

THIAGO GONÇALVES FERNANDES

ANALISE DO COMPORTAMENTO DE UM MOTOR DE CICLO OTTO NA
UTILIZAÇÃO DE UM BIOLUBRIFICANTE.

Monografia apresentada ao
Departamento de Engenharia Mecânica
da Escola de Engenharia da
Universidade Federal do Rio Grande
do Sul, como parte dos requisitos para
obtenção do diploma de Engenheiro
Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Barbosa Mello

Porto Alegre
2009



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

ANALISE DO COMPORTAMENTO DE UM MOTOR DE CICLO OTTO NA
UTILIZAÇÃO DE UM BIOLUBRIFICANTE

THIAGO GONÇALVES FERNANDES

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
ENGENHEIRO(A) MECÂNICO(A)
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Walter Jesus Paucar Casas
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Jorge Rodolfo Silva Zabadal
UFRGS / DEMEC

Prof. Dr. Sérgio Viçosa Möller
UFRGS / DEMEC

Prof. Dr. Sérgio Luiz Frey
UFRGS / DEMEC

Porto Alegre
2009

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço aos meus pais *José e Olmira*, que sempre estiveram do meu lado, me incentivando a não desistir jamais dos meus ideais,

à minha irmã *Carolina*, e a minha noiva *Núbia*, por terem paciência e companheirismo nestes anos de luta,

à equipe do Museu do Motor da Escola de Engenharia da UFRGS, que me acolheu e me apoiou neste trabalho,

ao meu orientador, *Prof. Dr. Pedro Mello*, pelos conhecimentos e paciência na minha orientação,

aos colegas do Laboratório de Motores, *Eng. Fabiano Wildner, Eng. Serguei Nogueira e Eng. Paulo Henrique Rohenkohl* pela ajuda fundamental na execução deste trabalho.

*“Concentre todos os seus pensamentos no trabalho que irá desempenhar.
Os raios de sol não queimam enquanto não se concentram sobre um foco”.*
Alexander Graham Bell

FERNANDES, T. G. **Análise do Comportamento de um Motor de Ciclo Otto na Utilização de um Biolubrificante.** 2009. 20f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

RESUMO

A crescente demanda de combustíveis e lubrificantes no mundo, cujas fontes estão se esgotando por serem substâncias minerais mais especificamente fósseis, fomenta as pesquisas com o intuito de desenvolver os chamados “biocombustíveis e biolubrificantes”, que provem de fontes totalmente renováveis, podendo ser uma alternativa de substituição aos produtos comerciais utilizados atualmente. Com base neste tema, foram realizados testes com um biolubrificante em um motor de ciclo Otto, analisando o desgaste interno de suas partes móveis que necessitam desta lubrificação para seu perfeito funcionamento. Para isso, foi montado em bancada de teste, um motor GM de quatro cilindros, que possui sistema de lubrificação a pressão através de uma bomba de óleo de engrenagens e filtração total. Estando este, acoplado a um dinamômetro e demais sensores de controle para o monitoramento da carga aplicada e das condições de trabalho. Como resultado verificou-se que após os testes, o motor não apresentou desgaste significativo de suas partes lubrificadas, porém constatou-se um aumento considerável na viscosidade do biolubrificante, fazendo com que o ensaio fosse interrompido prematuramente, sem a obtenção dos resultados finais, que possibilitariam a verificação da eficácia deste biolubrificante em relação ao desgaste provocado pelo atrito, que seriam de extrema relevância aos testes deste biolubrificante de fonte renovável como alternativa aos de fonte esgotável.

PALAVRAS-CHAVES: Ciclo Otto, Desgaste, Atrito, Biolubrificantes, Motores de combustão interna.

FERNANDES, T. F. **Analysis of the Behavior of an Otto Cycle Engine in the use of a Biolubricant.** 2009. 20f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

ABSTRACT

The increasing demand for fuels and lubricants in the world, whose sources are being depleted minerals in particular fossil fuels, encourage the search to find the so-called "biofuels and biolubricants," which comes from fully renewable sources, and may be an alternative replacement of the commercial products currently used. Based on this theme, were tested with a biolubricants in an Otto cycle engine, analyzing the wear of its internal moving parts that require lubrication for their right of operation. For this reason it was mounted on the test bench, a GM four-cylinder engine, which has the pressure lubrication system through an oil pump gear and total filtration. And this, coupled to a dynamometer control and other sensors to monitor the applied load and working conditions. As a result it was found that after the tests, the engine showed no significant wear of lubricated parts, but there was a considerable increase in viscosity of biolubricants, making the test was stopped prematurely, without obtaining the final results, which enables verification of the effectiveness of this biolubricants on the wear caused by friction, which would be of extreme importance to the testing of this source of renewable biolubricants as an alternative to source become exhausted.

KEYWORDS: Otto cycle, Wear, Friction, biolubricants, Internal combustion engines.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA	1
2.1 MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA	1
2.1.1 Ciclo Otto Quatro Tempos.....	2
2.1.2 Taxa de Compressão	2
2.1.3 Octanagem	3
2.2 ATRITO.....	3
2.2.1 Tipos de Atrito	3
2.2.1.1 Atrito Sólido	3
2.2.1.2 Atrito Fluido	3
2.2.2 Causas do Atrito.....	3
2.2.2.1 Cisalhamento	4
2.2.2.2 Adesão	4
2.3 DESGASTE.....	4
2.4 LUBRIFICANTES	5
2.4.1 Lubrificantes Líquidos	5
2.4.2 Viscosidade	5
2.4.3 Viscosímetros.....	6
2.4.3.1 Viscosímetro Saybolt Universal	6
2.4.3.2 Viscosímetro Saybolt Furol	6
2.4.4 Biolubrificantes	7
3. ESTUDO EXPERIMENTAL.....	8
3.1 MATERIAIS E MÉTODOS.....	8
3.1.1 Características do Propulsor Utilizado.....	8
3.1.2 Sistema de Alimentação e Controle do Motor	9
3.1.3. Método	10
3.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	10
3.2.1. Parâmetros de Funcionamento	11
4. RESULTADOS E ANÁLISES	12
4.1 Viscosidade.....	12
4.2 Dimensional.....	13
5. CONCLUSÕES	15
REFERÊNCIAS	16
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	16
APÊNDICE	17

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda por combustíveis e lubrificantes, tem-se cada vez mais fomentado pesquisas com intuito de desenvolver e descobrir novas soluções para substituição dos lubrificantes já existentes que são provenientes de fontes não renováveis, ou seja, lubrificantes e combustíveis minerais provenientes da destilação do petróleo.

