unitária). Considerando para a equação cilindra unitária **nc = 1**.

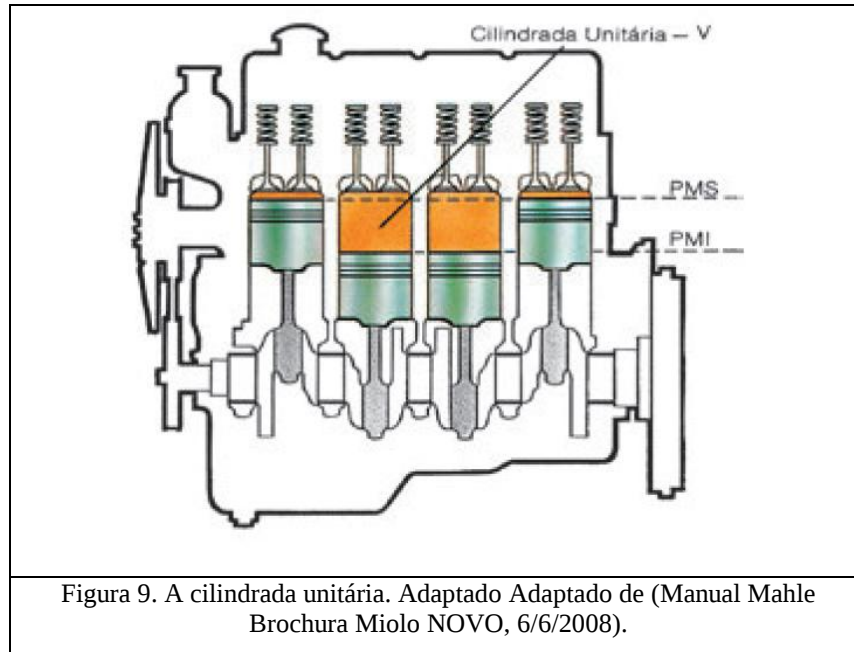
A cilindrada total (**Ct**) é definida pela somatória volumétrica das cilindrada do motor. Considerando para a equação anterior **nc = 4**.

$C_u = \frac{\pi \times D^2 \times h \times nc}{4}$	Eq. 3
---	-------

Onde:

Cu	é a cilindrada unitária do motor (cm³ ; l).
π	é a constante 3,1416.
D	é o diâmetro do êmbolo (mm; cm).
h	é o curso do êmbolo (mm; cm).
nc	é o número de cilindros do motor.
4	é uma constante.

Para a obtenção do cálculo do volume da cilindrada unitária utilizou-se os dados do motor de combustão interna descrito no manual do fabricante.



3.3.2.3 Câmara de Compressão ou de Combustão

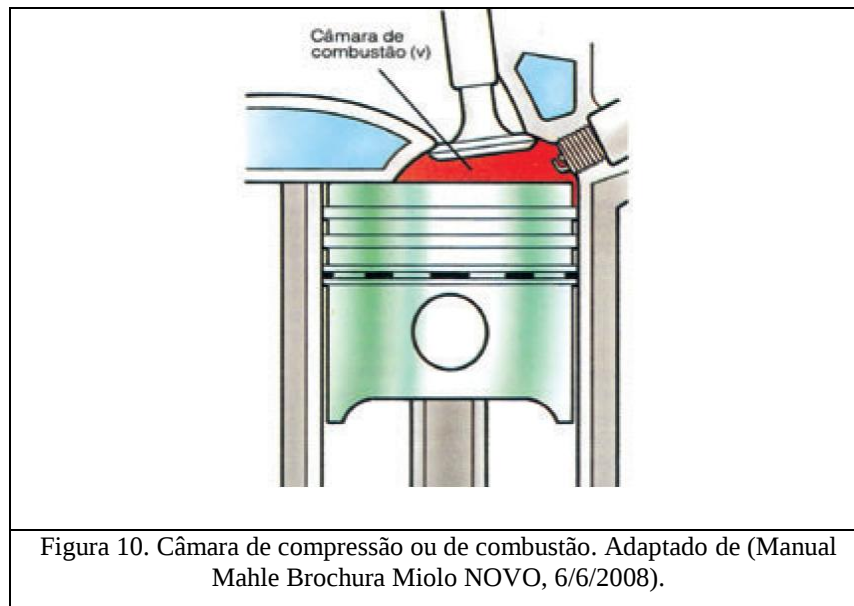
A Câmara de compressão é definida pelo volume localizado no cabeçote ou no pistão (Figura 6 – Câmara de compressão ou de combustão). Para os cálculos de desconsiderou-se o volume morto.

$Trcf = \frac{Cu + Vc}{Vc}$	Eq. 4
-----------------------------	-------

Onde:

Cu	é a cilindrada unitária do motor (cm^3 ; l).
Trcf	é a taxa de compressão real fornecido pelo fabricante (adimensional).
Vc	é o volume da câmara de combustão (cm^3 ; l).

Para a obtenção do cálculo do volume câmara Vc de compressão utilizou-se o resultado do volume da cilindrada unitária. A Taxa de compressão Trcf utilizou-se informação extraída do manual do fabricante.



3.3.2.4 Taxa de Compressão Teórica ou Volumétrica

A taxa de compressão teórica ou volumétrica é caracterizada pela relação entre soma do volume do cilindro e o volume da câmara de combustão por volume da câmara de combustão.

Corresponde à compressibilidade do volume da mistura ar / combustível, aonde o êmbolo realiza o curso deslocando-se do PMI para o PMS diminuindo o volume e consequentemente aumentando a pressão no interior da câmara conforme a relação de compressão.

O resultado da taxa de compressão é expresso na forma de relação. Exemplo: 8:1

Relação da lei de Boyle-Mariotte:

$\frac{V_i}{V_f} = \frac{P_f}{P_i}$	Eq. 5
-------------------------------------	-------

Onde:

Pi	é o pressão inicial (<i>bar</i> ; <i>kgf/cm²</i>).
Pf	é o pressão final (<i>bar</i> ; <i>kgf/cm²</i>).
Vi	é o volume inicial da massa gasosa (<i>cm³</i> ; l).
Vf	é o volume total da câmara de combustão (<i>cm³</i> ; l).

Promovendo a relação com a taxa de compressão teórica com a lei de Boyle-Mariotte, obtemos:

$\frac{V_c + C_u}{V_c} = \frac{P_f}{P_i} = T_{ct}$	Eq. 6
--	-------

Onde:

Cu	é a cilindrada unitária (cm³ ; l).
Tct	é a taxa de compressão teórica (adimensional).
Vc	é o volume da câmara de combustão (cm³ ; l).

3.3.2.5 Taxa de Compressão Real ou Dinâmica

A compressão é definida pela lei de Boyle-Mariote. Contudo nos motores as condições de térmicas variam ao longo do processo de funcionamento.

Para realizar as correções necessárias das fases de combustão conforme a variação de temperatura existente a compressão teórica passará transformações.

Fórmula da taxa de compressão teórica:

$\frac{V_c + C_u}{V_c} = \frac{P_f}{P_i} = T_{ct}$	Eq. 7
--	-------

Em função da pressão final:

$\frac{(V_c + C_u)}{V_c} = T_{ct} \times P_i = P_f$	Eq. 8
---	-------

Inserindo a relação da temperatura inicial absoluta (**Tiabs**) e a temperatura final absoluta (**Tifbs**) na equação, obtemos a taxa de compressão real (dinâmica):

$T_{cr} = \frac{V_c + C_u}{V_c} \times \frac{T_{fabs}}{T_{iabs}}$	Eq. 9
---	-------

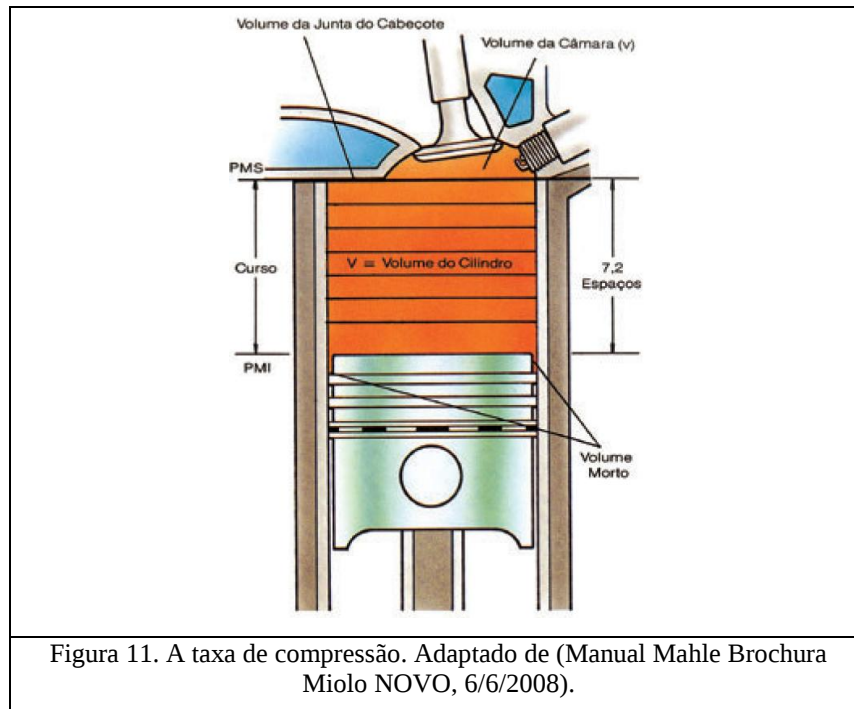
Pode-se definir a equação da taxa de compressão real, como:

$T_{cr} = T_{ctf} \times \frac{T_{fabs}}{T_{iabs}}$	Eq. 10
---	--------

Onde:

Cu	é a cilindrada unitária (cm^3 ; l).
Pi	é o pressão inicial (<i>bar</i> ; kgf/cm^2).
Pf	é o pressão final (<i>bar</i> ; kgf/cm^2).
Pfd	é a pressão final dinâmica (<i>bar</i> ; kgf/cm^2).
Tcr	é a taxa de compressão real (adimensional).
Trcf	é a taxa de compressão real fornecido pelo fabricante (adimensional).
Tct	é a taxa de compressão teórica (adimensional).
Ti	é a temperatura inicial ($^{\circ}\text{C}$).
Tf	é a temperatura final absoluta ($^{\circ}\text{C}$).
Tiabs	é a temperatura inicial absoluta (K).
Tfabs	é a temperatura final absoluta (K).
Vc	é o volume da câmara de combustão (cm^3 ; l).

A figura 10 representa a divisão por partes da taxa compressão.



3.4 Ignição

Quando a mistura ar/combustível é comprimida no interior do motor sua ignição não ocorre espontaneamente, é necessária a geração de uma centelha para que esta combustão ocorra.

Esta centelha é fornecida pela vela de ignição que é um dos componentes constantes no sistema de ignição de um veículo.

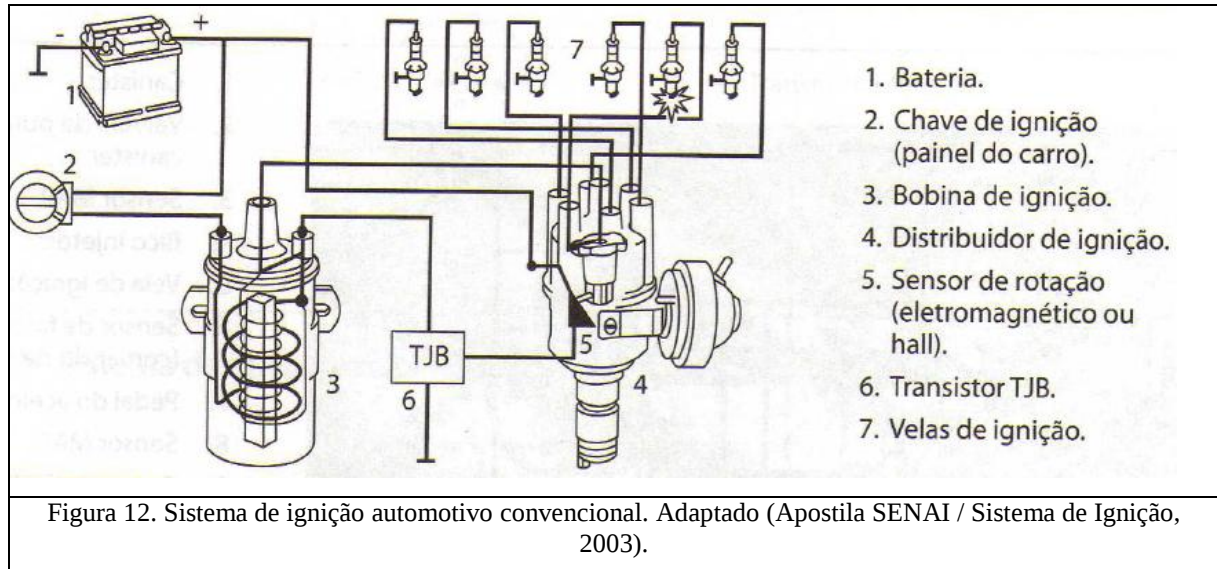
O sistema de ignição é responsável por coordenar todo o processo de combustão do veículo, este sistema é composto basicamente de bateria, chave de ignição, bobina de ignição, distribuidor de ignição condensador, platinado e velas de ignição (Figure 11. Sistema de ignição automotivo convencional).

Para que a combustão ocorra de maneira eficiente é necessário que a tensão recebida da bateria, seja elevada de tal maneira que seja possível a geração desta centelha, a tensão recebida da bateria é de 12V, para que ocorra a centelha esta tensão deve estar em uma faixa de 5kV a 20kV esta elevação de tensão é possível graças a bobina de ignição.

Além disso, esta centelha deve ser distribuída de maneira uniforme e cadenciada segundo o ciclo do motor em cada um dos cilindros, e o sistema de ignição deve automaticamente ajustar o avanço ou atraso na geração desta centelha, aproveitando ao máximo o trabalho do motor.

Após a elevação da tensão e a geração da centelha, é necessário que esta seja distribuída de maneira correta, o componente responsável por isso é o distribuidor.

