

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ANÁLISE DE EMISSÕES DE GASES EM MOTOR DIESEL COMPARANDO  
DIESEL COM BIODIESEL

por

Mateus Borges Knapp

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.

Porto Alegre, Junho de 2010

DIMENSIONAMENTO DE DESUPERAQUECEDOR E SUBRESFRIADOR EM UM  
CONDENSADOR EVAPORATIVO

por

Mateus Borges Knapp

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

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

Área de Concentração: Energia e Fenômenos de Transporte

Orientador: Prof. Dr. Pedro Barbosa Mello

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Adriane Prisco Petry

Prof. Dr. Sergio Luiz Frey

Prof. Dr. Bardo Bodmann

Porto Alegre, 18 Junho de 2010

KNAPP, M. B. **Analises de emissões de gases em motor Diesel comparando diesel com biodiesel.** 2010. 25f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

## RESUMO

Este trabalho se propõe a analisar as emissões de gases em um motor diesel fazendo a coleta de dados com dois tipos distintos de combustível, Diesel e Biodiesel. O equipamento usado para mensurar os gases e comparar as emissões dos mesmos em diferentes situações foi o GreenLine, produto usado para essa finalidade. As informações foram adquiridas no escapamento de um Motor de sistema *Interact* que utiliza como injeção *Common Rail* e bomba CP3, com válvula Mprop que dosa o débito de combustível para o mesmo, nesse caso em aplicação automotiva; conseguindo uma pressão constate em todos os cilindros de forma uniforme sendo controlado pelos injetores que são acionados pelo módulo ( ECM ). Por fim, a variadas rotações conclui-se que o gerenciamento do motor para os gases é mais efetivo usando biodiesel, onde melhorou a emissão em 5% a 9% em toda curva de torque e potência comparando a o Diesel.

**PALAVRAS-CHAVE:** (Emissões de gases; Diesel; Biodiesel; GreenLine,Common Rail)

KNAPP, M. B. **Analysis of gas emissions in diesel engine comparing diesel whit biodiesel.** 2010. 25f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

#### ABSTRACT

This present work aims to analyze gás emissions in a duesel engine through the data acquisition of two different fuel types: diesel and bio-diesel. The equipament used to measure the gases and compare the emissions of them in different situations was the GreenLine, a product used for this purpose. The information were obtained in the Interact System's engine exhaust that uses Common Rail injection and CP3 punp valve Mprop dosing the fuel flow to it, in this case in automotive applications getting one finds pressure on all cylinders uniformly being controlled by the injector that are triggered by the module ( ECM ). Finaly, the various rotations it appears that the engine management of the gases is most effective using biodiesel, where the issue has improved by 5% to 9% across the torque curve and power compared to diesel.

**KEYWORDS:** (Gas emission; Diesel; Biodiesel; GreenLine; Common Rail )

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>1</b>
2.1 Motores Diesel.....	1
2.1.1. Motores estacionários.....	2
2.1.2. Motores industriais.....	2
2.1.3. Motores veiculares.....	2
2.1.4. Motores Marítimos.....	2
2.2. Sistema auxiliar de partida.....	3
2.3. Princípio de funcionamento.....	3
2.3.1. Motores Quatro tempos.....	4
2.4. Poluentes nos gases de escape.....	5
2.5. Origem dos poluentes.....	6
<b>3. METODOLOGIA DE MEDIÇÕES.....</b>	<b>6</b>
3.1. Motor ISBe.....	6
3.2. Monitoramento do motor ISBe.....	7
3.3. Interface do software de monitoramento do motor.....	8
3.4. Conexão do hardware com o Motor.....	8
3.5. Instrumentação do motor ISBe.....	9
3.6. Combustíveis testados.....	9
3.7. Rotação do motor e duração dos testes.....	10
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>10</b>
4.1. Monitoramento do motor.....	10
4.2. Gases no escapamento do motor.....	13
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>15</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>15</b>
<b>ANEXO A .....</b>	<b>16</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>17</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente o controle de emissões de gases em motores diesel tem sido amplamente discutido em muitos países devido ao grande número de poluentes que são lançados diariamente na atmosfera, ocasionado pelo crescimento descontrolado de todos os setores da economia mundial, entre eles o automotivo e industrial; influenciando diretamente na qualidade de vida das pessoas e com isso estimulando o crescimento da união de pesquisadores e empresas que precisam se adaptar a esse novo conceito e buscar soluções para amenizar e garantir de forma equilibrada uma melhor expectativa a todos, entre as soluções está o desenvolvimento do produto que atinja uma grande parcela de biodiesel, onde se estuda que a eliminação dos gases após a combustão possui uma menor concentração maléfica.