Na busca da sustentabilidade tem se testado lubrificantes para motores de combustão interna à base de óleos vegetais, que obteriam destaque, por serem 100% renováveis e menos poluentes. Estes biolubrificantes estão em fase de desenvolvimento e esperasse que tenham desempenho igual ou superior aos já conhecidos lubrificantes minerais. Os lubrificantes além de diminuir o atrito entre as partes, diminuindo as perdas mecânicas, serve também como fluido que propicia a troca de calor entre as superfícies atritantes do motor e o meio.

O presente trabalho tem como objetivo a realização de testes com um biolubrificante em um motor de ciclo Otto, analisando o desgaste interno de suas partes móveis que necessitam desta lubrificação para seu perfeito funcionamento.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

2.1 MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Motores de combustão interna são máquinas que têm por objetivo transformar a energia química do combustível em energia mecânica utilizável, através da combustão de combustíveis líquidos ou, com menor frequência, gasosos. Combustão esta composta por uma mistura de um combustível e de um comburente de tal qualidade que proporcione uma combustão eficiente. O combustível, gasolina tipo C, é um combustível derivado do petróleo, constituído por mais de 300 hidrocarbonetos selecionados de acordo com as características de ignição e escoamento adequadas ao funcionamento dos motores do ciclo OTTO. O comburente utilizado é o oxigênio encontrado na atmosfera, sendo inflamados por uma centelha.

2.1.1 Ciclo Otto Quatro Tempos

O ciclo Otto é composto por 4 vezes o percurso executado pelo êmbolo ao se deslocar entre o ponto morto superior (PMS) e o ponto morto inferior (PMI), conforme figura 2.1 necessitando apenas de duas rotações da árvore de manivelas.[GIACOSA, 1967].

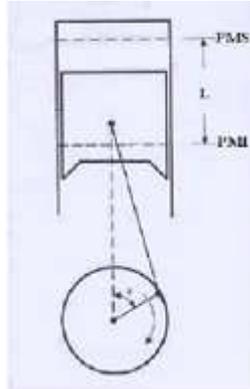


Figura 2.1 – Diagrama esquemático do PMS e PMI do motor. [COIMBRA, 2008].

Onde cada percurso do êmbolo representa uma fase:

Admissão: Sendo essa a primeira de quatro fases, é quando a válvula de admissão se abre, o êmbolo se move do PMS até o PMI gerando assim uma depressão que succiona a mistura ar/combustível para dentro do cilindro.

Compressão: Segunda fase do processo inicia-se quando o êmbolo encontra-se em PMI, fechando as válvulas de admissão e mantendo as de escape fechadas, o êmbolo inicia o deslocamento do PMI até o PMS comprimindo assim a mistura ar/combustível.

Explosão/Expansão: Terceira fase, após a mistura ar/combustível ter sido comprimida no interior do cilindro, a vela do motor dissipa uma centelha dando início à explosão através da queima dessa mistura, que tende a aumentar rapidamente de volume, gerando uma forte pressão no interior do cilindro e fazendo com que o êmbolo seja impulsionado de forma violenta até seu PMI. Esta etapa é considerada a parte útil do ciclo, pois é onde existe a devida transformação da energia química do combustível em energia térmica e mecânica. Quando o êmbolo sofre esse deslocamento forçado, estando ele preso à árvore de manivelas por uma biela, transmite esse movimento translacional de forma rotacional para o eixo de manivelas, criando o giro do motor.

Escape: Quarta e última fase, após a dissipação da energia gerada em movimento e calor o êmbolo chega a seu PMI, abrindo a válvula de escape e tornando a subir até seu PMS para que os gases gerados pela queima sejam expulsos para fora do cilindro de maneira completa, pois aproveitam uma pressão residual existente no interior do cilindro antes da abertura da válvula de escape e o início do movimento do êmbolo rumo ao PMS. Quando o êmbolo chega em PMS a válvula de escape se fecha e a de admissão se abre iniciando o ciclo novamente.

2.1.2 Taxa de Compressão

Trata-se da relação volumétrica de quantas vezes é comprimida, a mistura ar/combustível admitida no interior da câmara de combustão, pelo êmbolo antes do início da queima do combustível.

2.1.3 Octanagem

A resistência à detonação de um combustível configura a octanagem do mesmo, a qual tem a função de indicar a qualidade de um combustível quando submetido a diferentes condições de pressão e temperatura sem ocasionar a auto-ignição, popularmente conhecida como "batida de pino" ou detonação. [COIMBRA, 2008].

2.2 ATRITO

Sempre que uma superfície se mover em relação à outra superfície, haverá uma força contrária a esse movimento. Esta força chama-se atrito, ou resistência ao movimento. [MOURA e CARRETEIRO, 1978].

Em alguns sistemas tais como os de freio o atrito torna-se útil e necessário, pois dificulta o movimento, consome energia motriz e gera calor, fazendo com que o movimento entre duas superfícies seja reduzido ou até mesmo cessado. No caso das peças internas de motores esta força denominada atrito deve ser o mínimo possível, pelo consumo da energia motriz e a não realização do trabalho correspondente.

2.2.1 Tipos de Atrito

Ao se considerar o tipo de contato entre as superfícies em movimento temos a seguinte distinção:

2.2.1.1 Atrito Sólido

Na existência do contato de duas superfícies sólidas entre si. Sendo este dividido em duas partes:

- Atrito de Deslizamento – Quando uma superfície se desloca diretamente em contato com a outra.
- Atrito de Rolamento – Quando o deslocamento é efetuado através da rotação de corpos esféricos ou cilíndricos, colocados entre as superfícies em movimento. Neste caso existindo uma área menor de contato entre as superfícies, o atrito por sua vez torna-se também menor.