Componentes de um sistema de ignição Convencional.



Princípio de funcionamento

O sistema de ignição disponibiliza uma tensão elevada para as velas de ignição, combinando 3 fatores, são eles: uma alta tensão elétrica(gerada pela bobina de ignição), um chaveamento dessa alta tensão em função da alta rotação do motor (gerado pelo platinado) e uma distribuição dessa alta tensão para as velas de ignição, este sequenciamento dão origem á ignição do motor.

O ciclo do motor inicia-se com a admissão da mistura ar-combustível, passando para a etapa de compressão, seguida da expansão e encerrando-se com a exaustão.

No momento da combustão da mistura, a temperatura pode chegar a valores entre 2000°C a 3000°C e uma pressão de aproximadamente 50kgf/cm². No instante seguinte, ocorre a exaustão do gás de escape (em alta temperatura) e com a nova mistura injetada, a temperatura chega a 60°C e a pressão reduzida até se equivaler a do ambiente externo.

Componente	Temperatura máxima (°C)
Câmara de combustão (Cabeçote do motor e parte do cilindro)	300
Válvula de escape	600 ~800
Assento da válvula de escape	300 ~400
Válvula de injeção	350 ~400
Parede do Cilindro	110 ~120
Cabeça do Pistão (liga)	300 ~350
Saia do Pistão (liga)	130 ~300
Vela (ponto ignífera)	800
Assento da vela	150

Tabela 3. Taxa de compressão MIF (Motores de Combustão Interna: volume 1/Franco Brunetti. - São Paulo: Blucher, 2012.).

Devido à característica físico-química do combustível existe um período para a queima do combustível chamado de retardamento químico. Este efeito ocorre no processo de combustão da mistura ar/combustível e este retardamento é importante que haja a liberação da faísca no momento adequado pelo sistema de ignição antecipando à chegada do pistão, para com isso finalizar a etapa de compressão.

Com esta antecipação é possível que a combustão ocorra de maneira completa, permitindo que se atinja a máxima pressão no cilindro no instante em que o pistão inicia a terceira etapa que é a expansão.

Apesar da necessidade de se controlar a ignição, causando um atraso ou adiantamento da faísca, é importante que estes processos sejam sempre aproveitados da melhor maneira, pois, quando a faísca ocorre de maneira muito atrasada em relação ao ponto ideal provocará um trabalho positivo muito pequeno, por outro lado, se o sistema de ignição se antecipar e a faísca por ser gerada muito antecipadamente em relação ao ideal causará um trabalho negativo grande e pode provocar uma detonação no interior da câmara de combustão.

Com tudo isso conclui-se que com o aumento da rotação do motor, torna-se necessário promover o avanço da ignição. Além disso, quando o motor trabalha em regime de mistura pobre (baixa carga do motor), a velocidade de propagação da chama é menor, exigindo também um maior avanço da ignição.

O avanço da ignição está diretamente ligada à duas variáveis: a rotação do motor e a carga exigida.

3.5 Combustão nos Motores Alternativos

3.5.1 Pressão

A pressão mede a relação entre a força aplicada a uma superfície e o tamanho da superfície considerada (Halliday Fundamentos de Física 2).

Seja a ΔF força que está sendo aplicada em êmbolo de superfície ΔA . A pressão p que está exercendo no êmbolo é definida como:

$p = \frac{\Delta F}{\Delta A}$	Eq. 11
---------------------------------	--------

A pressão é definida para razão entre a força por área.

$p = \frac{dF}{dA}$	Eq. 12
---------------------	--------

Onde:

A	é a área (m^2).
F	é a força (N).
P	é a pressão (N/m^2).

3.5.2 Combustão Normal

Nos motores carburados ou com injeção, os cilindros são alimentados durante o tempo de admissão com uma mistura combustível-ar previamente dosada. Nesses tipos de motores, a mistura é comprimida e durante esse processo promove-se a vaporização e homogeneização do combustível com o ar (no caso do combustível líquido). Nos Motores com injeção direta de combustível, a admissão é realizada diretamente no interior dos cilindros, e dependendo da estratégia de formação de mistura buscada, o evento de injeção pode se dar já no tempo de admissão ou durante o tempo de compressão.

Em quaisquer das duas versões de motor, quando o pistão aproxima-se do PMS, ocorre uma faísca entre os eletrodos da vela. Esta provoca o início das reações de oxidação do

combustível, que inicialmente ocupam um volume muito pequeno em volta da vela, com um aumento da temperatura muito localizado e um crescimento desprezível da pressão.

A partir desse núcleo inicial, a combustão vai se propagando e, quando os compostos preliminares atingem certa concentração, a liberação de calor já é suficientemente intensa para provocar reações de oxidação em cadeia, isto é, a propagação da chama.

Notamos que a combustão no cilindro apresenta uma primeira fase, durante a qual não se registra aumento na pressão. Essa fase, necessária ao desenvolvimento de reações preliminares junto à vela, denomina-se “retardamento químico da combustão” ou “atraso de ignição”. São os instantes iniciais da formação do núcleo, algumas vezes caracteriza dos pela duração de queima de 1 a 10% da massa contida no interior do cilindro.

O tempo durante o qual acontece o retardamento é um dos responsáveis pela necessidade do avanço da faísca em relação ao PMS.

Com o avanço da faísca em relação ao PMS, a combustão propaga-se na câmara através de uma frente de chama, deixando para trás gases queimados e tendo à frente mistura ainda não queimada. Essa segunda fase de combustão é denominada de “combustão normal” e termina, basicamente, quando a frente de chama atinge as paredes da câmara de combustão.

Pode ser reconhecida uma terceira fase durante a qual se processa a combustão esparsa de combustível ainda não queimado.

A fim de se minimizar o trabalho negativo, é desejável que a máxima pressão provocada pela combustão venha acontecer quando o pistão se encontra no tempo de expansão, ainda muito próximo do PMS. Como a combustão não ocorre instantaneamente, demandando um tempo finito que inclui o atraso de ignição, a propagação da chama (combustão normal) e a extinção desta (combustão esparsa) é essencial que o início da combustão aconteça suficientemente cedo para que o pico de pressão ocorra no ponto ótimo, razão pela qual é necessário o avanço da faísca em relação ao PMS.

O retardamento da combustão e a propagação da chama podem ser visualizados, indiretamente, pela evolução da variação da pressão do motor, ampliado na região da combustão conforme (figura 12, 13 e 14).

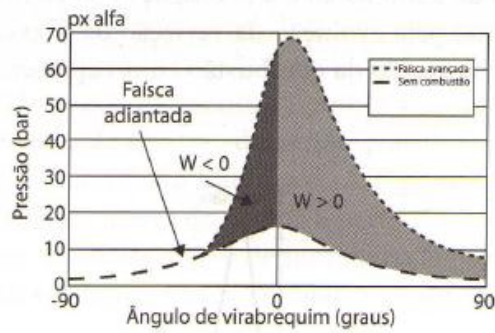


Figura 13. Faísca muito adiantada provocando um trabalho negativo considerável e um gradiente acentuado de pressão (Motores de Combustão Interna: volume 1/Franco Brunetti. - São Paulo: Blucher, 2012.).

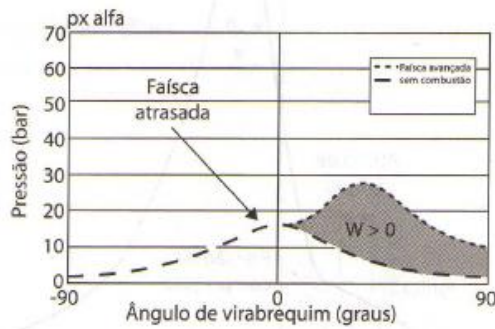


Figura 14. Faísca muito atrasada provocando um pequeno trabalho positivo (Motores de Combustão Interna: volume 1/Franco Brunetti. - São Paulo: Blucher, 2012.).

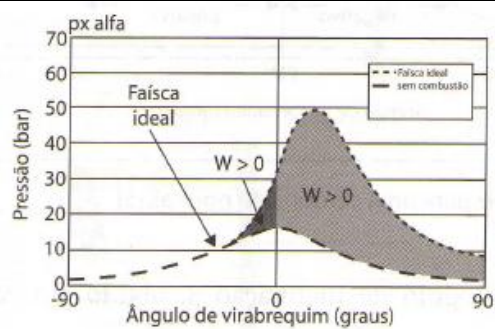


Figura 15. Faísca em instante ideal (Motores de Combustão Interna: volume 1/Franco Brunetti. - São Paulo: Blucher, 2012.).

Para a obtenção dos valores da vela instrumentada utilizou-se os fatores de conversão conforme os dados disponibilizados pelo fabricante da vela. Segue as formulas abaixo.

Fator 1 de conversão:

$Fator\ 1 = \frac{Sinal\ tensão}{0,5}$	Eq. 13
--	--------

Onde:

Fator 1	é o fator de conversão (<i>mv/picocolumb</i>).
Sinal tensão	é o sinal de tensão obtido do osciloscópio (mV).

Fator 2 de conversão:

$Fator\ 2 = \frac{Fator\ 1}{7,55}$	Eq. 14
------------------------------------	--------

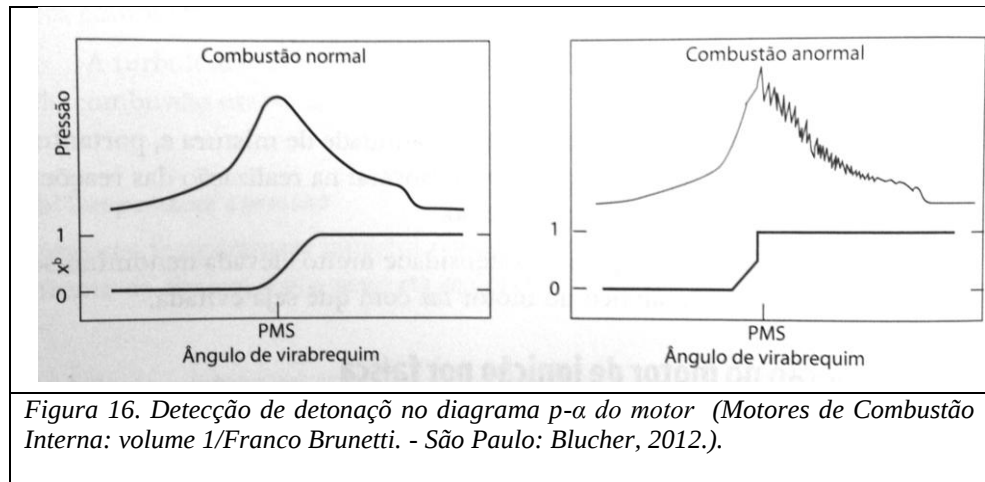
Onde:

Fator 2	é o fator de conversão (<i>bar</i>).
Fator 1	é o sinal de tensão obtido do osciloscópio (<i>mv/picocolumb</i>).

3.5.3 Detonação no Motor de Ignição por Faísca

A detonação é uma autoignição da mistura não queimada na câmara da combustão. Devido o avanço da chama principal proveniente da vela de ignição, a mistura que ainda não queimou reage com a frente de chama ocasionando reação de compressão e aquecimento, com geração de ondas de choque.

Fatores que aumentem a temperatura e pressão no interior da câmara de combustão tendem a favorecer a ocorrência da detonação.



3.6 Dinamômetro

Para estudarmos as características específicas apresentadas pelo motor de combustão interna, realizou-se ensaios dinamométricos. Esses ensaios são realizados mediante ao equipamento chamado de dinamômetro, a fim de comprovar as propriedades mensuradas tais como consumo, torque e consumo.

O dinamômetro tem como função medir o torque do motor, através do controle da rotação do motor aplicando um torque externo (Figura 16. Laboratório de Ensaio Dinamométricos).

O torque do motor é o esforço de torção médio exercido sobre a árvore de manivelas, através da força devido à combustão recebida dos êmbolos. Essa torção é destinada a movimentar o motor. O torque é calculado multiplicando-se a força tangencial exercida no contato entre o moente da árvore de manivelas e a biela pela distância do braço da manivela (Senai - Ipiranga: 2003).



3.6.1 Dinamômetro de correntes de Foucault (Parasitas)

É constituído por um motor acionado pelo motor em prova, girando imerso em um campo magnético. A intensidade do campo é controlada através de uma bobina alimentada por corrente contínua, podendo-se, assim, variar a carga aplicada. Em um circuito de arrefecimento, a água dissipa o calor gerado pelas correntes parasitas.

Como nos demais dinamômetros, o esforço que tende a transmitir movimento à carcaça é medido, e então podem obter os valores de potência e torque. (Senai - Ipiranga: 2003).

3.6.2 Principais cálculos obtidos em ensaios dinamométricos

3.6.2.1 Potência Efetiva

A potência consiste na capacidade de um sistema absorver ou produzir energia. Sendo a razão entre a energia e o intervalo de tempo (Halliday).

Fórmula da potência do motor de combustão interna:

$N = \frac{2 \times \pi \times F \times R \times n}{60 \times 1000}$	Eq. 15
--	--------

Simplificando a fórmula:

$N = 0,00010472 \times F \times R \times n$	Eq. 16
---	--------

ou:

$N = 0,00010472 \times T_m \times n$	Eq. 17
--------------------------------------	--------

Onde:

F	é a força (<i>N</i>).
n	é a rotação por minuto do motor (<i>rpm</i>).
R	é a distancia do braço do dinamômetro (<i>m</i>).
N	é a potencia do motor (<i>KW</i>).
Tm	é o toque obtido através do dinamômetro (<i>Nm</i>).
π	é a constante 3,1416.

3.6.2.2 Relação Lambda (λ) ou fração relativa ar/combustível

A relação Lambda(λ) é a relação entre as relações ar/combustível reais e as relações ar/combustível ideais ou estequiométricas, ou seja:

Onde:

Lambda(λ) é a fração relativa Ar/ Combustível (adimensional)

Observação:

- A. Quando Lambda(λ) = 1000 mistura denomina-se estequiométrica
- B. Quando Lambda(λ) > 1000 mistura denomina-se pobre
- C. Quando Lambda(λ) < 1000 mistura denomina-se rica

A/F real é a relação ar/combustível real do motor (adimensional).