Este trabalho coleta dados sobre a emissão de alguns dos componentes que são expelidos pela motorização diesel após a sua queima e conseqüentemente sua eliminação para o ambiente nas mais diversas rotações; marcha lenta, região de torque e máxima potência. Os Registros dos dados serão através do equipamento Green Line que é capaz de capturar informações que serão mensuradas no escapamento, utilizando como fonte de energia o diesel e o biodiesel, logo após a emissão dos gases pelo turbo compressor de um motor com desempenho automotivo, que hoje domina a produção das linhas de montagem desse segmento de mercado.

Essa possível mudança na alimentação dos motores diesel está se solidificando cada vez mais e entender os seus efeitos é extremamente importante para o êxito do programa, fazendo com que seja possível estudar paralelamente as duas soluções proposta e aprimorar os estudos de forma a buscar a excelência e uma melhor qualidade de vida para todos

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Motores Diesel

Os Motores Diesel são máquinas térmicas alternativas dotadas do sistema de auto-ignição, de combustão interna com o máximo grau de eficiência, com a finalidade de suprir ,a determinada aplicação, energia mecânica ou força motriz de acionamento; aspirando somente o ar e submetendo-o a alta compressão. A origem se deve ao Engenheiro francês nascido em Paris Rudolf Diesel, responsável pelo desenvolvimento do protótipo em Augsburg – Alemanha, no período de 1893 a 1898. Os primeiros registros de testes bem sucedidos foram realizados no dia 17 de fevereiro de 1897, na *Maschinenfabrik Augsburg*.

A Crescente busca por equipamentos que utilizam o sistema diesel se deve principalmente ao seu consumo consideravelmente melhor que veículos como motores a gasolina e em função dessa redução no combustível, a emissão de CO<sub>2</sub> responsável pelo efeito estufa, também é reduzido para o ciclo supracitado, o que o coloca em destaque frente as organizações ambientais.

Para a aplicação Diesel é possível empregar dois tipos de injeção, em motores com antecâmara e motores com injeção direta; onde o injetor do combustível , para o último caso, pode ser centralizado ou deslocado mas ambos com pulverização do diesel direto na parte superior do pistão, o que gera um trabalho mais econômico e maior grau de eficiência, em contrapartida, a utilização da antecâmara é visto com uma solução para menores ruídos pois ocorre uma queima “ suave “ na câmara principal devido ao aquecimento progressivo. Duas situações distintas, porém não perdendo a característica do sistema Diesel.

### 2.1.1 Motores estacionários

Destinado ao acionamento de máquinas estacionárias, geralmente aplicado a Grupos Geradores, máquinas de solda, bombas ou demais aplicações que necessitam da rotação constante devido às bombas hidráulicas aplicadas ou a frequência determinada. Assim como os motores industriais, a linha mencionada possui também uma grande rejeição de calor e em virtude de ser estacionário existe a necessidade de um correto dimensionamento do sistema de refrigeração, pois não existe a ventilação forçada como nas aplicações veiculares, fazendo com que a hélice usada para o resfriamento do radiador, e em alguns casos intercooler, seja soprante. Um dos principais fatores de aquecimento do motor para essa aplicação é a recirculação do ar, onde entra a importância do correto dimensionamento do conjunto e homologação com testes efetuados nos níveis mais críticos para o trabalho.