2.2.1.2 Atrito Fluido

Quando, separando as superfícies em movimento, existir uma camada fluida (seja ela líquida ou gasosa). O fluido formador desta camada é denominado de lubrificante. Neste caso, quanto maior a sua viscosidade, maior será o atrito fluido.

2.2.2 Causas do Atrito

Superfícies sólidas, mesmo consideradas as mais polidas, apresentam asperezas e irregularidades. O contato entre essas asperezas é o causador do atrito, que se caracteriza pelos mecanismos de cisalhamento e adesão.

2.2.2.1 Cisalhamento

Ocorre quando picos das irregularidades de uma superfície entram em contato lateral com os picos provenientes da outra, contato este que desenvolve o atrito pela resistência oferecida pelo material à ruptura destes picos. Sobre este mecanismo temos duas situações, apresentadas na figura 2.2, a primeira onde os dois materiais em contato apresentam durezas semelhantes, ocasionando ruptura nos picos de ambas as superfícies e a segunda situação se deve a dureza de uma superfície ser mais elevada que da outra, onde os picos da superfície mais dura agirão como gumes de uma ferramenta de corte.

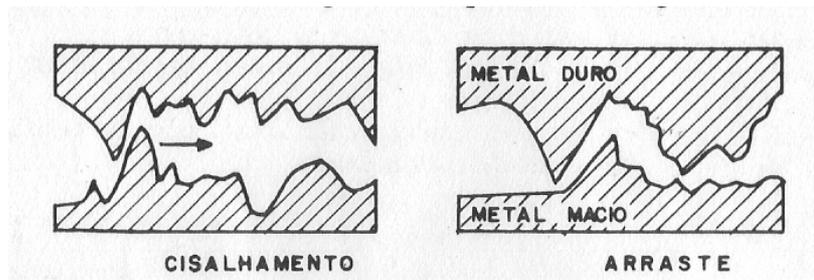


Figura 2.2 – Atrito por cisalhamento e arraste. [MOURA E CARRETEIRO, 1978].

2.2.2.2 Adesão

Se as superfícies em contato, conforme figura 2.3, apresentarem micro-áreas planas ao invés de picos, o atrito é desenvolvido pela soldagem a frio destas áreas relativamente planas entre si. Sendo este mecanismo o maior responsável pela resistência ao movimento.



Figura 2.3 – Atrito por adesão. [MOURA E CARRETEIRO, 1978].

2.3 DESGASTE

A remoção de material de qualquer uma das superfícies em contato causada pelo atrito seja, ele por cisalhamento ou por adesão, configura o desgaste. Sendo este um parâmetro inevitável para as partes móveis do motor, pode-se apenas amenizar sua ação através da lubrificação destas partes em contato por um fluido lubrificante.

2.4 LUBRIFICANTES

Denominam-se lubrificantes, as substâncias que, interpostas entre duas superfícies em deslocamento relativo, diminuem a resistência ao movimento, podendo ser líquidos, pastosos ou sólidos. Os quais devem satisfazer as seguintes propriedades:

- Ser capaz de manter separadas as duas superfícies durante o movimento;
- Ser quimicamente estável em vista da mudança de temperatura;
- Não atacar as superfícies metálicas;
- Manter limpas as superfícies lubrificadas.

Para este trabalho estudaremos apenas as propriedades referentes aos lubrificantes líquidos, por ser o único aplicável para lubrificação interna do motor utilizado para o teste.

2.4.1 Lubrificantes Líquidos

Mais conhecidos como óleos lubrificantes, podem ser de origem mineral, vegetal ou animal. Devido ao verniz gomoso gerado pelos óleos de origem vegetal e animal formam, quando submetidos a elevadas temperaturas, é que ultimamente os óleos minerais puros ou com aditivos, tem sido considerados apropriados à lubrificação das superfícies metálicas.

2.4.2 Viscosidade

A resistência interna oferecida pelas moléculas de uma camada, quando esta é deslocada em relação à outra, ou seja, é o resultado de um atrito interno do próprio lubrificante. No sistema C.G.S. (métrico) a medida da viscosidade será em dinas segundo por centímetro quadrado, denominado de “Poise”, em homenagem ao físico J. Poiseuille. Sendo esta medida relativamente grande, é utilizado seu submúltiplo, o “centipoise” (cP). No sistema MKS (gravitacional) a unidade é o kg.seg/m². Na prática encontraremos uma série de sistemas indicativos da viscosidade com suas próprias unidades, utilizando aparelhos apropriados para a medida; Para este projeto utilizaremos o viscosímetro “Saybolt” com sua respectiva unidade o SSU – Segundo Saybolt Universal, cujo funcionamento será descrito posteriormente. O qual nos remete a uma escala criada por E.W. Dean e F.H. Davis de maneira empírica, desenvolvida em 1932, largamente utilizada nos dias atuais; Escala esta baseada na adoção de dois óleos padrões: Um típico refinado do petróleo da Pensilvânia (óleo parafínico) pelo processo do ácido sulfúrico, ao qual se deu o índice de 100 (cem), por ser menos sensível a temperatura (mais viscoso); E outro refinado pelo mesmo método, porém obtido tipicamente no Golfo do México (óleo naftênico), deu-se o índice 0 (zero), por ser o óleo que mais afinava ao se aumentar à temperatura (menos viscoso). Desta forma, todos os outros cairiam entre os dois, devendo obter índices entre zero e cem. Atualmente, graças às técnicas aprimoradas de refino dos óleos, nem todos caem dentro desta faixa entre zero e cem, mas como o método obteve uma grande aceitação e conseqüente difusão, continua sendo largamente utilizado com seus índices calculados por extrapolação. [ALBUQUERQUE, 1972].

O índice de viscosidade possui a seguinte classificação:

- Baixo índice de viscosidade (L.V.I.) $i < 40$
- Médio índice de viscosidade (M.V.I.) $40 < i < 80$
- Alto índice de viscosidade (H.V.I.) $80 < i$

2.4.3 Viscosímetros

Existem vários métodos que foram desenvolvidos para a determinação da viscosidade, baseados nas seguintes medidas:

- Tempo de escoamento de uma determinada vazão, sob a ação da gravidade, em um tubo curto ou em um capilar.
- Momento do binário resistente oferecido à rotação de um cilindro, disco ou palheta.
- Momento binário atuante num disco imóvel, mergulhado no líquido contido por um recipiente em pivotamento.
- Velocidade adquirida por um disco ou cilindro, sob a ação de um binário de momento conhecido.
- Tempo de subida de uma bolha de ar.
- Tempo de queda de uma esfera.
- Outros fenômenos.