A/F ideal é a relação ar/combustível estequiométrica do motor, ou seja, a quantidade de ar fornecido é exatamente a quantidade necessária para a queima total do combustível (relação teórica).

Fórmula do lambda:

$\text{Lambda}(\lambda) = \frac{A/F \text{ real}}{A/F \text{ ideal}}$	Eq. 18
---	--------

Onde:

Lambda	é a relação estequiométrica (λ).
A/F real	é a relação ar/combustível real (admissional).
A/F ideal	é a relação ar/combustível ideal (admissional).

3.6.2.3 PME (Pressão Média Efetiva)

A Pressão Média Efetiva é definida como sendo uma pressão que aplica constantemente na cabeça do pistão ao longo do curso de expansão, produzida o mesmo trabalho do ciclo (Brunetti). Essa variável é expressiva para avaliar a eficiência do motor com relação aproveitamento da sua cilindrada e utilizada para a comparação de motores. Em princípio motores com grandes cilindradas apresentam maior trabalho, enquanto motores menores em menor quantidade. Para motores com desempenho semelhante devem produzir pressões equivalentes.

O torque é proporcional ao PME, ou seja, tem-se MPE máximo na condição de Torque máximo. O desenvolvimento de motores visa à busca por pressões médias compatíveis para obter um elevado desempenho e uma vida longa para o motor conforme sua aplicação e padrões técnicos estabelecidos.

Fórmula do PME:

$P_{me} = \frac{i \times 60 \times 100 \times T_m}{C_t \times 9,807 \times 9549,3}$	Eq. 19
---	--------

Onde:

C_t	é a cilindrada total do motor (cm^3 ; l).
i	é o índice definido em função do tempo do motor, i=2 para motores a 4 tempos.
T_m	é o torque do motor (Nm).

3.6.2.4 Débito

O débito é o calculo de teórico do volume de combustível por injeção. É empregado para analisar a quantidade combustível injetada conforme o seu consumo e sua densidade, uma vez que a densidade é alterada devido à composição química do combustível. Essa alteração pode ser observada quando utilizam-se misturas de combustíveis distintos como a gasolina e o etanol. O debito de combustível pode ser utilizado como parâmetro para desenvolvimento de bicos injetores para obter a otimização na injeção de combustível.

Fórmula do debito:

$Deb = \frac{CC \times 1000000}{30 \times \rho C \times n \times nc}$	Eq. 20
---	--------

Onde:

CC	é o consumo de combustível (Kg/h).
Deb	é o volume de combustível por injeção (mm^3/inj).
ρC	é a densidade do combustível (Kg/L).
n	é a rotação por minuto do motor (rpm).
nc	é o número de cilindros do motor.

3.6.2.5 Consumo Específico de Combustível

O Consumo Específico de Combustível é o consumo horário da menor quantidade de massa de combustível necessária para gerar uma unidade de potência. Este parâmetro é utilizado como índice de eficiência do motor quando o mesmo está realizando trabalho útil através da transformação da energia química proveniente da combustão do combustível em energia mecânica.

Conhecendo a potência gerada para uma determinada condição de rotação e a massa de combustível consumida, pode-se determinar o consumo especifico de combustível (Equação 21). Este cálculo é utilizado para analisar o nível de economia de consumo do combustível.

Fórmula do Consumo Específico de Combustível:

$CEC = \frac{CC \times 1000}{N_{corr}}$	Eq. 21
---	--------

Onde:

CEC	é o consumo específico de combustível (g/KWh).
CC	é o consumo de combustível (Kg/h).
Ncorr	é a potencia do motor corrigida (KW).

3.6.2.6 Calculo do fator de correção para motores ciclo Otto

Para manter uma relação da mistura ar/combustível aproximadamente constante nas mudanças ambientais a ABNT através da norma NBR ISO 1585/96, solicita para os ensaios dinamométricos o uso de equipamentos capazes de mensurar grandezas físicas ambientais cuja são: temperatura do ar, pressão atmosférica e umidade do ar. Com esses parâmetros é possível calcular um fator de correção, que por sua vez será utilizado na obtenção dos dados corrigidos.

Este é o fator pelo qual a potência observada deve ser multiplicado para determinar a potencia dos motores de ignição por centelha. Está equação se aplica a motores onde o sistema de controle é projetado para manter uma relação de ar combustível aproximadamente constante nas mudanças ambientais (NBR ISO 1585/96).

Fórmulas correlacionadas com o fator de correção:

$P_{sat} = 10^{\left[a \times \left(\frac{373,16}{T_H + 273} - 1 \right) + b \times \left(\frac{373,16}{T_H + 273} \right) + c \times \left\{ 10^{\left[d \times \left(1 - \frac{T_H + 273}{373,16} \right) \right] - 1} \right\} + e \times \left\{ 10^{\left[f \times \left(\frac{373,16}{T_H + 273} - 1 \right) \right] - 1} \right\} + \log(ews) \right]}$	Eq. 22
---	--------

$P_{as} = P_{atm} - \left(\frac{U_r \times P_{sat}}{100} \right)$	Eq. 23
--	--------

Fórmula do fator de correção:

$F_c = \left(\frac{99}{P_{as}} \right)^{1,2} \times \left(\frac{T_H}{298} \right)^{0,6}$	Eq. 24
--	--------

Onde:

F_c	é o fator de correção (adimensional).
U_r	é a umidade relativa do ar de admissão (%).
T_H	é a temperatura do ar de admissão (°C).
P_{as}	é a pressão do ar seco (kPa).
P_{atm}	é a pressão atmosférica local (kPa).
P_{sat}	é a pressão do ar saturado (kPa).
a	-7,90298
b	5,02808
c	-0,00000013816
d	11,344
e	0,0081328
f	-3,49149
e_{ws}	Pressão de Saturação da água pura (mbar). Considerada constante, igual a 1013,256 na condição de temperatura absoluta da água em 373,16 Kelvin (T _{BU}).

4 RESULTADO

Este capítulo apresenta os resultados obtidos neste trabalho. Inicialmente demonstra as condições dos testes realizados, aonde avaliou se o comportamento do motor de combustão interna em testes dinamométricos.

4.1 Cálculos para análise das características do motor.

Para a obtenção do calculo do volume da cilindrada unitária utilizou-se os dados do motor de combustão interna descrito no manual do fabricante.

Dados: $D = 8,05 \text{ cm}^3$; $h = 7,55 \text{ cm}^3$; $nc = 1$; Resolução: $Cu = \frac{\pi \times (8,05)^2 \times 7,55 \times 1}{4}$ $Cu = 384,26 \text{ cm}^3$	Cálculo. 1
--	------------

Conforme os calculo realizado obteve-se com cilindrada unitária o resultado de $Cu = 384,26 \text{ cm}^3$.

Para a obtenção do calculo do volume da cilindrada total utilizou-se o resultado do volume da cilindrada unitária.

Dados: $D = 8,05 \text{ cm}^3$; $h = 7,55 \text{ cm}^3$; $nc = 4$; Resolução: $Ct = \frac{\pi \times (8,05)^2 \times 7,55 \times 4}{4}$ $Ct = 1537,05 \text{ cm}^3$	Cálculo. 2
---	------------

Conforme os cálculos realizados obteve-se com cilindrada total o resultado de **$Ct = 1537,05 \text{ cm}^3$** .

Para a obtenção do cálculo do volume câmara V_c de compressão utilizou-se o resultado do volume da cilindrada unitária. A Taxa de compressão $Trcf$ utilizou-se informação extraída do manual do fabricante.

Dados: $Trcf = 12,50 : 1$; $Cu = 384,26 \text{ cm}^3$; Resolução: $Trcf = \frac{Cu + Vc}{Vc}$ $Vc = \frac{Cu}{\varepsilon - 1}$ $Vc = \frac{384,26}{(12,50 - 1)}$ $Vc = 33,41 \text{ cm}^3$	Cálculo. 3
--	------------

Conforme os cálculos realizados obteve-se o volume da câmara de combustão o resultado de **$Vc = 33,41 \text{ cm}^3$** .

No ensaio obteve-se a temperatura da entrada de ar na admissão e no escapamento para calcular a taxa de compressão real. Em seguida realizou-se a inserção dos dados obtidos no ensaio no cálculo 4.

Dados: $Trcf = 12,50$; $Cu = 384,26 \text{ cm}^3$; $Tf = 77,63 \text{ }^\circ\text{C}$; $Ti = 24,42 \text{ }^\circ\text{C}$; $Tfabs = Tf + 273,15$ $Tiabs = Ti + 273,15$ Resolução: $Trc = \frac{12,50 \times (77,63 + 273,15)}{(24,42 + 273,15)}$ $Trc = 14,73$ $Trc = 14,73 : 1$	Cálculo. 4
--	------------

4.2 Resultado das Misturas de Combustíveis

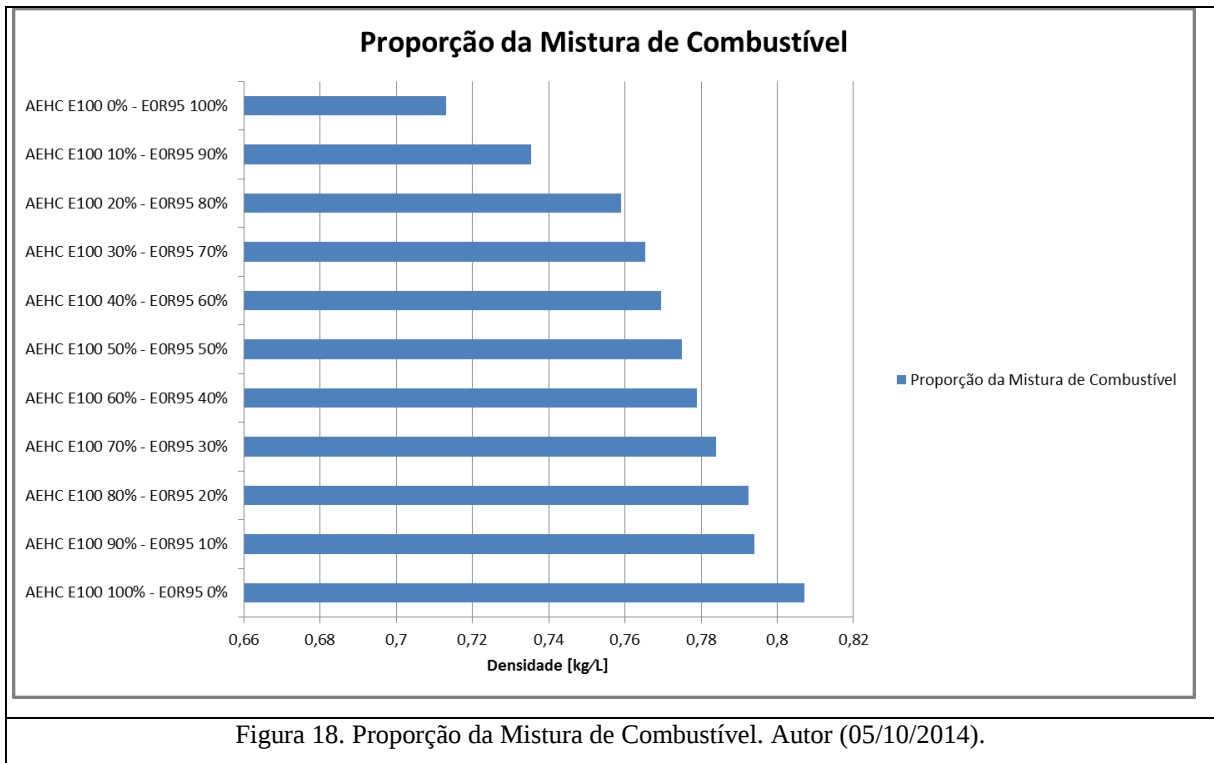
Conforme os estudos que antecederam os ensaios para a obtenção das amostras de combustíveis, pode-se constatar a variação da densidade das amostras conforme a proporção da mistura dos combustíveis entre E0-R95 e AEHC E100 (Tabela 4. Proporção da Mistura de Combustível), devido à composição química dos compostos.

Mensurou-se a temperatura no momento da realização dos ensaios, contudo a temperatura não está sendo utilizada para corrigir os valores de densidades coletados nas amostras.

Entre as amostras de E0-R95 0% - AEHC E100 100% até a E0-R95 80% - AEHC E100 20% apresentou baixas variações.

Nº Amostras	Proporção da mistura de combustível		Densidade (kg/L)	Temperatura (°C)
	AEHCE100	E0-R95		
1	100	0	0,8070	17,50
2	90	10	0,7940	17,50
3	80	20	0,7925	16,50
4	70	30	0,7840	17,50
5	60	40	0,7790	16,50
6	50	50	0,7750	16,75
7	40	60	0,7695	15,00
8	30	70	0,7630	15,80
9	20	80	0,7590	16,00
10	10	90	0,7358	16,50
11	0	100	0,7130	16,50
Obs. Volume da amostra é de 200ml.				

Tabela 4. *Proporção da Mistura de Combustível. Autor (05/10/2014).*



4.3 Resultado Compressão do Cilindro

Conforme os estudos realizados, faz-se necessário avaliar a compressão do cilindro do motor para constatar se os componentes internos estão apresentando a vedação adequada. Caso haja alguma anomalia pode afetar no desempenho do motor e nos dados coletados através da vela instrumentada.

Realizou-se o ensaio de compressão do cilindro (5.1 Anexo 2 – Procedimento para o processo de compressão do cilindro) seguindo o procedimento e obteve os seguintes resultados conforme (Tabela 5. Tabela dos valores de compressão do cilindro. Autor.).

	Nº Medições (-)	Resultados (psi)
	1	240
	2	240
	3	235

Tabela 5. Tabela dos valores de compressão do cilindro. Autor.