### 2.1.2 Motores Industriais

Possui como foco de mercado máquinas destinadas a construção civil, com aplicação similar a motores estacionários, tais como Carregadeiras, tratores, guindastes compressores de ar, máquinas de mineração, veículos de operação fora-de-estrada, acionamento de sistemas hidrostáticos e demais situações onde se necessita características especiais e rotação variável. Com uma resposta muito rápida à diferentes cargas aplicadas, faz com que a queda da rotação seja inferior frente as aplicações automotivas devido as suas particularidades no sistema de injeção, onde a grande diferença está no governador da bomba injetora que possuem contrapesos que efetuam o débito de combustível instantaneamente quando solicitado, utilizados em bombas injetoras em linha, que é movido pelo eixo comando. Nas bombas distribuidoras possui um único eixo que é lubrificado pelo próprio combustível e é o responsável pela distribuição do mesmo para os cilindros. Na linha eletrônica também possui um diferencial com relação ao comportamento veicular, novamente com uma resposta mais rápida.

### 2.1.3 Motores Veiculares

Um dos focos do mercado nacional e um dos maiores segmentos de produção. Destinados ao acionamento de veículos de transporte em geral, tais como caminhões e ônibus. Hoje devido ao crescimento do mercado de caminhões e ônibus, a motorização veicular está presente nesse segmento e difere-se dos demais pelo seu sistema de injeção, com uma resposta “ suave” quando solicitado, o que permite a dirigibilidade do veículo e o controle do condutor. É o setor onde as atenções das emissões de gases estão mais voltadas e que está mais adequado com as normas ambientais, diferentemente da linha industrial onde ainda existem motores sem controles de emissões. Uma grande parcela desse segmento já está migrando para a linha eletrônica, onde certamente se consegue um gerenciamento melhor da injeção do combustível e do ar, chegando mais próximos da mistura estequiométrica proposta como ideal.

### 2.1.4 Motores Marítimos

Destinados à propulsão de barcos e máquinas de uso naval. São motores que necessitam aplicações especiais, pois possuem um diferente sistema de refrigeração, conforme o tipo de serviço e o regime de trabalho da embarcação. Geralmente é possível efetuar uma solicitação de potência acima das demais aplicações devido ao sistema extremamente eficiente de refrigeração. Algumas aplicações utilizam o sistema de quilhas, que passam embaixo do barco e onde circula a água do motor que troca calor com a água do mar ou do rio de forma muito eficaz, pois a temperatura da água do meio onde está inserido a quilha, não alterará.

## 2.2 Sistema auxiliar de partida

Devido a temperatura inicial para as partidas a frio, os motores apresentam, ainda mais que motores Diesel quentes, dificuldade de partida ou ignição, por que as perdas por vazamento e de calor reduzem a pressão e a temperatura no fim da compressão da mistura ar-combustível.

Conforme *Riesemberg* (1998), o emprego de sistemas auxiliares é muito importante para as situações supracitadas. A temperatura limite da partida depende do tipo de construção do motor e entender como será seu funcionamento é extremamente importante assim como o local onde o mesmo será solicitado, sendo em aplicações industriais como aplicações automotivas. Motores com antecâmaras, como citados acima, e de turbilhonamento possuem uma vela de pino incandescente na câmara de combustão secundária como “ponto quente” ou uma grade que é aplicada na tubulação de admissão do ar, fazendo assim o aquecimento do mesmo para um melhor funcionamento, quando necessário. Nos motores pequenos de injeção direta, esse ponto quente se encontra na periferia da câmara de combustão. Grandes motores de injeção direta para veículos, tanto aplicação industrial com veicular, trabalham alternativamente com pré-aquecimento do ar no coletor de admissão ou com combustível especial com alta predisposição à ignição, injetado no ar aspirado.

Uma vela de pino incandescente consiste em um elemento tubular de aquecimento que, no interior do tubo incandescente anticorrosivo possui um espiral, formada por dois resistores conectados em linha: a espiral de aquecimento disposta na ponta do pino de velas incandescente e a espiral de regulagem, com isso enquanto um espiral de aquecimento possui um resistor quase independente da temperatura, a espiral de regulagem apresenta um coeficiente de temperatura positivo. Com o aumento da temperatura sua resistência aumenta ainda mais nas velas de pino incandescente de nova geração que nas velas de pino incandescente convencionais. As novas velas de pino incandescente destacam-se por atingirem a temperatura necessária para ignição (850°C em 4 s) e por uma temperatura permanente mais baixa.