Medidas estas que variam com o tipo de aparelho utilizado na medida, onde, neste estudo veremos apenas o caso dos viscosímetros de tubo curto, mais precisamente os Viscosímetros Saybolt Universal e o Saybolt Furol, que serão os utilizados.

2.4.3.1 Viscosímetro Saybolt Universal

Consiste de um tubo conectado a um orifício calibrado, por onde deve escoar o líquido (óleo a ser testado). Este tubo fica mergulhado em um banho de óleo, que é aquecido por meio de uma resistência elétrica. No banho de óleo temos também um termômetro ou um termopar mergulhados, para a medida da temperatura do ensaio. Na parte inferior é colocado um copo aferido para 60ml. [ALBUQUERQUE, 1972].

O líquido a ser ensaiado deve abastecer o tubo, estando o orifício calibrado hermeticamente fechado, aguardando o mesmo estabilizar na temperatura exigida, abre-se o orifício e inicia-se a contagem do tempo, sendo a mesma cessada no instante em que o líquido alcança, no frasco inferior, a marca de 60 ml. O valor da viscosidade é reportado em Segundos Saybolt Universal, abreviado como SSU, a uma dada temperatura.

2.4.3.2 Viscosímetro Saybolt Furol

Aparelho idêntico ao Universal, conforme figura 2.4, mudando apenas o diâmetro do orifício calibrado para o escoamento do óleo, a qual representa um décimo da viscosidade Universal, para o mesmo óleo, à mesma temperatura. Sendo utilizado para produtos cujas viscosidades ultrapassam 1000 SSU.

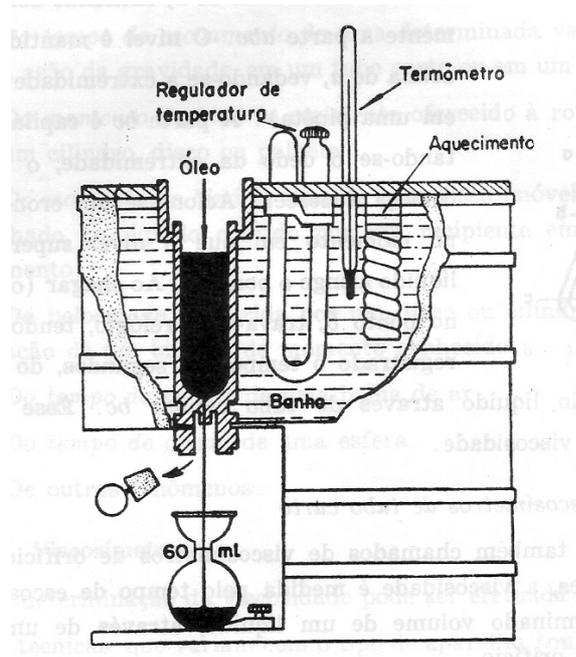


Figura 2.4 – Viscosímetro Saybolt Universal e Furol [ALBUQUERQUE, 1972].

2.4.4 Biolubrificantes

Considera-se todo lubrificante biodegradável e não tóxico para os seres humanos e para o ambiente, podendo ser fabricado a partir de óleos vegetais ou ésteres sintéticos fabricados de óleos renováveis modificados ou de produtos de origem petrolífera. Tendo como principais funções reduzir as perdas de energia mecânica, reduzir o desgaste dos componentes sujeitos a fricção, proteger contra corrosão e diminuir a temperatura de funcionamento das máquinas. Com a vantagem de ser altamente biodegradável, baixa toxicidade, boas propriedades lubrificantes e elevado ponto de inflamação.

3. ESTUDO EXPERIMENTAL

3.1 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1.1 Características do Propulsor Utilizado

Vista e Características do motor GM 4 cilindros de 2500 cm³ de cilindrada, montado na bancada e em representação esquemática mostrando o fluxo de óleo por seu interior, como mostrado na figura 3.1.

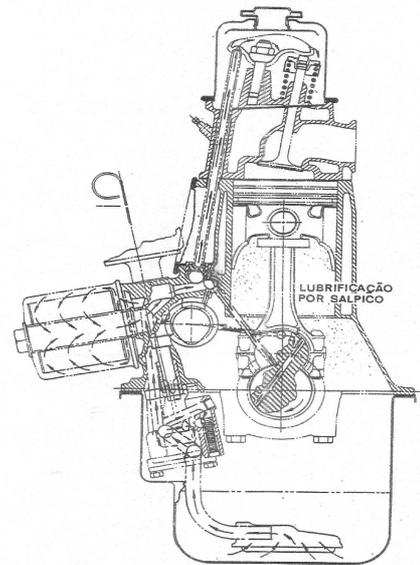
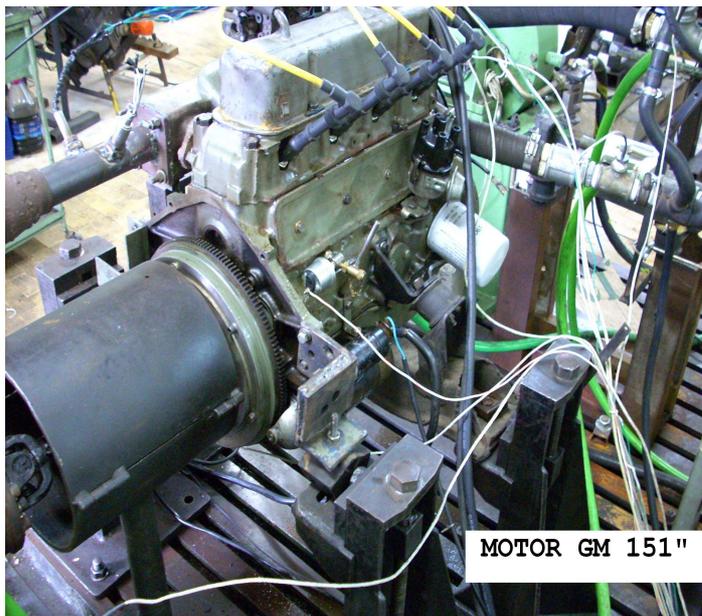


Figura 3.1 – Motor GM de 4 cilindros e 2500 cm³ de cilindrada.