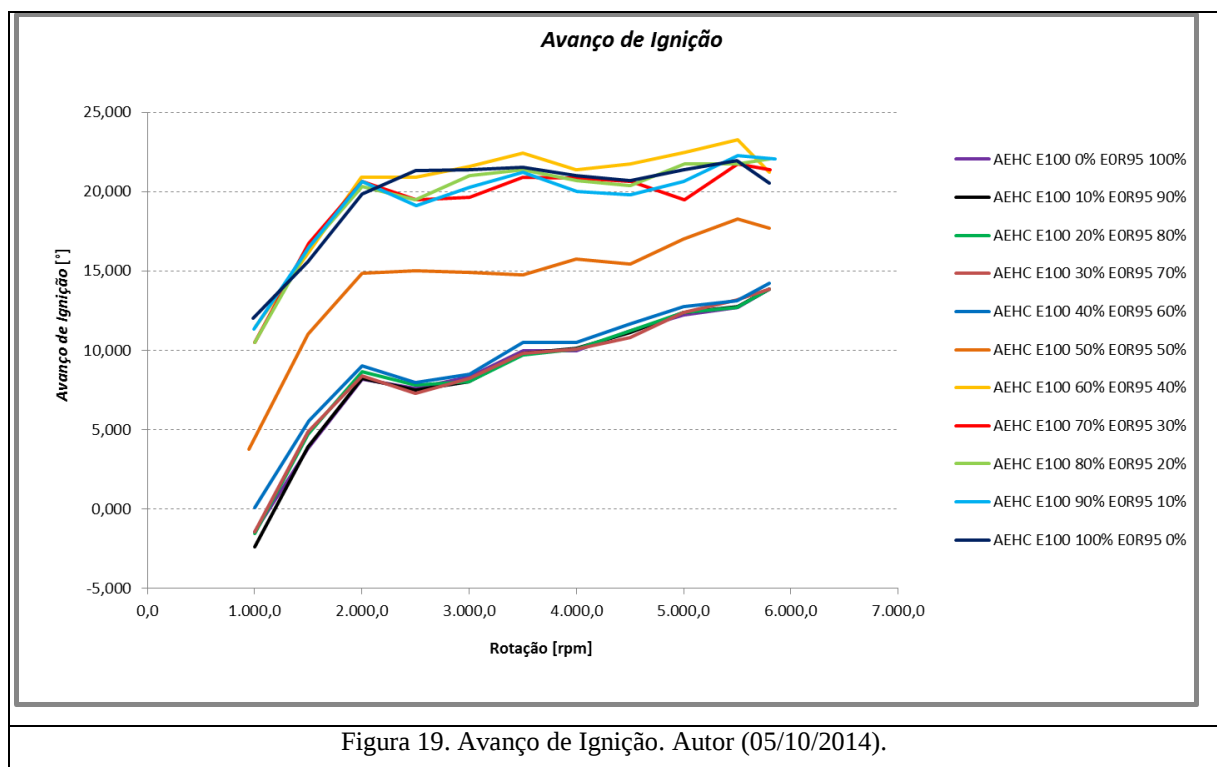
Os resultados obtidos do ensaio estão conforme o manual do fabricante que indica 250 psi. Após a realização do teste instalou-se a vela instrumentada para realizar a próxima etapa.

4.4 Resultado da Pressão de Combustão

Conforme os estudos realizados, constatou-se ao longo do ensaio a influencia da variação da ignição no processo de combustão. O motor apresentou a 3 condições distintas usado pela calibração para realizar o avanço de ignição. Divididas em 3 partes, a primeira parte da mistura de AEHC E100 0% - E0-R95 100% até a AEHC E100 40% - E0-R95 60% comportaram-se forma semelhante entre si, ou seja, a calibração utilizada apresentou avanços de ignição semelhantes, conforme a Figura 18. Avanço de Ignição em condições normais de funcionamento.

A segunda parte da mistura de AEHC E100 60% - E0-R95 0% apresentou de distinta das demais amostras, comportaram-se forma semelhante entre si, ou seja a calibração utilizada apresentou avanços de ignição semelhantes, conforme a Figura 18. Avanço de Ignição em condições normais de funcionamento.

A terceira parte da mistura de AEHC E100 40% - E0-R95 60% apresentou de distinta das demais amostras, ou seja, a calibração utilizada apresentou avanços de ignição semelhantes, como pode ser observado na Figura 18 (Avanço de Ignição) em condições normais de funcionamento.



Para analisar o resultado dessas variações de ignição utilizou-se o equipamento chamado de vela instrumentada para mensurar a pressão no interior do cilindro com o auxílio de um osciloscópio e software de aquisição dos dados.

As imagens da compressão do cilindro na condição de 1000 rpm em comparação para as amostra ensaiadas, abaixo apresentaram anomalias na combustão para as proporções com maior concentração de E0-R95 (Figura 19. 1000 rpm – AEHC E100 0% / E0-R95 100%), enquanto que para o álcool a curva de pressão apresentou uniformidade. A anomalia atenuou-se a partir AEHC E100 60% - E0-R95 40% quando iniciou o aumento da proporção de AEHC E100 (Figure 25. 1000 rpm – AEHC E100 60% / E0-R95 40%).

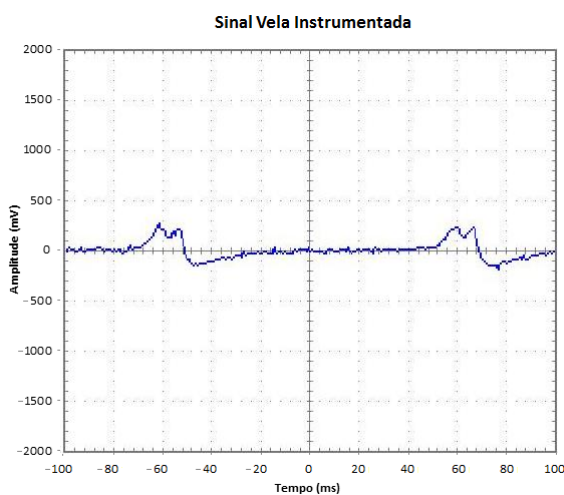


Figura 20. 1000 rpm – AEHC E100 0% / E0-R95 100% .

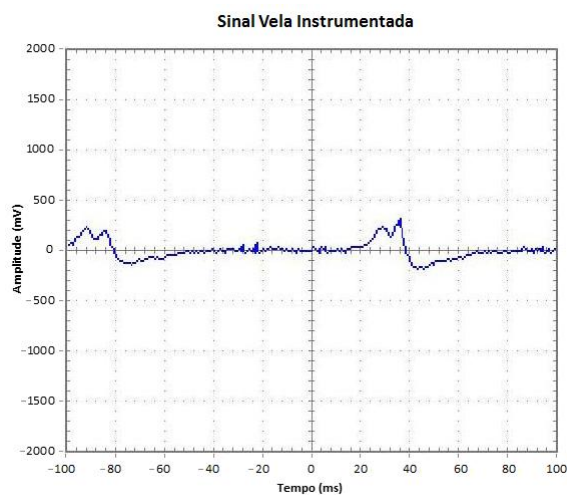


Figura 21. 1000 rpm – AEHC E100 10% / E0-R95 90%.

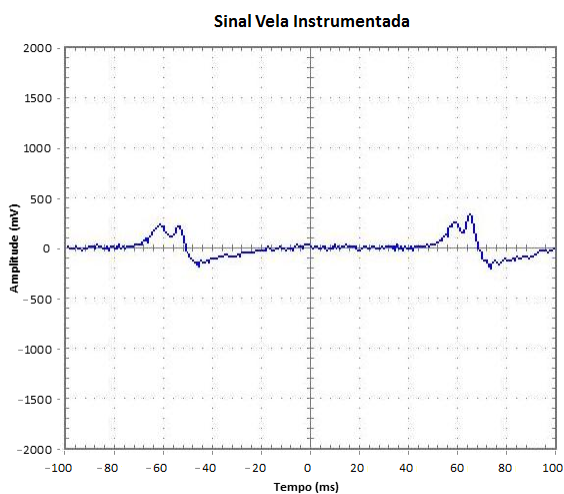


Figura 22. 1000 rpm – AEHC E100 20% / E0-R95 80%.

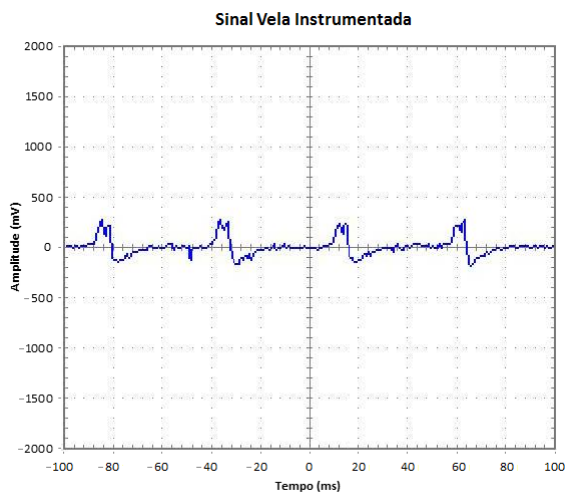


Figura 23. 1000 rpm – AEHC E100 30% / E0-R95 70%.

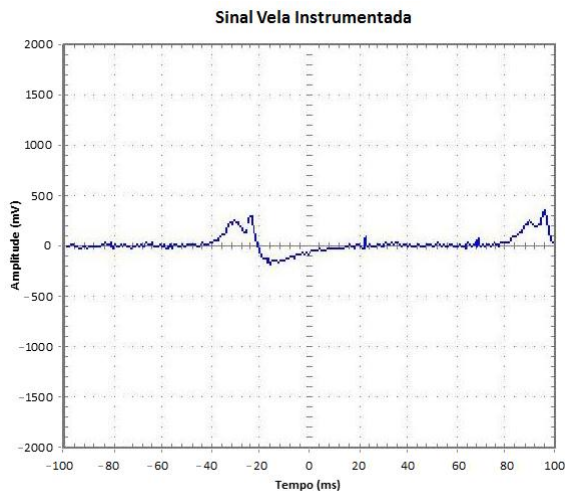


Figura 24. 1000 rpm – AEHC E100 40% / E0-R95 60%.

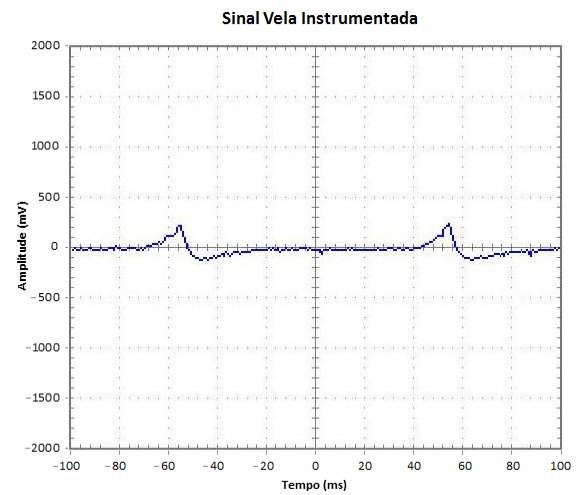


Figura 25. 1000 rpm – AEHC E100 50% / E0-R95 50%.

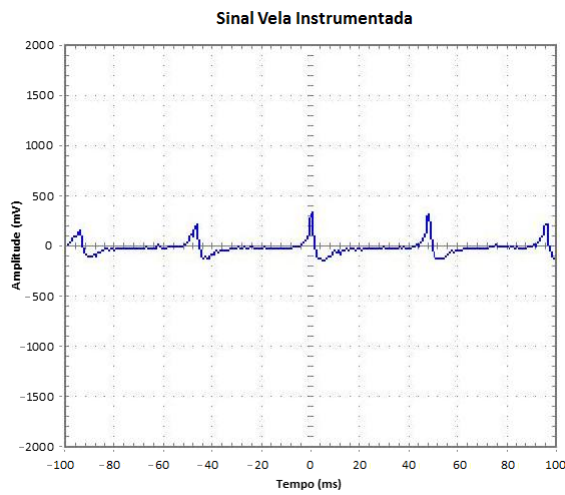


Figura 26. 1000 rpm – AEHC E100 60% / E0-R95 40%.

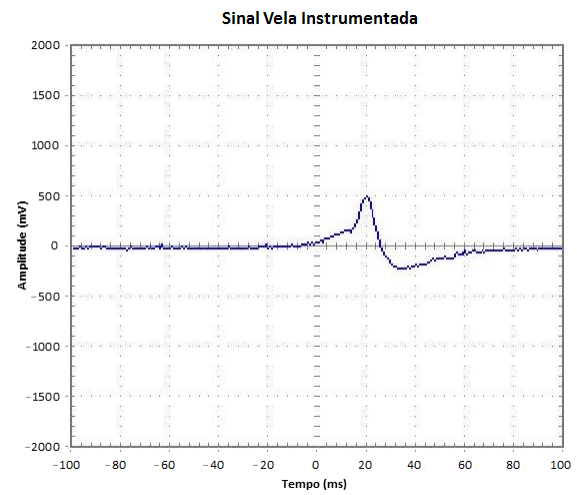


Figura 27. 1000 rpm – AEHC E100 70% / E0-R95 30%.

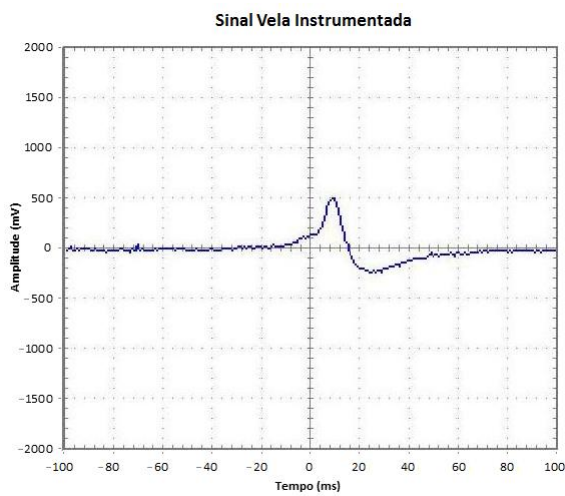


Figura 28. 1000 rpm – AEHC E100 80% / E0-R95 20%.