Essa pós-incandescência favorece a aceleração e o aquecimento com ruído e emissões de gases

## 2.3 Princípio de Funcionamento

Os Motores de Combustão interna são classificados segundo o tipo de combustível que utilizam; denominando-se Ciclo Diesel ou Ciclo Otto.

Os Motores Ciclo Otto são aqueles que aspiram a mistura ar-combustível antes de ser comprimida, onde a combustão é provocada por centelha produzida por uma vela de ignição. É o caso de todos os motores a gasolina, álcool, gás ou metanol, que são geralmente utilizados em aplicações automotivas ou de geração de energia.

Os Motores Ciclo Diesel, diferentemente do ciclo Otto, aspira o ar e após ser comprimido no cilindro devido ao trabalho dos pistões, é injetado o combustível momentos antes do ponto máximo superior do curso das partes de performance (pistão), com uma pressão superior àquela em que se encontra o ar. A Combustão ocorre por auto-ignição quando o combustível entra em contato com o ar aquecido pela pressão elevada. Geralmente os motores do ciclo supracitado utilizam óleo Diesel comercial, porém paralelamente a essa solução para que ocorra a combustão, existem outros combustíveis, tais como nafta, óleos minerais e óleos vegetais que podem ser utilizados em motores construídos especificamente para essa aplicação.

### 2.3.1 Motor de Quatro tempos



Conhecido como quatro tempos, o motor opera devido a duas revoluções na árvore de manivelas, o que confere quatro cursos do pistão, dividido em 4 estágios de performance diferentes.

No primeiro tempo, devido a necessidade da admissão do ar, em movimento descendente ocorre a aspiração do mesmo em motores ciclo diesel. A admissão da mistura ar-combustível, no ciclo Otto, ocorre através das válvulas de admissão, podendo ser duas ou apenas uma para motores que possuem duas válvulas por cilindro. Existem variados regimes de trabalho, alguns necessitam Turbo compressores devido a necessidade de uma maior potência ou operação a altas altitudes, o que confere uma pressurização maior após a admissão do ar e, conseqüentemente uma temperatura elevada.

Localizado no ponto máximo inferior (PMI), tem-se o início do segundo tempo do motor, relacionado aos 180° faltantes para completar a primeira revolução na árvore de manivelas que compreende os 360° de uma rotação completa, onde inicia-se o período de compressão no cilindro com o pistão em movimento ascendente, momento antes de atingir o ponto máximo superior ocorre a ignição por centelha, para motores Otto, ou a auto-ignição para motores diesel, nessa etapa temos tanto válvulas de admissão como válvulas de escape fechadas, para que ocorra uma correta compressão sem que ocorra fulga da mistura ar-combustível e gases provenientes da combustão

Após a compressão e o processo de combustão finalizados, tem-se o início do terceiro tempo e a segunda revolução na árvore de manivelas com o pistão, novamente, em movimento descendente devido a expansão dos gases e a transferência de energia ao mesmo, nesse momento as válvulas ainda permanecem fechadas

No quarto tempo, finalizando as duas rotações que conferem o funcionamento do motor em questão, temos o término de um ciclo completo, onde o pistão em movimento ascendente empurra os gases resultados da combustão para a atmosfera, onde a(s) válvula(s) de escape está aberta e a de admissão fechada.

O correto funcionamento das válvulas é possível devido a árvore do comando de válvulas que em rotação diferenciada da árvore de manivelas (1:2) permite essa sequência de abertura e fechamento. A figura 1 mostra um modelo de motor ciclo diesel 4 tempos.:

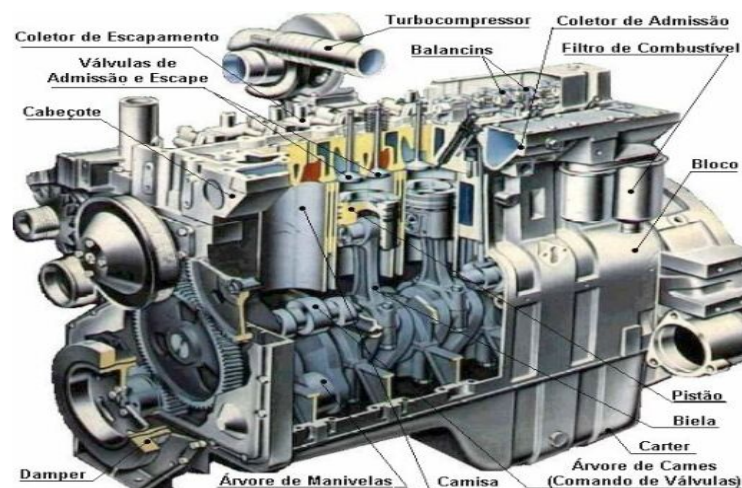


Figura 1: Motor Diesel 4 tempos

#### 2.4 Poluentes no gás de escape

Motores Diesel trabalham com a formação da mistura “ interna”, onde a combustão ocorre durante os dois estágios do processo, durante e após a alimentação do combustível, influenciada pelo processo de formação da mistura.

A pulverização do combustível na câmara ocorre um pouco antes do ponto morto superior, onde nesse momento o ar está altamente comprimido e conseqüentemente aquecido. O combustível se inflama espontaneamente após um determinado atraso da ignição. Na figura 2 é possível verificar a comparação das emissões de poluentes no teste Europa ( Motores de 4 cilindros, 1,7l cilindrada, série Europa 1992 ). 1 motor ciclo Otto, 2 motor Diesel.

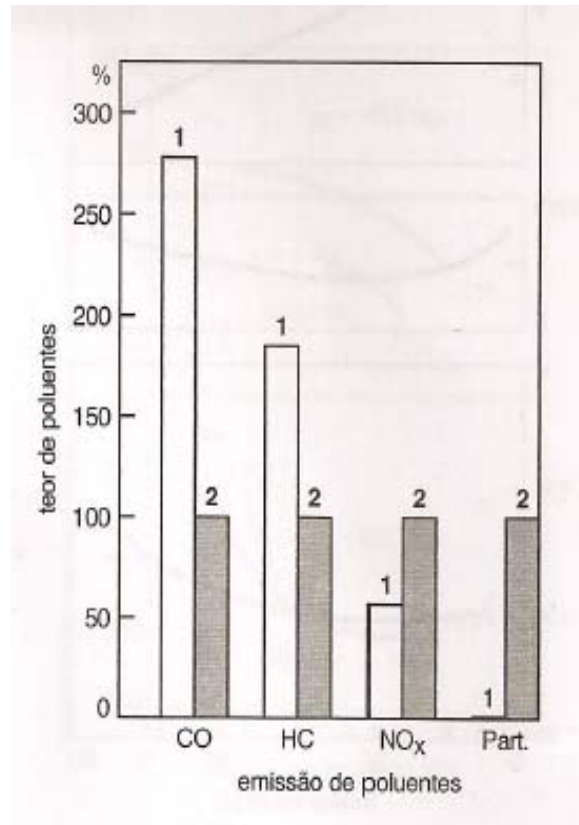


Figura 2: Comparação de emissões do ciclo Otto (1) e ciclo Diesel (2) (Fonte: Dieselinspritztechnik im überblick, 1998)

Existem três pontos que podem ser levados em consideração sobre a emissão dos poluentes, que são o início da injeção, curva de injeção e atomização do combustível. O início da injeção possui grande participação no início da combustão, com isso se existir um atraso na mesma sofrerá alteração nos valores pré-determinados para a curva de performance projetada, diminuindo a emissão de óxido de enxofre e aumentando a emissão de hidrocarbonetos. O tempo em que ocorre a mistura do combustível pulverizado pelos injetores com o ar admitido do coletor de admissão é muito curto, na faixa de milésimos de segundos; por isso em caso de atraso de injeção ocorre a formação de uma mistura heterogênea, podendo ser classificada em pobre, quando possui pouco

combustível e rica, quando a mesma ocorre com combustível em excesso, fugindo assim da relação estequiométrica que busca-se para minimizar os efeitos dos poluentes.