Para este ensaio foram pesadas e medidas as folgas iniciais das peças sujeitas ao desgaste, causado pela utilização do lubrificante testado, durante a montagem de um motor de 4 cilindros com 2500 cm³, fabricado pela General Motors do Brasil de 1969 a 1992 utilizado como propulsor no automóvel Opala, que possui um sistema de lubrificação a pressão através de uma bomba de engrenagem e filtragem total. A tabela 3.1 apresenta as especificações do motor GM utilizado.

Tabela 3.1 – Especificações Técnicas do Motor GM 151“

Cilindros	4
Diâmetro (D)	98,4 mm
Curso (L)	82,5 mm
Volume deslocado (Vd)	627,4 cm ³
Volume câmara de combustão (Vc)	97 cm ³
Abertura da Válvula de admissão	33° APMS
Fechamento da válvula de admissão	81° DPMS
Abertura da válvula de escape	76° APMS
Fechamento da válvula de escape	38° DPMS
Comprimento de abertura das válvulas	10,287 mm
Potencia no eixo	88CV @ 4400 RPM
Torque no eixo	18,6 Kgm @ 2600 RPM

3.1.2 Sistema de Alimentação e Controle do Motor

A alimentação foi feita através de um sistema de injeção monoponto, com o atomizador incorporado ao corpo de borboleta de aceleração, popularmente conhecida como TBFI, controlada por uma central programável denominada Electromotive TEC-II, que utilizava um sensor de pressão absoluta do coletor de admissão (MAP), sensor indutivo de rotação do motor com uma roda fônica adaptada a polia do virabrequim, um sensor de oxigênio (sonda lambda) instalado no escapamento próximo ao coletor de escape, sendo essa de banda larga, fabricada pela Bosch modelo LSU4 e um display da Fuel Tech modelo WB-02 para a medição da relação ar/combustível e controle visual. Como indicado na figura 3.2 e 3.3:



Figura 3.2 – Atomizador, Roda Fônica e Sondas Lambda.

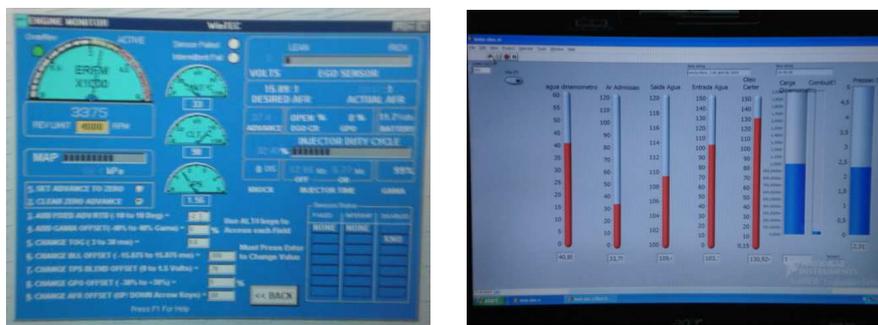


Figura 3.3 – Software de controle da injeção (Electromotive TEC II)

3.1.3. Método

Para a execução deste teste utilizou-se um procedimento estabelecido com base na seqüência III E (ASTM D 5534-94), que dentre outros fatores a se observar, inclui a avaliação do aumento da viscosidade do óleo, consumo de óleo e o desgaste do motor, que são de extrema relevância para este projeto. Este procedimento leva em consideração as semelhanças existentes entre as características do motor Buick 3.8L originalmente utilizado na seqüência III E da norma citada acima e o motor GM 151S 2,5L, para ajustar os parâmetros do teste de maneira a simular as mesmas condições críticas de operação necessárias à execução do teste.

O motor deve ser instalado em uma bancada de testes equipada com equipamentos para controlar a rotação, carga e outros parâmetros necessários à operação do mesmo.

O motor deve ser abastecido com o óleo a ser testado, operado por 10 minutos para fins de ajuste do ponto de ignição e por 4 horas para amaciamento dos componentes novos.

Ao fim do período de amaciamento o motor deverá ser operado sob condições não cíclicas, moderadamente sob alta rotação, carga e temperatura por 64 horas em segmentos de 8 horas.

O nível inicial do óleo no carter do motor deve ser medido após 10 minutos de operação para regulagem do ponto de ignição, remedido após o período de amaciamento e após cada segmento de 8 horas para a medição do consumo de lubrificante durante o teste.

Amostras de óleo usado devem ser coletadas após os 10 minutos iniciais de operação para acerto do ponto de ignição e após cada segmento de 8 horas. Devendo ser determinada a viscosidade à 40°C (104°F), através de um viscosímetro Saybolt, para cada uma das nove amostras coletadas. A variação percentual de viscosidade das últimas 8 amostras deverá ser determinada relativamente à viscosidade da primeira amostra.

Ao final do teste, o motor deverá ser desmontado, os componentes serão inspecionados visualmente para determinar a extensão dos depósitos formados. Adicionalmente, medições de desgaste e um rateio visual serão obtidos para os componentes críticos do trem de válvulas. Perda de peso será determinada para dois mancais, sendo eles, os das bielas e os de apoio da árvore de manivelas.

3.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para este teste procedeu-se a montagem do motor GM 2.5 Litros de cilindrada, como demonstrado no apêndice, onde inicialmente foi realizada a limpeza de todos os componentes utilizados nesta montagem, pesagem das bronzinas de mancal, de bielas e medições das folgas iniciais para posterior comparação, como demonstrado nas tabelas 4.2, 4.3 e 4.4.