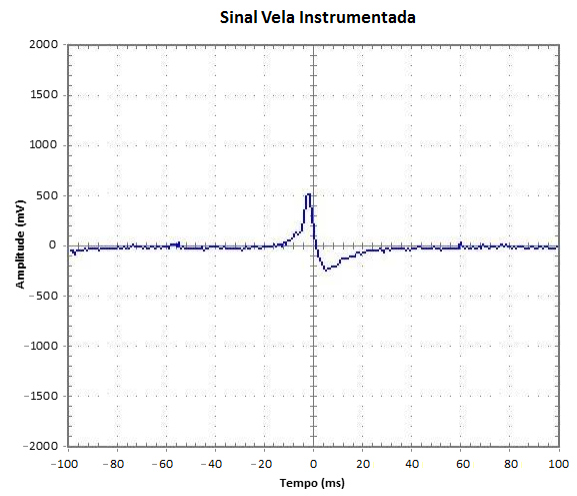


Figura 29. 1000 rpm – AEHC E100 90% / E0-R95 10%.

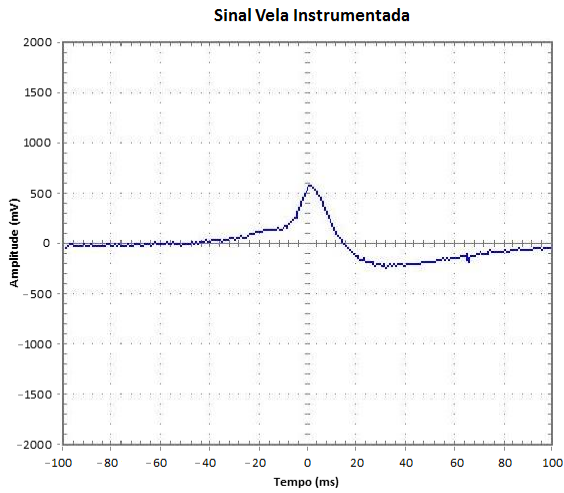


Figura 30. 1000 rpm – AEHC E100 100% / E0-R95 0%.

Em condições de rotação 5500 rpm os sinais da combustão não apresentaram a anomalia como podem ser constatados nas figuras 30 a 40.

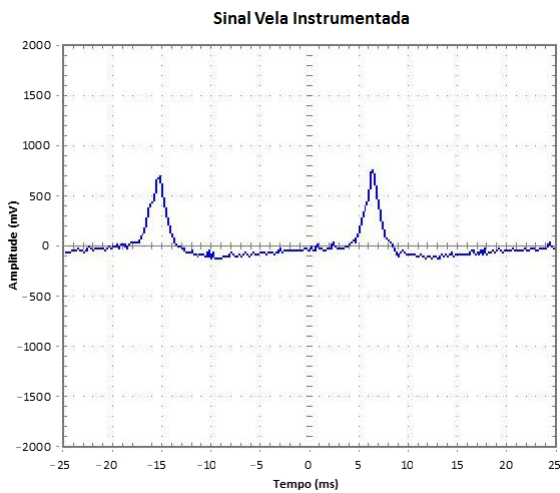


Figura 31. 5500 rpm – AEHC E100 0% / E0-R95 100% .

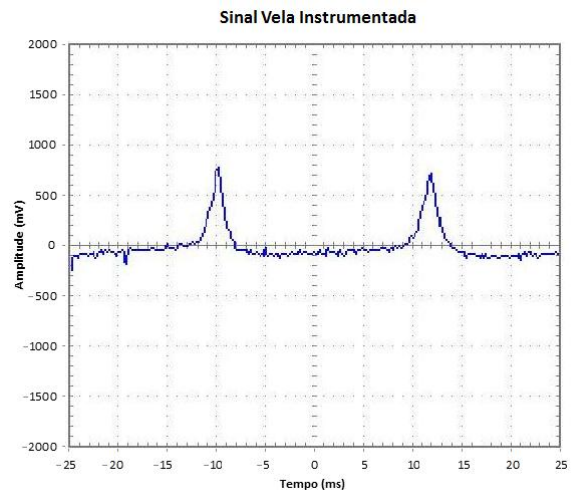


Figura 32. 5500 rpm – AEHC E100 10% / E0-R95 90%.

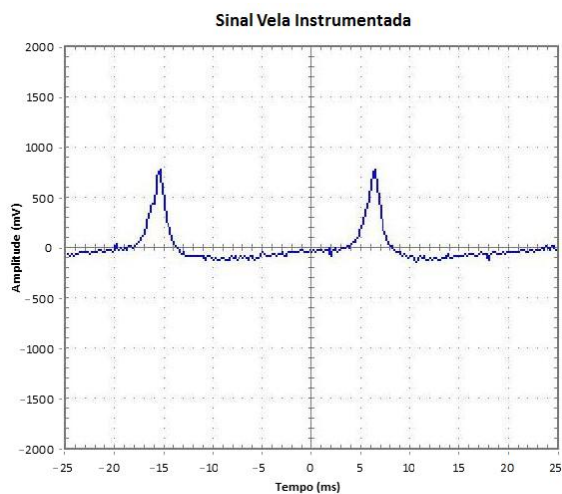


Figura 32. 5500 rpm – AEHC E100 20% / E0-R95 80%.

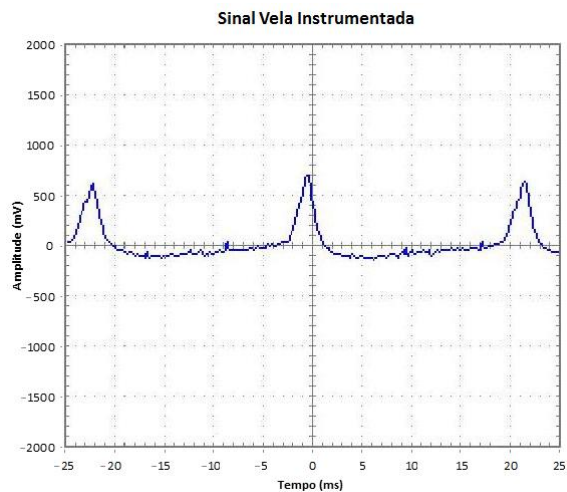


Figura 33. 5500 rpm – AEHC E100 30% / E0-R95 70%.

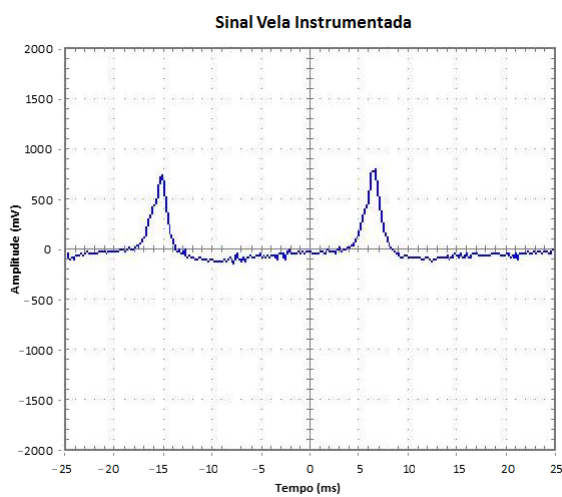


Figura 33. 5500 rpm – AEHC E100 40% / E0-R95 60%.

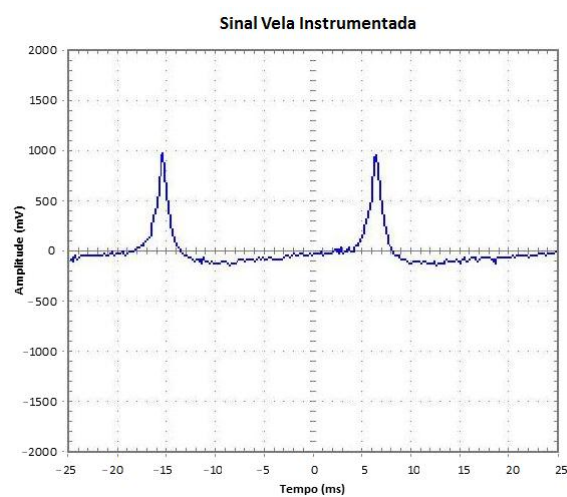


Figura 34. 5500 rpm – AEHC E100 50% / E0-R95 50%.

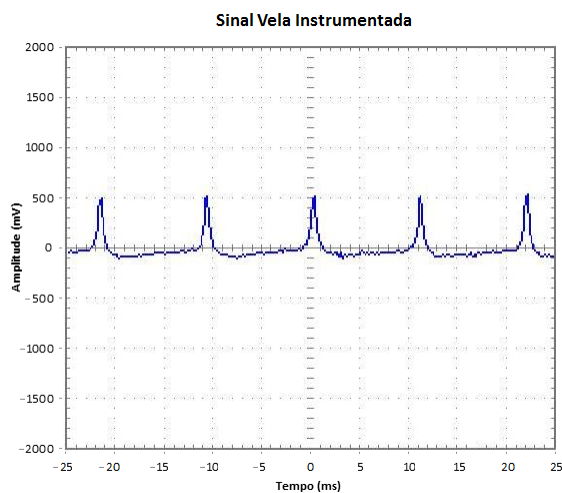


Figura 35. 5500 rpm – AEHC E100 60% / E0-R95 40%.

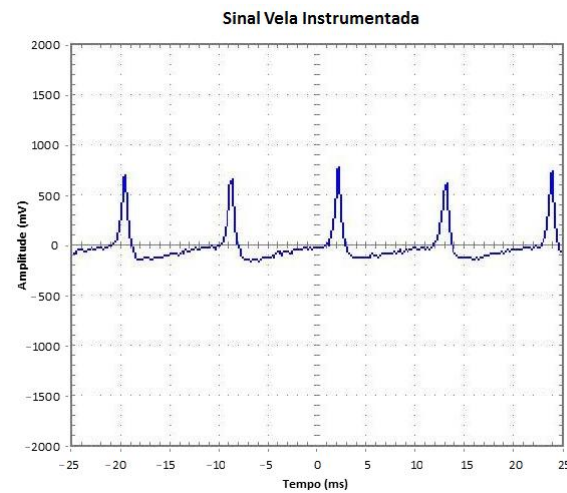


Figura 36. 5500 rpm – AEHC E100 70% / E0-R95 30%.

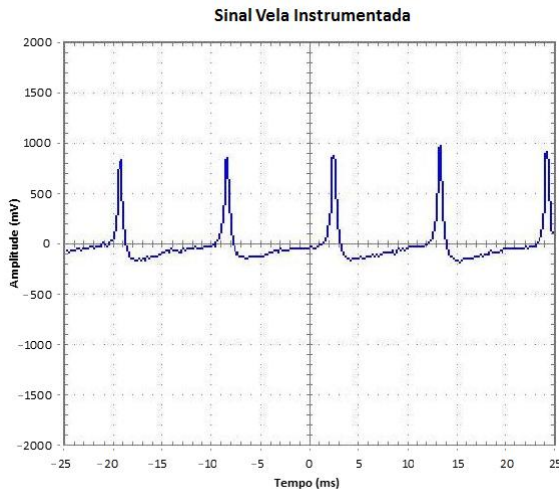


Figura 37. 5500 rpm – AEHC E100 80% / E0-R95 20%.

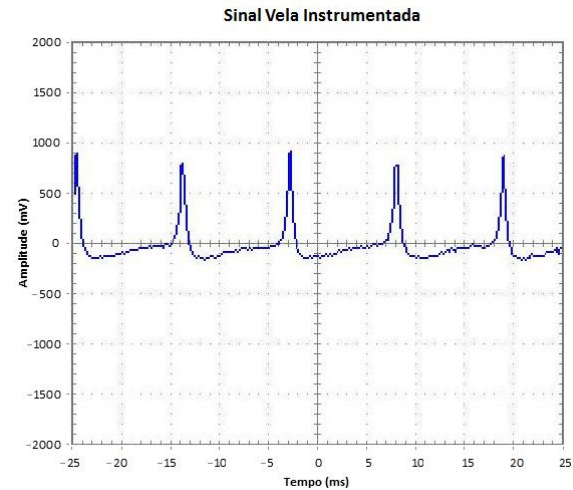


Figura 38. 5500 rpm – AEHC E100 90% / E0-R95 10%.

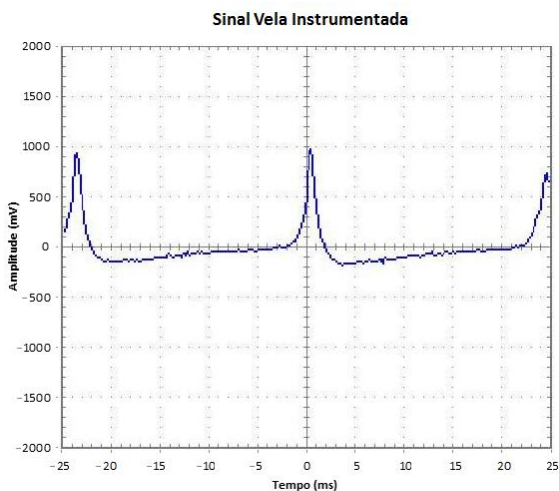


Figura 39. 5500 rpm – AEHC E100 100% / E0-R95 0%.

Quando ocorre a queima da mistura ar-combustível dentro do cilindro, há um aumento na temperatura e o combustível transforma-se em gases queimados, esta mistura faz com que a pressão aumente e o pistão seja forçado para baixo.