### 2.5 Origem dos Poluentes

As reações da combustão ocorrem durante o aquecimento das áreas ricas ( combustível ), no manto de vapor da gotícula de combustível, que é onde se forma o carbono livre. Se durante a progressão da reação a combustão dessas partículas de carbono foi impedida

devido a uma mistura deficiente ar-combustível, reencontraremos essas partículas como partículas de fuligem no gás de escape. A importância do correto gerenciamento da combustão está ligado diretamente nas emissões dos particulados, de forma que ocorra de forma a não impactar o ambiente, onde os motores eletrônicos sobressaem sobre os mecânicos, em virtude de todo valor agregado que a o controle eletrônico do módulo do motor é capaz de gerenciar, fazendo com que a relação estequiométrica ande junto a curva de desempenho, nem acima e abaixo, que indica débitos incorretos de combustível e ar. As partículas expelidas pelo motor diesel consiste em uma maior parte de partículas de carbono (fuligem) e o restante formado por combinações de hidrocarbonetos e em um menor volume de sulfatos em forma de aerossóis (elementos sólidos e líquidos finamente dispersos nos gases) onde é liberado a atmosfera devido ao alto teor de enxofre no Diesel, ponto onde o programa de Desenvolvimento de tecnologia do óleo diesel atua fortemente para buscar a melhor relação para combustão. Devido ao diâmetro dos particulados ser de apenas alguns décimos de milésimos de milímetro, se apresentam suspensos no ar e por isso elas atingem os pulmões humanos mas pelo mesmo motivo são em grande parte novamente expiradas.

A participação das emissões veiculares em toda a carga de partículas do ar é de aproximadamente 10%. Como emissões diretamente perceptíveis, as emissões de fumaça preta, fumaça azul e fumaça branca do motor Diesel, tal como cheiro do gás de escape, são consideradas particularmente incômodas. Um tratamento posterior do gás de escape do motor diesel deve resolver este problema, onde a emissão de partículas pode ser reduzida em cerca de 75%.

### 3. METODOLOGIA DE MEDIÇÕES

#### 3.1 Motor ISBe

Para o desenvolvimento das medições propostas foi utilizado um Motor da Marca Cummins ISBe, Interact system família B eletrônico de 5.9 litros com desempenho automotivo. Possui a linha de injeção da Bosch com sistema Common rail e bomba injetora CP3. Motor usado atualmente em linhas de produção de algumas montadoras de caminhões no Brasil. Na figura 3 podemos ver o motor usado para medições dos gases e monitoramento dos demais parâmetros, testados para duas situações de combustíveis, Diesel e Biodiesel.

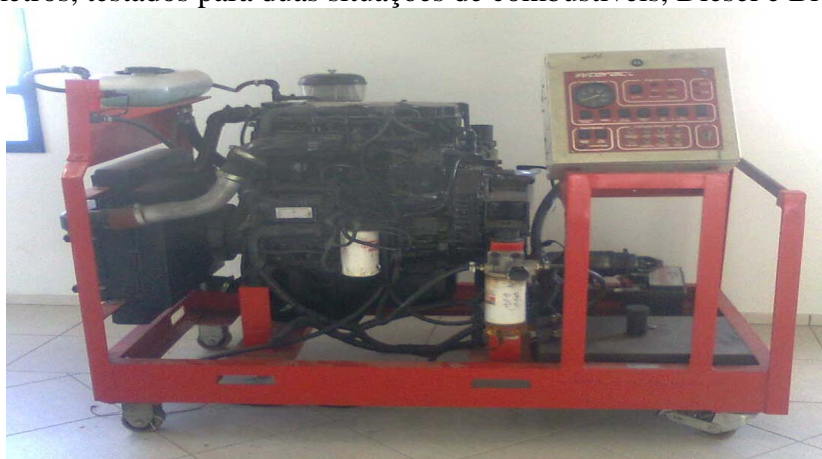


Figura 3: Motor usado nos testes entre os dois combustíveis

Seguem abaixo os dados do motor:

Número de série do Motor: 30800184

Shop Order: 98008

Planta de produção: BZL - Brasil

Lista de peças Críticas : 2953

Data de produção: 03 Abril de 2004

### 3.2 Monitoramento do Motor ISBe

Durante os testes realizados, monitoramos o motor em questão através do software desenvolvido para tal finalidade, o Insite, programa elaborado pela Cummins inc. que lê todos os parâmetros do motor e é capaz de efetuar o monitoramento para verificar funcionalidade, além de diagnosticar falhas. Na figura 4 pode-se observar uma foto do módulo que efetua o gerenciamento do motor ISBe.



Figura 4: Módulo do Motor ISBe testado

Ao longo dos dois testes efetuados do desempenho do motor com diesel e biodiesel, observamos os itens abaixo para verificar se ocorreria alguma alteração no desempenho, para certificar-se do correto funcionamento, o programa insite proporciona esse efeito devido a todos os sensores localizados em todos as áreas do motor,. Entre elas sistema de ar, sistema de lubrificação, sistema de combustível e sistema de arrefecimento. Existe a preocupação com o desempenho das partes de performance. Seguem abaixo:

- Pressão de óleo lubrificante;
- Temperatura água ;
- Temperatura de admissão do ar;
- Temperatura do óleo Lubrificante;
- Pressão no Common Rail;
- Débito de combustível.

### 3.3 Interface do Software de monitoramento do Motor

A interface do programa nos proporciona, de maneira fácil e explicativa, monitorarmos os dados que desejamos. Na figura 5 é possível verificar como é a comunicação com o módulo de controle do motor, é possível tanto o controle como alterar parâmetros onde consegue-se trabalhar em cima da curva de desempenho do motor, alterando tanto torque como potência, porém o mesmo perde as características de fabricação.



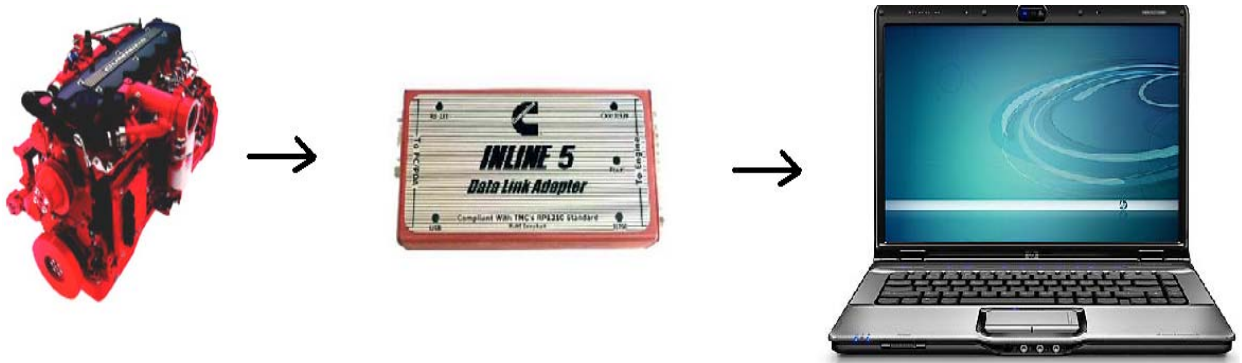


Figura 7: Conexão completa do motor aos dados traduzidos ao operador

### 3.5 Instrumentação do Motor ISBe

As informações dos gases de emissões foram captadas na saída do motor, na curva de 90° virada para cima, que liga o turbo compressor ao escapamento. Na figura 8 é possível verificar a disposição do motor.

No local em questão instrumentamos com o equipamento Green line, leitor de gases.



Figura 8: Curva de 90° do turbo

### 3.6 Combustíveis Testados

Os testes foram realizados com dois tipos de combustíveis, para analisar a comparação das emissões entre ambos.