Após a etapa de montagem e instalação o motor foi abastecido com água adicionada de 30% de aditivo anticorrosivo, e o óleo vegetal a ser testado. Com o início do funcionamento, acertou-se os parâmetros iniciais, como ponto de ignição, retirando-se a primeira amostra de óleo após 0,2h de funcionamento. O óleo do motor atingiu sua temperatura de trabalho estipulada para o teste, 140°C, passando-se assim para a fase de amaciamento, e ao fim de 4 horas retirou-se outra amostra. Foram retiradas mais duas amostras, uma após 15 horas e outra após 20 horas de funcionamento. De posse destas amostras foram feitas medidas da viscosidade a 40°C, através de um Viscosímetro Saybolt Universal e Furol, ao constatar-se uma elevação na temperatura do óleo e na viscosidade foi decidido pela interrupção do teste e desmontagem do motor para averiguação de desgaste.

3.2.1. Parâmetros de Funcionamento

Os parâmetros utilizados durante o teste no motor foram divididos em 5 etapas, sendo estas, partida, acerto do ponto de ignição, amaciamento, funcionamento normal, retirada de amostras e funcionamento anormal, conforme demonstrado nas tabelas 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 e 3.7 respectivamente.

Tabela 3.2 – Parâmetros da Partida do Motor

Temperatura água (°C)	50
Rotação (RPM)	900
Carga (KW)	0

Tabela 3.3 – Parâmetros da Aferição do Ponto de Ignição do Motor

	Estágio 1	Estágio 2
Duração (min – h)	2 – 3,33E-2	8 – 0,133
Rotação (RPM)	1500	1500
Carga (KW)	0	4,1

Tabela 3.4 – Parâmetros do Amaciamento do Motor

	Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3	Estágio 4
Duração (h)	1	1	1	1
Rotação (RPM)	1500	2500	3000	3300
Carga (KW)	4,1	13,9	20,8	40,0
Temperatura Óleo (°C)	95	95	110	140

Tabela 3.5 – Parâmetros Normais de Funcionamento

Duração (h)	8
Rotação (RPM)	3300
Carga (KW)	40
Temperatura Óleo (°C)	140

Tabela 3.6 – Parâmetros para Retirada de Amostras

Duração (h)	~
Rotação (RPM)	1500
Carga (KW)	0 e 4,1
Temperatura Óleo (°C)	25, 80, 140, 155

Tabela 3.7 – Parâmetros Apresentados nas Condições Anormais de Funcionamento

Duração (h)	0,5
Rotação (RPM)	3300
Carga (KW)	40
Temperatura Óleo (°C)	155

4. RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 VISCOSIDADE

Ao ser constatada o aumento significativo da temperatura que rodeava os 155 °C, tendo decorrido 20 horas de teste, onde os equipamentos utilizados para aumentar a taxa do fluxo de calor para fora do motor já não eram tão eficientes, ou seja, não mantinham a temperatura dentro da faixa de trabalho, logo se procedeu à retirada da última amostra de óleo e a parada do teste. Obtendo a situação indicada na tabela 4.1 e figura 4.1.

Tabela 4.1 – Viscosidade Cinemática do óleo vegetal em Segundo Saybolt Universal (SSU) e Segundo Saybolt Furol (SSF), todos a 40°C.

Tempo (Hs)	Viscosidade SSU @ 40°C	Viscosidade SSF @ 40°C
0	220	-
0,2	236	-
4	489	-
15	1723	133
20	4495	347

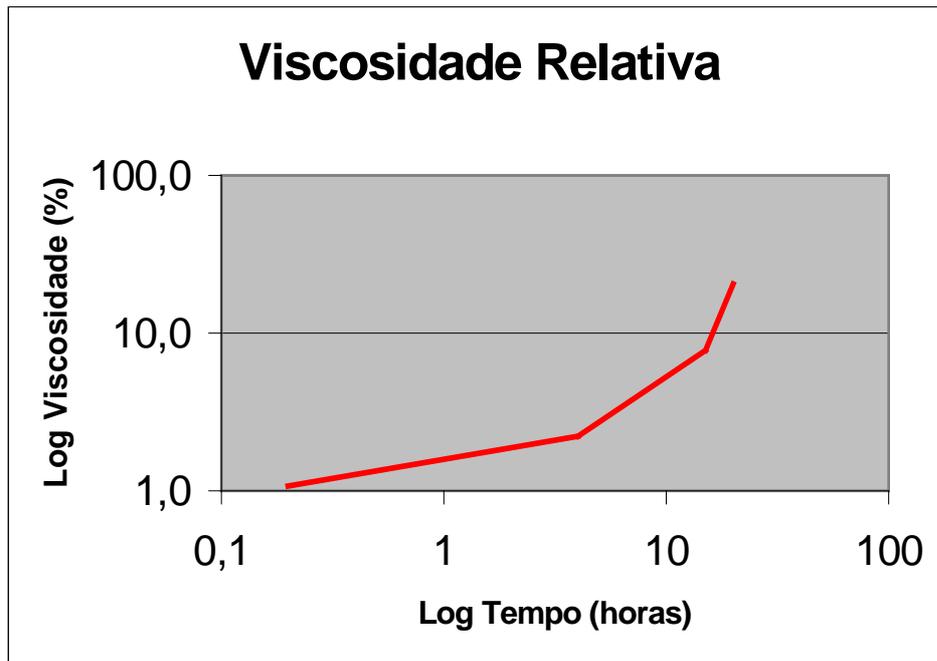


Figura 4.1 –Curva de viscosidade relativa à viscosidade inicial.

4.2 DIMENSIONAL

Com a desmontagem do motor obtiveram-se dados irrelevantes perante o desgaste, nas bronzinas, tabelas 4.2 e 4.3, tanto nas folgas em que se utilizou para medição um micrômetro Mitutoyo modelo 106-105 (50-75mm) com uma incerteza de medição de $\pm 0,002\text{mm}$ e um súbito Mitutoyo modelo 511-474 (50-150mm) com incerteza de medição de $\pm 0,005\text{mm}$, quanto em seus respectivos pesos que se utilizou para pesagem uma balança de precisão Toledo modelo AL204, com incerteza de medição de $\pm 0,0001\text{mg}$. As medidas de folga dos anéis de compressão e raspadores de óleo mantiveram-se as iniciais, sendo medidas através de calibrador de lâminas com incerteza de medição de $\pm 0,4\mu\text{m}$. A folga axial do eixo de manivelas manteve-se a deixada pelo ajuste de montagem, como mostra a tabela 4.5, medida através de um relógio microcomparador Mitutoyo modelo 2109S-10 com incerteza de medição de $\pm 0,005\text{mm}$.