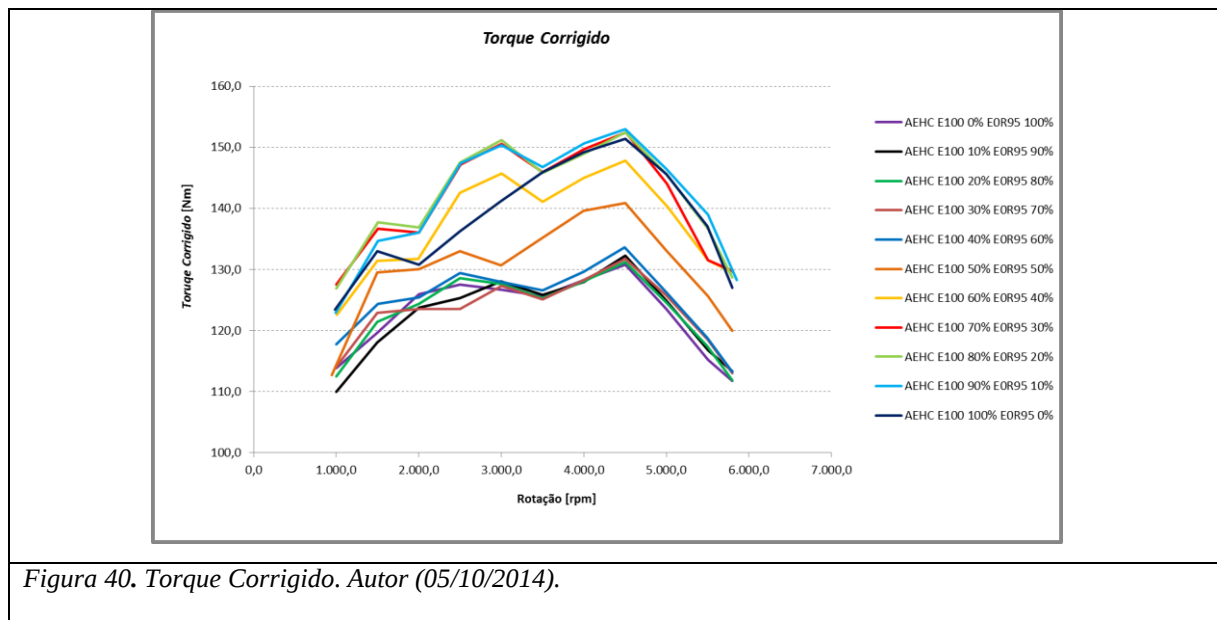
A centelha deve ser fornecida neste momento de pressão máxima, porém, há um pequeno retardo entre o momento em que ocorre a centelha e o tempo em que toda a mistura ar-combustível é queimada e a pressão no cilindro atinge o nível máximo. Caso a centelha ocorra no momento que o pistão atinge o final do curso, o pequeno retardo fará com que a centelha ocorra quando o pistão já estiver movendo-se, perdendo com isso o ponto exato da máxima pressão. O momento da ignição pode ser atrasado ou adiantado dependendo das condições de trabalho do motor, ou seja, quanto mais rápido o motor gira, mais cedo deve

ocorrer a centelha. Isto é chamado de avanço de ignição: quanto maior a rotação do motor, maior o avanço necessário.

O avanço de ignição é muito importante para termos o máximo aproveitamento do motor, pois adiantando o momento da ignição permite-se a combustão completa do processo, atingindo-se a máxima pressão no cilindro. A maximização da pressão também aumenta a eficiência do motor, o que significa que se obterá o menor consumo de combustível. O ponto de ignição é para que tudo funcione como planejado.

4.5 Resultado Dinamômetro

Conforme os ensaios realizados, constatou-se que a amostra com maior concentração de AEHC E100 apresentou o melhor desempenho do que as demais. Visto que o Etanol apresenta maior resistência à compressão, podendo atingir maiores pressões na câmara de combustão favorecendo o aumento de torque (Figura 41. Torque Corrigido. Autor 05/10/2014).



Para as misturas de AEHC E100 60% - EOR95 40% até AEHC E100 60% - EOR95 40% o motor apresentou aumento de torque na região de torque máximo, mas para AEHC E100 100% - EOR95 0% o torque reduziu. Contudo na região de potencia máxima o comportamento mante-se uniforme.

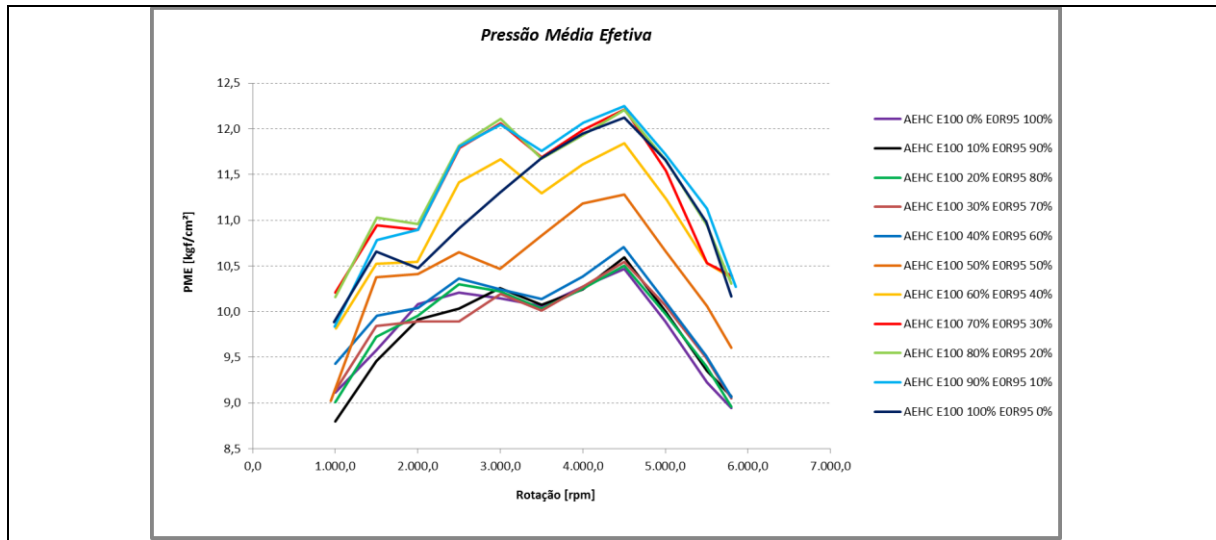


Figura 41. Pressão média Efetiva. Autor (05/10/2014).

Para analisar a potencia dividiu-se em duas partes os dados. As curvas de referencia são obtidas a partir da amostra de AEHC E100 100% e E0-R95 100% tendo a sua máxima e mínima em 5% do valor.

Nas condições de AEHC E100 100% - E0-R95 0% até AEHC E100 50% - E0-R95 50%, constatou-se que essas as amostras exceto a de AEHC E100 50% - E0-R95 50%, as curvas de potencia apresentaram-se entre as faixas de referencia máxima e mínima (Figura 43. Autor 05/10/2014).

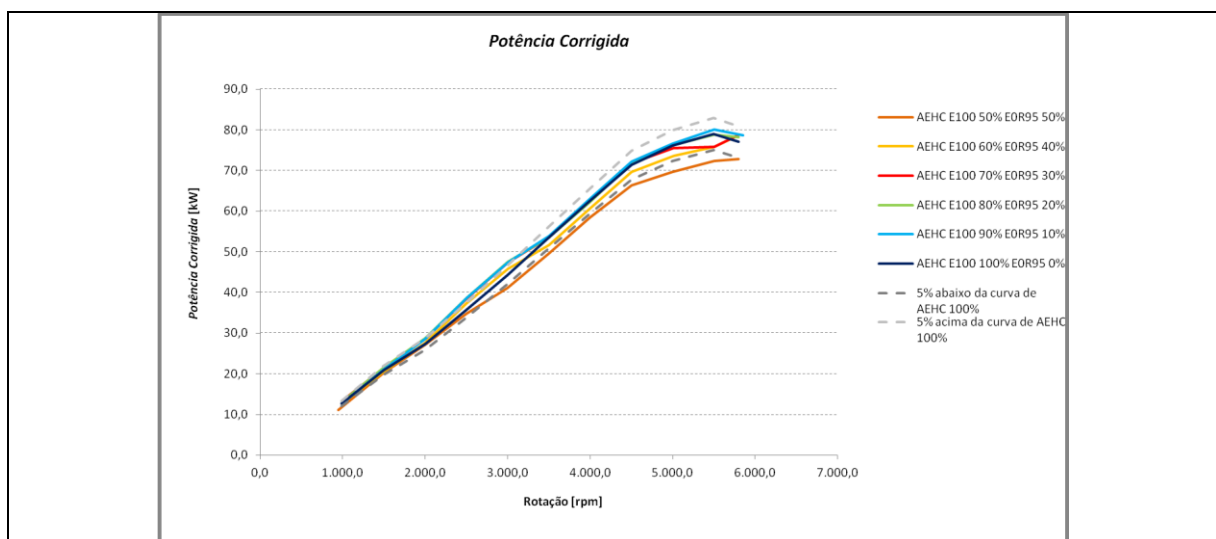


Figura 42. Potencia Corrigida com as referencias de máxima e mínima em relação ao AEHC E100 100%. Autor (05/10/2014).

Nas condições de AEHC E100 0% - E0-R95 100% até AEHC E100 50% - E0-R95 50%, constatou-se que essas as amostras exceto a de AEHC E100 50% - E0-R95 50%, as curvas de potencia apresentaram-se entre as faixas de referencia máxima e mínima.

Com relação à amostra de AEHC E100 50% - E0-R95 50% constatou-se que curva de potencia encontrou-se entre a mínima de AEHC E100 100% e máxima de E0-R95 100%.

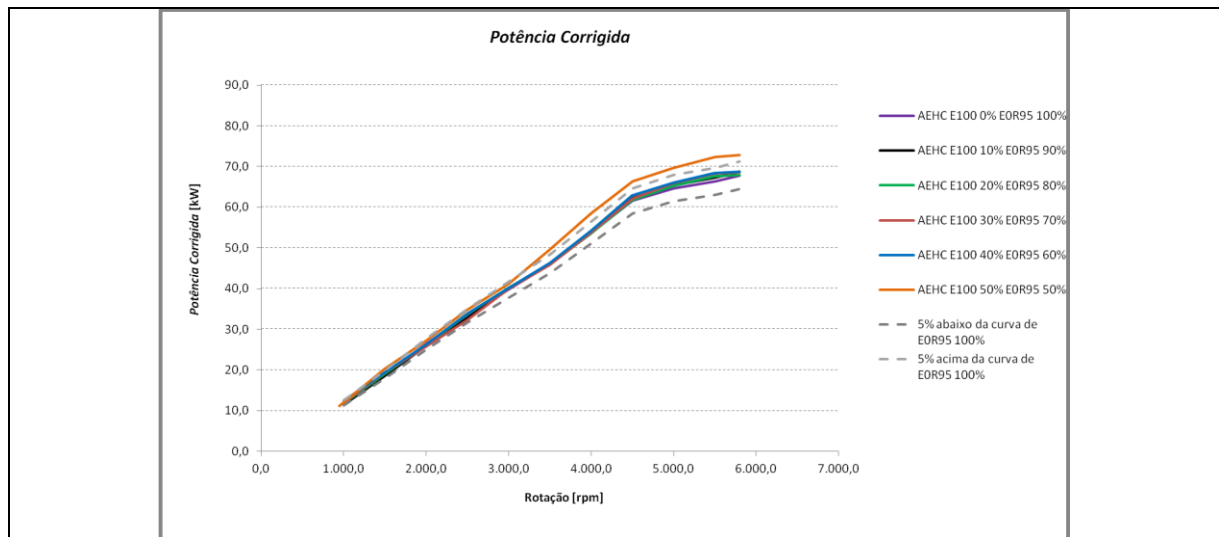


Figura 43. Potencia Corrigida com as referencias de máxima e mínima em relação ao E0-R95 100% . Autor (05/10/2014).

Com base na análises do consumo de combustível podemos constatar o maior consumo nas amostras com a elevada proporção de AEHC E100, visto que para gerar a mesma potencia é necessário quantidade de massa de combustível AEHC E100 em comparação ao E0-R95, devido o E0-R95 apresentar maior poder calorífero em relação ao AEHC E100 (Figure 1. Consumo de Combustível).