Tabela 4.2 – Dados obtidos antes e após o teste nos mancais de biela.

BIELA Nº / Bronzina	Tamanho (mm)	Folga antes Teste (mm)	Folga após Teste (mm)	Peso antes do Teste (g)	Peso após Teste (g)	Perda de Peso (g)	
1	Superior	50,03	0,04	0,04	26,5963	26,59	0,0063
	Inferior				26,604	26,5995	0,0045
2	Superior	50,03	0,04	0,04	26,5343	26,5279	0,0064
	Inferior				26,6774	26,6723	0,0051
3	Superior	50,03	0,04	0,04	26,6285	26,6205	0,008
	Inferior				26,6016	26,595	0,0066
4	Superior	50,03	0,05	0,05	26,6085	26,6005	0,008
	Inferior				26,554	26,548	0,006

Tabela 4.3 – Dados obtidos antes e após o teste nos mancais da árvore de manivelas.

MANCAL Nº / Bronzina	Tamanho (mm)	Folga Antes Teste (mm)	Folga após Teste (mm)	Peso antes do Teste (g)	Peso após Teste (g)	Perda de Peso (g)	
1	Superior	57,39	0,05	0,05	41,7305	41,7209	0,0096
	Inferior				45,1295	45,1171	0,0124
2	Superior	57,39	0,05	0,05	41,9772	41,9653	0,0119
	Inferior				44,8956	44,8872	0,0084
3	Superior	57,38	0,05	0,05	41,8082	41,7986	0,0096
	Inferior				45,0425	45,0337	0,0088
4	Superior	57,39	0,05	0,05	41,7432	41,7351	0,0081
	Inferior				45,0287	45,0203	0,0084
5	Superior	57,38	0,05	0,05	82,535	82.4264*	Ajuste Montagem
	Inferior				84,5045	84.4017*	Ajuste Montagem

Tabela 4.4 – Medições efetuadas antes e depois do teste nos anéis dos êmbolos.

Folga entre as extremidades dos anéis				
Êmbolo	Anel	Tolerado pela GM (mm)	Medição antes Teste (mm)	Medição após Teste (mm)
1	1º	0,254 ~ 0,508	0,35	0,35
	2º		0,35	0,35
	Raspadores	0,381 ~ 1,397	0,75	0,75
2	1º	0,254 ~ 0,508	0,35	0,35
	2º		0,35	0,35
	Raspadores	0,381 ~ 1,397	0,75	0,75
3	1º	0,254 ~ 0,508	0,3	0,3
	2º		0,3	0,3
	Raspadores	0,381 ~ 1,397	0,75	0,75
4	1º	0,254 ~ 0,508	0,35	0,35
	2º		0,35	0,35
	Raspadores	0,381 ~ 1,397	0,75	0,75

Tabela 4.5 – Folga axial da árvore de manivelas.

Tolerado pela GM (mm)	Medição antes Teste (mm)	Medição após Teste (mm)
0,0508 ~ 0,1524	0,095	0,095

5. CONCLUSÕES

O aumento da temperatura de trabalho do óleo vegetal utilizado para este teste deve-se diretamente ao atrito líquido existente do cisalhamento entre suas próprias moléculas, comprovado pelo aumento da viscosidade, medida neste trabalho.

Ao ser interrompido o teste antes de cumprir todas as etapas previstas, devido ao aumento considerável da temperatura e da viscosidade do biolubrificante, não se obteve desgaste significativo nas partes móveis deste motor, através destes dados prematuros. Mas se a viscosidade do biolubrificante continuasse ascendendo da maneira na qual este trabalho ilustrou, seriam obtidos outros fatores que culminariam no superaquecimento do motor, causando uma queima na junta de vedação de compressão, na dilatação excessiva de suas peças e até mesmo no cessar de movimento dos êmbolos ao serem fixados à camisa por atrito sólido, o que inviabilizaria a utilização deste biolubrificante como alternativa aos lubrificantes comerciais. Para a comprovação total da inviabilidade da utilização do biolubrificante, seria necessário teste complementar de ponto de fulgor das amostras coletas, visto que as mesmas não apresentavam borra que caracterizaria a polimerização do biolubrificante e sua conseqüente degradação.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, O. A. L. P. **Lubrificação**, Editora McGraw-Hill do Brasil Ltda, São Paulo, 1972.

COIMBRA, N. S. **Análise da Variação do Desempenho Utilizando Combustíveis Adulterados em um Motor ASTM CFR**. UFRGS, Porto Alegre, 2008.

GIACOSA, D. **Motores Endotérmicos**, Editorial Científico-Médica, Barcelona, 1967.

MOURA, C. R. S. e CARREITEIRO, R.P. **Lubrificantes e Lubrificação**, Editora LTC, Rio de Janeiro, 1978.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

NEALE, M. J. **Tribology Handbook**, Editora Newnes-Butterworths, Londres, 1975.

Revista “**LUBRIFICAÇÃO**”, Volume 51, Número 6, 1965, “A Lubrificação e o Desgaste”, Texaco Brasil S.A.

Revista “**LUBRIFICAÇÃO**”, Volume 55, Número 8, 1965, “Provas de Motor em Laboratório para Óleos de Carter - I”, Texaco Brasil S.A.

Revista “**LUBRIFICAÇÃO**”, Volume 55, Número 9, 1965, “Provas de Motor em Laboratório para Óleos de Carter - II”, Texaco Brasil S.A.

Revista “**LUBRIFICAÇÃO**”, Volume 51, Número 6, 1965, “Reologia”, Texaco Brasil S.A.

WILDNER, F. D. **Estudo Experimental da Variação de Velocidade de Combustão para Diferentes Combustíveis, Relações de Mistura e Relações de Compressão em um Motor ASTM CFR**. UFRGS, 2006.

APÊNDICE

Em anexo a esse material consta a descrição da montagem do motor utilizado neste trabalho.