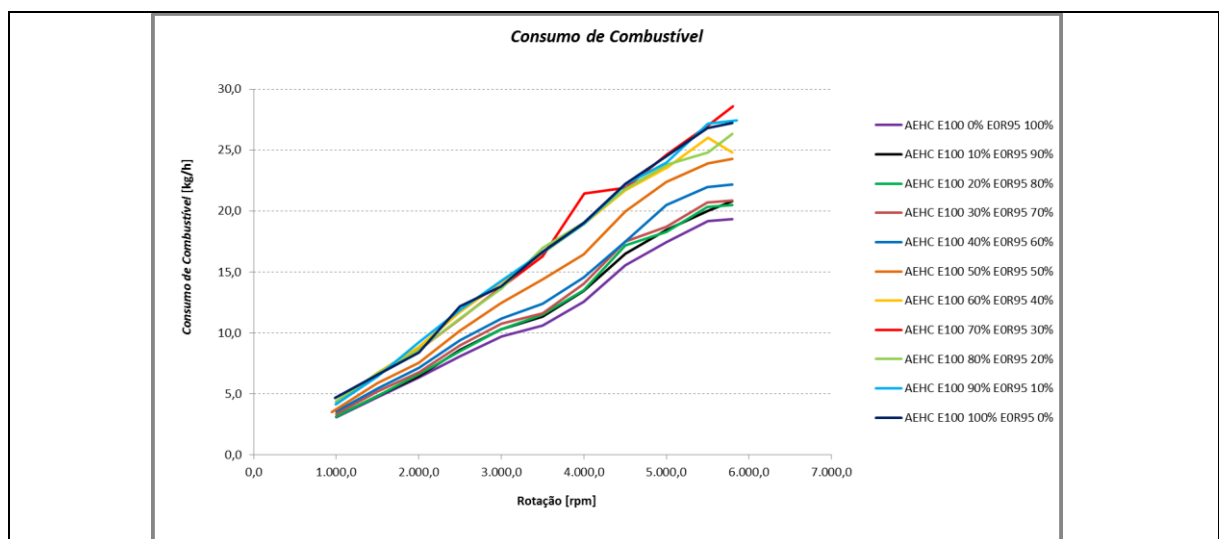


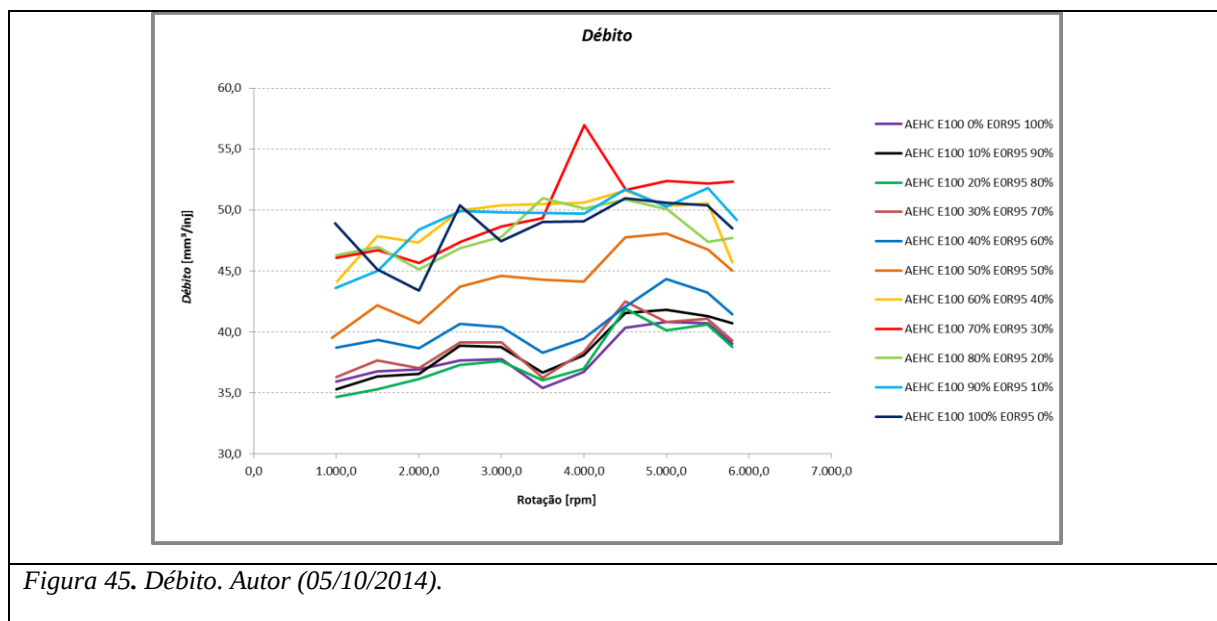
Figura 44. Consumo de Combustível. Autor (05/10/2014).

Os cálculos de débito apresentam-se conforme a estratégia do gerenciamento do motor para a injeção, tendo como base o seu mapa de injeção. A análise do gráfico de debito constatou-se a divisão em três grupos de valores caracterizados por faixas, devido à composição das novas misturas (Figura 46. Débito. Autor 05/10/2014).

A primeira faixa de AEHC E100 100% E0-R95 0% a AEHC E100 60% E0-R95 40% com maior concentração de AEHC E100 apresentou o maior débito que caracteriza o maior consumo de combustível. Na amostra de AEHC E100 70% E0-R95 30% ocorreu uma anomalia, onde o valor de débito atingiu valor acima da média aritmética em relação às demais amostras, devido a variações dos dados catalogados.

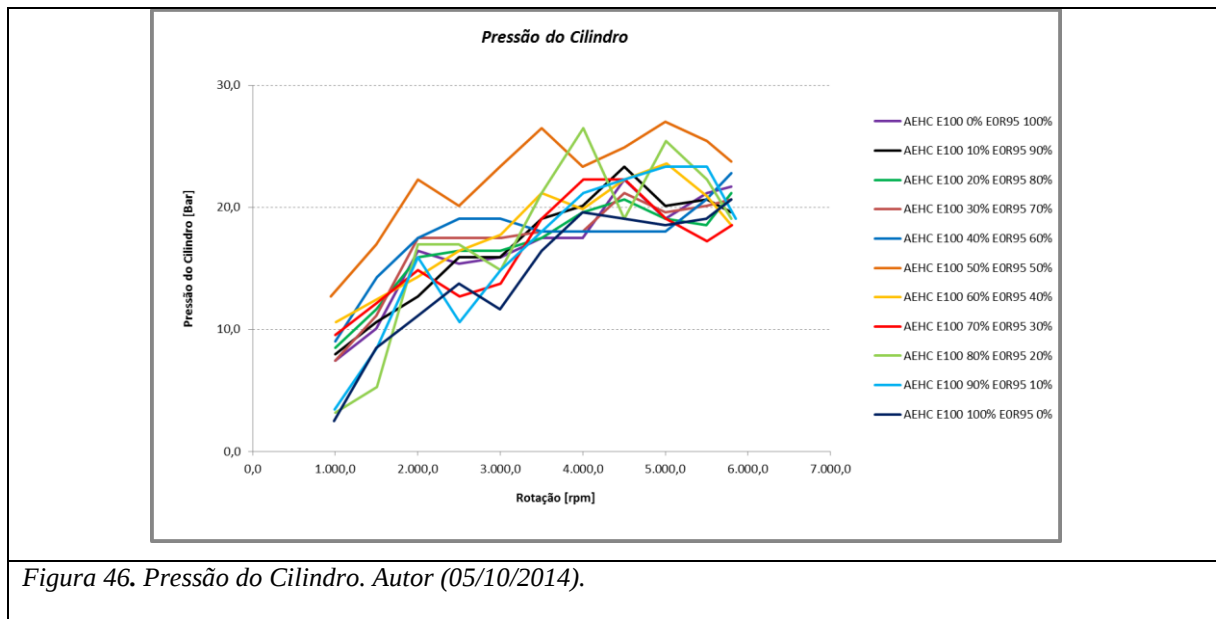
A segunda faixa de AEHC E100 50% E0-R95 50% manteve-se ao centro na média em comparação aos dos blocos das concentrações de combustíveis.

A terceira faixa de AEHC E100 0% E0-R95 100% a AEHC E100 40% E0-R95 60% com maior concentração de E0-R95 apresentou o menor débito que caracteriza o consumo de combustível reduzido.



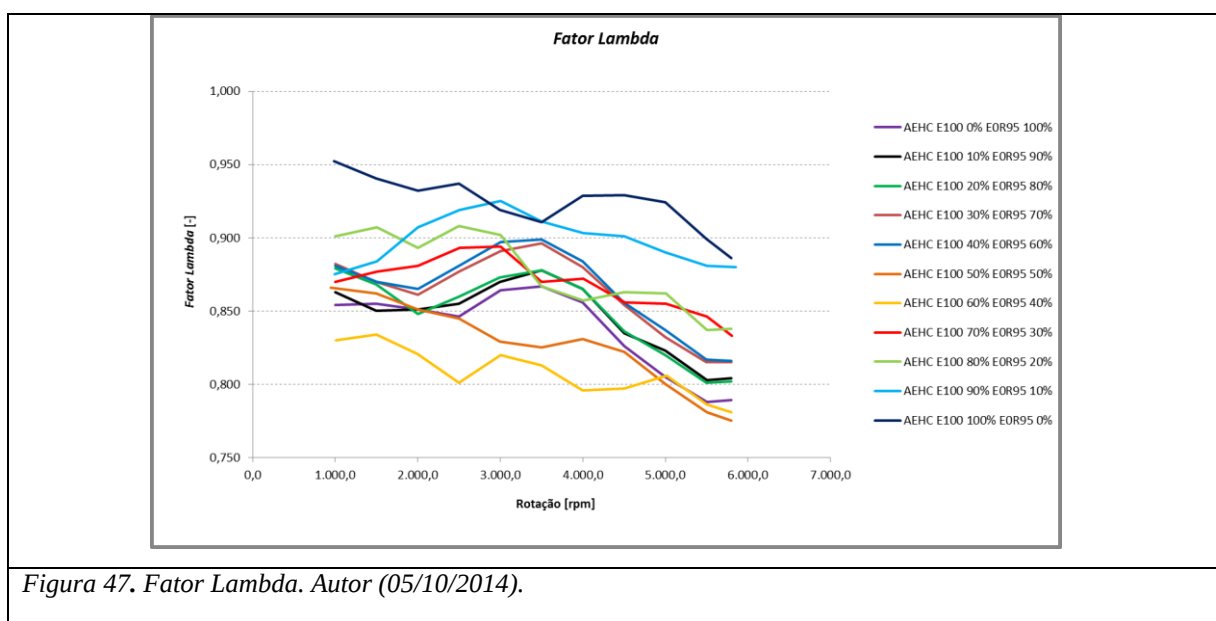
A pressão do cilindro são valores obtidos através de cálculos a partir do sinal de tensão coletado com o osciloscópio. A análise do gráfico de pressão do cilindro constatou-se a amostra de AEHC E100 50% E0-R95 50% com valores acima das demais (Figura 47. Pressão do Cilindro. Autor 05/10/2014).

Na amostra de AEHC E100 80% E0-R95 20% apresentou variações na faixa próxima de torque do motor.



O fator Lambda apresentou uma homogeneidade entre as amostras avaliadas na fase rica abaixo $\lambda < 1$, devido uma estratégia programada na unidade de controle eletrônico para que o motor trabalhe na faixa de riqueza.

Na amostra de AEHC E100 100% E0-R95 0% o fator lambda ficou pobre em relação às demais. Para a amostra de AEHC E100 60% E0-R95 40% o fator lambda apresentou-se mais rica em relação às demais.



Os cálculos de consumo específico de combustível nos apresentam as amostras homogenias, onde não houve distinção entre faixas e sim um crescimento gradativo (Figura 49).

A amostra AEHC E100 0% E0-R95 100% apresentou-se mais eficiente que as demais na região de torque do motor. Em contra partida, a mostra de AEHC E100 70% E0-R95 30% apresentou baixa eficiência para a mesma área e para a região de potência do motor apresentou um consumo especifico de combustível alto.

A amostra AEHC E100 100% E0-R95 0% apresentou consumo especifico de combustível na fase de baixa rotação e na condição de 3500 rpm, demonstrou-se uma baixa eficiência do aproveitamento do combustível em relação a potência.

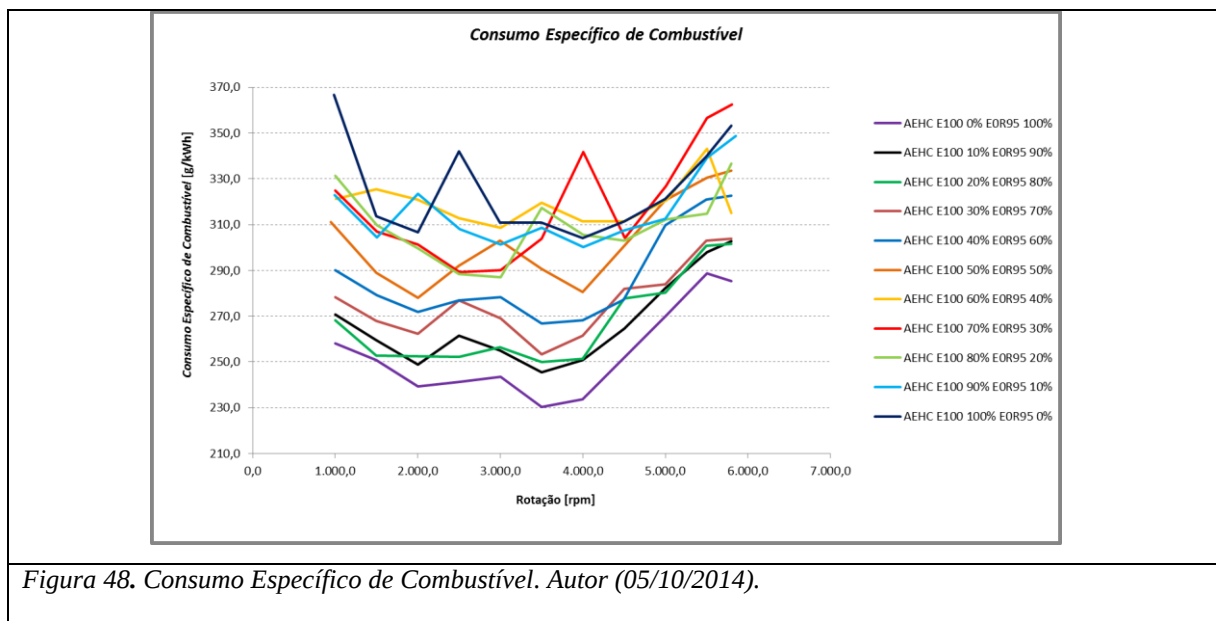


Figura 48. Consumo Específico de Combustível. Autor (05/10/2014).

5 CONCLUSÃO

Os resultados alcançados mostraram que as amostras das misturas de combustíveis apresentam modificações no comportamento do motor a combustão ao longo do seu funcionamento. Os comportamentos foram avaliados a rotação de 1000rpm até 5800rpm em faixas pré-determinadas, utilizando métodos e medidas padronizadas para teste dinamométricos em motor de combustão interna.

Nos testes realizados, demonstrou-se que o motor apresenta estratégias desenvolvidas para atender diferentes composições de misturas de combustíveis conforme a taxa de compressão intermediária, tendo o reconhecimento da proporção, o sistema adota ações para manter o desempenho através do gerenciamento do sistema eletrônico.

Uma vez determinada a maior concentração do composto, o sistema de gerenciamento controla a ignição e injeção de combustível. Ambos sistemas atuam com estratégias conjuntas, como podemos constatar nos dados obtidos de ângulo de ignição e débito. O sistema de injeção mantém o bico injetor acionado por um tempo determinado de acordo com o volume de combustível necessário para a demanda do motor em diversas rotações e solicitações de carga. Então para que essa massa de combustível seja queimada adequadamente o sistema de ignição deve atuar em um tempo determinado para atender o retardo químico do composto. Com base nos dados analisados constatou-se a divisão em três grupos com o uso das amostras, cujos são AEHC E100 100% - E0-R95 0% até AEHC E100 60% - E0-R95 40%, AEHC E100 50% - E0-R95 50% e AEHC E100 40% - E0-R95 60% até AEHC E100 0% - E0-R95 100%. Onde evidenciou que a estratégia utilizada (Figura 49. Avanço de Ignição) atende as maiores concentrações dos compostos e uma intermediária.

O resultado da taxa de compressão real calculada apresentou-se favorável a utilização de compostos com a maior concentração de AEHC E100, nos testes realizados o valor encontrado com os efeitos da variação de pressão e temperatura está próximo das condições que atendem as características desse combustível. Nessas condições evidenciou que os demais compostos com concentrações mais elevadas de E0-R95 permitem o surgimento de anomalias na combustão.

Essas anomalias apresentaram-se nas condições de máxima carga em baixas rotações, evidenciando uma queima ineficiente conforme Figura 50 - (Faísca muito atrasada provocando um pequeno trabalho positivo), devido à concentração dos combustíveis nos compostos na amostra. Os dados coletados através da vela instrumentada comprovam o efeito dos estudos realizados sobre a combustão.

No momento da combustão as pressões no interior do cilindro apresentaram-se mais elevadas para o composto com AEHC E100 50% - E0-R95 50%. Contudo o cálculo de pressão média efetiva demonstra para essa amostra que o aproveitamento da combustão está abaixo das amostras com maior concentração de AEHC E100. Esse efeito ocorreu devido ao período de queima do combustível e seu poder calorífero.

Contudo a potência do motor nas rotações elevadas apresentou-se com crescimento gradativo para as condições das amostras com maior concentração de AEHC E100. Em contrapartida, o consumo para essas amostras também são maiores, devido a características físico-químicas há a necessidade de uma quantidade de combustível, onde a estratégia eletrônica atua a fim de garantir o melhor aproveitamento.

Por fim, o consumo específico de combustível demonstrou que para as mesmas condições de rotação a amostra com maior concentração de E0-R95 tem um aproveitamento energético elevado com menor quantidade volumétrica de combustível por unidade de potência. Para as amostras de AEHC E100 80% - E0-R95 20% apresentou o melhor aproveitamento energético consumindo menos combustível para gerar uma potência dentro da curva de referência, representada pelas curvas pontilhadas dentro da faixa de $\pm 5\%$. As variações dos compostos influenciaram diretamente no consumo e na densidade do combustível, mesmo sem esses parâmetros o sistema de gerenciamento eletrônico realiza os cálculos necessários para realizar o funcionamento adequado do motor.

Considerando os resultados obtidos nesse trabalho é possível abrir novas áreas para pesquisas com novos métodos de gerenciamento de motores para atender as diversidades das composições químicas dos combustíveis comercializados no Brasil, onde há incentivo para a utilização de veículos Flex.

6 TRABALHOS FUTUROS

- A. Implantação de sensores para o reconhecimento das composições das misturas entre combustíveis;
- B. Desenvolvimento de sistema de mapas de calibração que abrangem mais composições das misturas entre combustíveis;
- C. Realizar o ensaio utilizando uma vela instrumentada para cada cilindro;

Anexos

Anexo 1 – Procedimento para o processo de mistura de combustíveis

Lista de equipamentos utilizados nos ensaios:

- A. 2 provetas de 100 ml ;
- B. 1 proveta de 250 ml ;
- C. 1 densímetro de 0.700 – 0.750 m^3/L ;
- D. 1 densímetro de 0.750 – 0.800 m^3/L ;
- E. 1 densímetro de 0.800 – 0.850 m^3/L ;
- F. 1 termômetro de 0 – 100 $^{\circ}C$;
- G. 1 pipeta graduada 0 – 100 ml ;
- H. 2 béquer 0 – 500 ml ;

Procedimento para a realização dos ensaios:

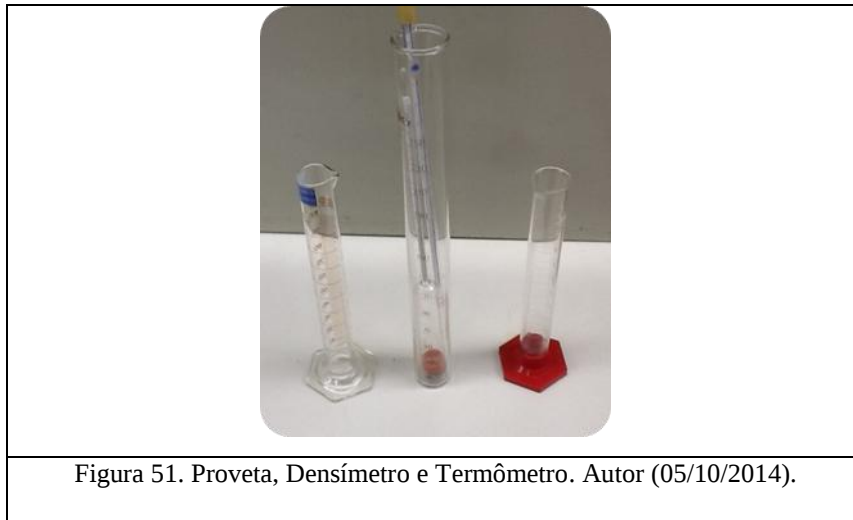
Combustíveis utilizados AEHC E100 e o E0-R95.

- Etapas do procedimento:

1. Passo: Realizada a limpeza adequada dos equipamentos utilizados;
2. Passo: Armazenar os combustíveis dentro dos béquers;
3. Passo: Colocar o combustível AEHC E100 dentro da primeira pipeta graduada;
4. Passo: Colocar o combustível E0-R95 dentro da segunda pipeta graduada;
5. Passo: Determinada a quantidade da mistura para a amostragem;
6. Passo: Preencher a proveta de 250 ml com as proporções de combustíveis pré-determinadas;
7. Passo: Para a primeira amostra de densidade utilizou-se 180 ml de AEHC E100 e 20 ml de E0-R95.
8. Passo: Realizada a mistura dos combustíveis;
9. Passo: Inserido na proveta de 200 ml o 1 densímetro de 0.750 – 0.800 m^3/L para medir a densidade da amostra;

10. Passo: Inserir o termômetro e aguardou 2^{min} para realizar a mensura da temperatura;
11. Passo: Realizar o processo para as demais amostras.

Para os combustíveis para concentrações de 100% de E0-R95 e AEHC E100, colocou-se as amostras puras na proveta de 200^{ml} e posteriormente realizou-se o procedimento para mensura da densidade e temperatura.



Anexo 2 – Procedimento para o processo de compressão do cilindro

Lista de equipamentos utilizados para mensurar a compressão do cilindro

- A. 1 manômetro 0 - 400^{psi};

Procedimento para a realização mensurar a compressão do cilindro

- Etapas do procedimento:

1. Passo: Ligar o motor;
2. Passo: Aquecer conforme procedimento de aquecimento.
3. Passo: Desligar o motor;
4. Passo: Desconectar o cabo de velas;
5. Passo: Retirar a vela do motor;
6. Passo: Instalar o sistema de medição manométrico;

7. Passo: Ligar o motor por 10 segundos;
8. Passo: Coletar o valor de compressão;
9. Passo: Desligar o motor.



Figura 52. Manômetro utilizado no ensaio. Autor (05/10/2014).

Anexo 3 – Procedimento para aquecimento do motor em dinamômetro

Etapas do procedimento:

1. Ligar o motor;
2. Condicionar a rotação nas seguintes passos;
3. Marcha lenta por 300 *segundos*;
4. 2500 *rpm* por 300 *segundos* com 30 % de carga;
5. 3500 *rpm* por 300 *segundos* com 60 % de carga;
6. 4000 *rpm* por 300 *segundos* com 100 % de carga.

Obs. (Carga máxima descrita pelo fabricante no manual do veículo)

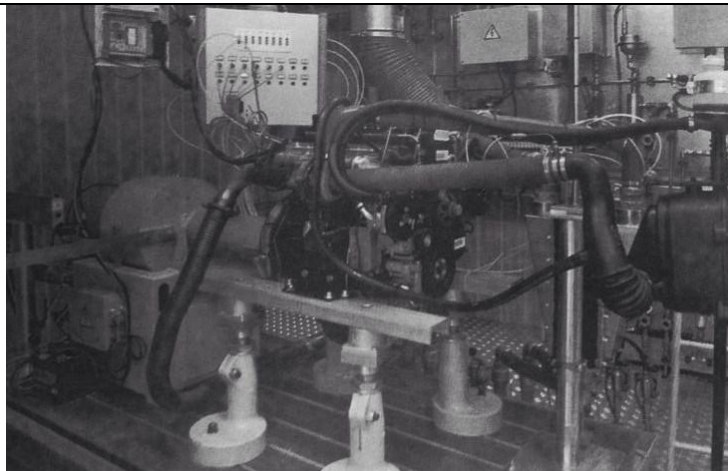


Figura 53. Típica sala de ensaios dinamométricos adaptado (Motores de Combustão Interna: volume 1/Franco Brunetti. - São Paulo: Blucher, 2012.).

Anexo 4 – Procedimento para curva de performance do motor em dinamômetro

Etapas do procedimento:

1. Condicionar a temperatura da saída de água em $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3$;
2. Estabilizar a temperatura da entrada de ar em $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3$;
3. Condicionar a rotação do motor em 1000 *rpm* com 100 % acelerador;
4. Para as rotações seguintes condicionar conforme a tabela a seguir:

Rotação (rpm)	Acelerador (rpm)
1000	100
1500	100
2000	100
2500	100
3000	100
3500	100
4000	100
4500	100
5000	100
5500	100
5800	100

Tabela 6. Tabela de parâmetros para curva de performance. Autor.

5. Aquisitar dados conforme a lista:

Nº Itens (-)	Lista (-)
1	Rotação
2	Torque
3	Consumo de Combustível
4	Avanço de Ignição
5	Fator Lambda
6	Dados da vela instrumentada - Pressão (bar)

Tabela 7. Lista de dados coletados durante o ensaio. Autor.

Anexo 5 – Procedimento a instalação da vela instrumentada e equipamentos de suporte

Lista de equipamentos utilizados nos ensaios:

- A. Vela instrumentada;
- B. Osciloscópio;
- C. Computador.

Etapas do procedimento:

1. Retirar a vela original do motor;
2. Instalar a vela instrumentada no motor;
3. Ligar o cabo da vela de ignição;
4. Ligar o cabo do sinal da vela instrumentada no osciloscópio;
5. Ligar o osciloscópio;
6. Configurar o osciloscópio para captação do sinal conforme o tipo de sinal;
7. Ligar o computador auxiliar;
8. Utilizar o programa PC-Link (especifico para a utilização do osciloscópio);
9. Coletar os dados.

7 LISTA DE SÍMBOLOS

A	- é a área (m^2).
CC	- é o consumo de combustível (kg/h).
CEC	- é o consumo específico de combustível (g/kWh).
Ct	- é a cilindrada total do motor (cm^3 ; l).
Cu	- é a cilindrada unitária do motor (cm^3 ; l).
D	- é o diâmetro do êmbolo (mm^2 ; cm).
Deb	- é o volume de combustível por injeção (mm^3/inj).
F	- é a força (N).
Fc	- é o fator de correção (<i>adimensional</i>).
N	- é a potência do motor (kW).
Ncorr	- é a potência do motor corrigida (kW).
P	- é a pressão (N/m^2).
Pas	- é a pressão do ar seco (kPa).
Patm	- é a pressão atmosférica local (kPa).
Pf	- é a pressão final (bar ; kgf/cm^2).
Pfd	- é a pressão final dinâmica (bar ; kgf/cm^2).
Pi	- é a pressão inicial (bar ; kgf/cm^2).
Psat	- é a pressão do ar saturado (kPa).
R	- é a distância do braço do dinamômetro (m).
TH	- é a temperatura do ar de admissão ($^{\circ}C$).
Tcr	- é a taxa de compressão real (<i>adimensional</i>).
Tct	- é a taxa de compressão teórica (<i>adimensional</i>).
Tf	- é a temperatura final absoluta ($^{\circ}C$).
Tfabs	- é a temperatura final absoluta (K).
Ti	- é a temperatura inicial ($^{\circ}C$).
Tiabs	- é a temperatura inicial absoluta (K).
Tm	- é o torque motor obtido através do dinamômetro (Nm).
Trcf	- é a taxa de compressão real fornecido pelo fabricante (<i>adimensional</i>).
Ur	- é a umidade relativa do ar de admissão (%).

V	- é o volume da câmara de combustão (<i>l</i>).
Vc	- é o volume da câmara de combustão (<i>cm³</i> ; <i>l</i>).
Vf	- é o volume total da câmara de combustão (<i>cm³</i> ; <i>l</i>).
Vi	- é o volume inicial da massa gasosa (<i>cm³</i> ; <i>l</i>).
a	- (-7,90298)
b	- (5,02808)
c	- (-0,00000013816)
d	- (11,344)
e	- (0,0081328)
ews	- pressão de saturação da água pura (<i>mbar</i>). Considerada constante, igual a 1013,256 na condição de temperatura absoluta da água em 373,16 Kelvin (<i>TBU</i>).
f	- (-3,49149)
h	- é o curso do êmbolo (<i>mm</i> ; <i>cm</i>).
i	- é o índice definido em função do tempo do motor, i=2 para motores a 4 tempos.
m	- é a massa (<i>kg</i>).
n	- é a rotação por minuto do motor (<i>rpm</i>).
nc	- é o número de cilindros do motor.
π	- é a constante 3,1416.
ρ	- é a densidade (<i>Kg/L</i>).
ρC	- é a densidade do combustível (<i>Kg/l</i>).
2	- é uma constante.
4	- é uma constante.
A/F ideal	- é a relação ar/combustível ideal (admissional).
A/F real	- é a relação ar/combustível real (admissional).
Lambda	- é a relação estequiométrica (<i>λ</i>).

8 REFERÊNCIAS

BRUNETTI, Franco, *Motores de Combustão Interna: Volume 1*. Editora: Blucher, São Paulo, 2012.

MAHLE, Manual, *Manual Mahle Brochure Miolo NOVO.indd*. São Paulo, 06 Junho de 2008.

SENAI, Apostila, *Escola SENAI “Conde José Vicente de Azevedo”*. São Paulo, 2004.