Inicia-se pela peça central do motor, o bloco, onde são colocadas as bronzinas de mancal em seus habitáculos, sejam estes no próprio bloco e também nos suportes de mancal, feito isso, colocou-se o virabrequim sobre as bronzinas, 05 capas dos mancais, apertando seus parafusos através da utilização de um torquímetro e 90 N.m de torque, conforme mostrado nas figuras A1, A2 e A3.



Figura A1 – Montagem das bronzinas de mancal.



Figura A2 – Montagem da árvore de manivelas ao bloco.



Figura A3 – Torquímetro utilizado na montagem do motor.

Verificaram-se as folgas entre as pontas dos anéis de compressão para posterior comparação, mostrada na tabela 4.4, montaram-se os anéis de compressão nos êmbolos mantendo uma defasagem de 120° entre a ponta de um e outro, colocando-se os anéis raspadores de óleo seguindo as mesmas medições e a mesma fasagem. Após os êmbolos já estarem com seus anéis devidamente colocados, procedeu-se a colocação das bronzinas nas bielas e em suas respectivas capas por termos as bielas, mostradas na figura A4, neste caso, já constituinte do conjunto biela-êmbolo, então com a utilização uma cinta para comprimir os anéis no êmbolo e observando a frente do êmbolo que deve ser montada para frente do motor, colocam-se os êmbolos em suas respectivas camisas, encaixando de maneira conjunta os mancais de biela à árvore de manivelas já instalada, figura A5. Colocam-se as capas de biela,

suas porcas e as aperta com um torquímetro e um torque de 45 N.m, mostrada na figura A6. Colocam-se os reguladores hidráulicos no bloco, devidamente lubrificados, figura A7.



Figura A4 – Montagem as bronzinas de biela.



Figura A5 – Montagem dos êmbolos com a cinta

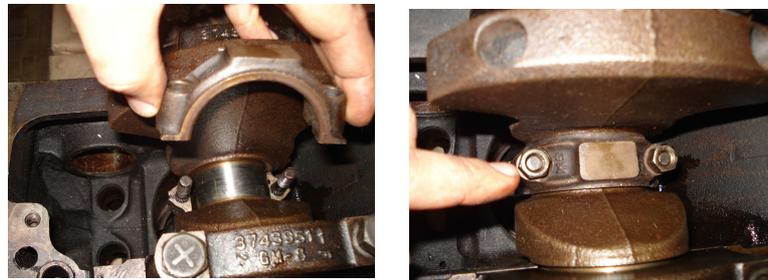


Figura A6 – Montagem e aperto das capas de biela.



Figura A7 – Montagem dos reguladores hidráulicos.

Gira-se a árvore de manivelas para que os êmbolos 1 e 4 fiquem em PMS, introduzimos o comando de válvulas no bloco reparando que as marcas existentes tanto na engrenagem da árvore de manivelas quanto na engrenagem do comando devem se alinhar

para que o motor fique sincronizado em seu ponto de funcionamento, aperta-se os parafusos fixadores do comando com um torque de 10 N.m, mostrado na figura A8.



Figura A8 – Montagem do eixo de comando de válvulas.

Como próximo passo coloca-se o cabeçote do motor, onde as válvulas já se encontram montadas, observando a posição e lado da junta do cabeçote coloca-se a mesma sobre o bloco e se encaixa o cabeçote nos guias existentes no bloco em seguida os parafusos e seguindo uma seqüência de aperto fornecida pelo fabricante para que o cabeçote seja apertado de maneira homogênea sem causar empenamentos, aplica-se o torque de 125 N.m em três etapas, conforme demonstrado na figura A9.



Figura A9 – Montagem da junta do cabeçote e o cabeçote do motor.

Voltando a parte inferior do motor, instala-se a bomba de óleo e o pescador de óleo, a tampa frontal do motor tampa esta que protege as engrenagens sincronizadoras do motor, cárter de óleo, tomando muito cuidado na instalação de sua junta para que não ocorram vazamentos futuros, pois estes podem prejudicar as medições de consumo durante o teste, conforme figura A10.



Figura A10 – Montagem da Bomba de óleo, Tampa frontal e Carter do óleo.

Na parte superior do motor, colocam-se as varetas que irão servir de elemento de ligação entre os reguladores previamente instalados e os balancins de acionamento das

válvulas, feito isso se montam os próprios balancins observando o seu perfeito encaixe, tanto na válvula quanto nas varetas acionadas pelos reguladores hidráulicos e conseqüentemente pelos comes do comando de válvulas. Posiciona-se a junta de vedação na tampa de válvulas e a coloca sobre o cabeçote, apertando seus parafusos de maneira que se obtenha uma vedação perfeita sem danificar a junta conforme figura A11.



Figura A11 – Montagem das varetas, Balancins e Tampa das válvulas.

Para completar a montagem da parte dianteira do motor, coloca-se a bomba d'água, sua polia, a polia da árvore de manivelas, e neste caso, polia esta que contém uma roda fônica utilizada na verificação do ponto de ignição e injeção por um sensor magnético instalado junto ao bloco e conectado a unidade de controle da injeção, instalada também uma correia de ligação entre essas polias. Na lateral esquerda montou-se a tampa lateral de inspeção e em seguida o distribuidor será instalado para fins de vedação, colocou-se o medidor de pressão de óleo com uma válvula de sangria para as retiradas das amostras de óleo ao longo do teste e o filtro do óleo. Ainda no lado esquerdo, foram instaladas as velas de ignição no cabeçote. No lado direito colocaram-se os coletores de admissão e de escape, onde este último era composto de uma mufla refrigerada a água, onde, um flange para sua ligação à surdina e acomodação das sondas, foi projetada e construída neste experimento, para mantê-lo abaixo dentro da temperatura de trabalho do motor, já que não se pode contar com a refrigeração proveniente do movimento ar no deslocamento do veículo, pois este será um teste executado em bancada. E por fim instala-se o retentor traseiro da árvore de manivelas e o volante do motor, a massa de inércia do mesmo na parte traseira. Ao término da montagem do motor parte-se para a colocação dele sobre a bancada e acoplado ao dinamômetro. Como demonstrado na figura A12.



Figura A12 – Bomba D'água, Tampa lateral, distribuidor e instalação no dinamômetro.