Foram coletados 2 litros de Diesel B0 e 2 litros de Diesel B5 dispostos em recipientes separados

### 3.7 ROTAÇÕES DO MOTOR E DURAÇÃO DO TESTE

Foram coletadas as informações as seguintes RPM:

- 800 Rpm ( Marcha lenta )
- 1500 Rpm – 1400 Rpm ( Região Torque máximo )
- 2500 Rpm ( Região potência máxima)

Para todas as situações, efetuamos os testes captando os dados a cada milésimo de segundo e coletados nas rotações citadas acima. Ao partir o motor começou-se a monitorar o mesmo, com 2 minutos para marcha lenta, 2 minutos para região de torque e 2 minutos para potência máxima, podendo assim entender toda a evolução do sistema antes que o mesmo estabilize. O Primeiro teste foi efetuado com a duração indicada e após resfriar o motor para as condições dos testes anteriores aplicou-se novamente para o outro combustível.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Monitoramento do Motor

Para o completo teste de emissões dos gases no escapamento, fez-se necessário o monitoramento para certificar-se do desempenho do motor.

Na figura 9, é possível verificar o comparativo da pressão da galeria principal do óleo entre o teste realizado com diesel e biodiesel:

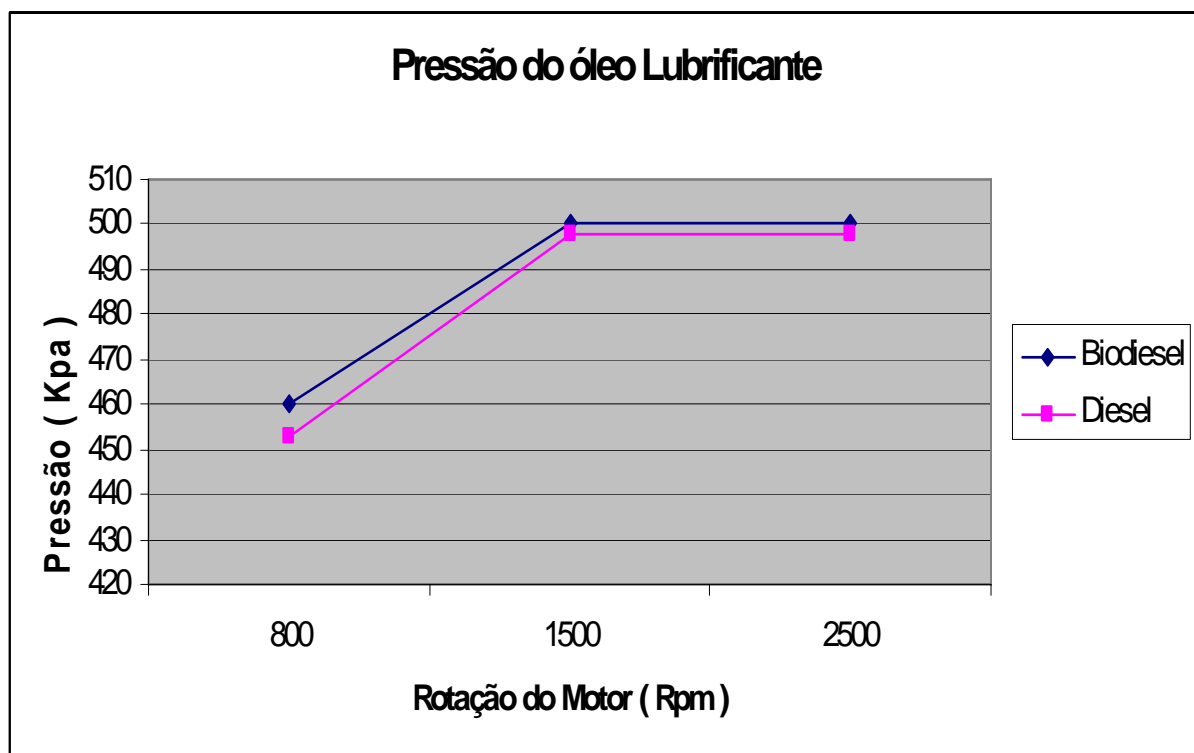


Figura 9: Comparação da pressão da galeria principal do óleo lubrificante no teste realizado

Na figura 10, segue comparativo da temperatura de admissão de ar captada no coletor de admissão do mesmo:

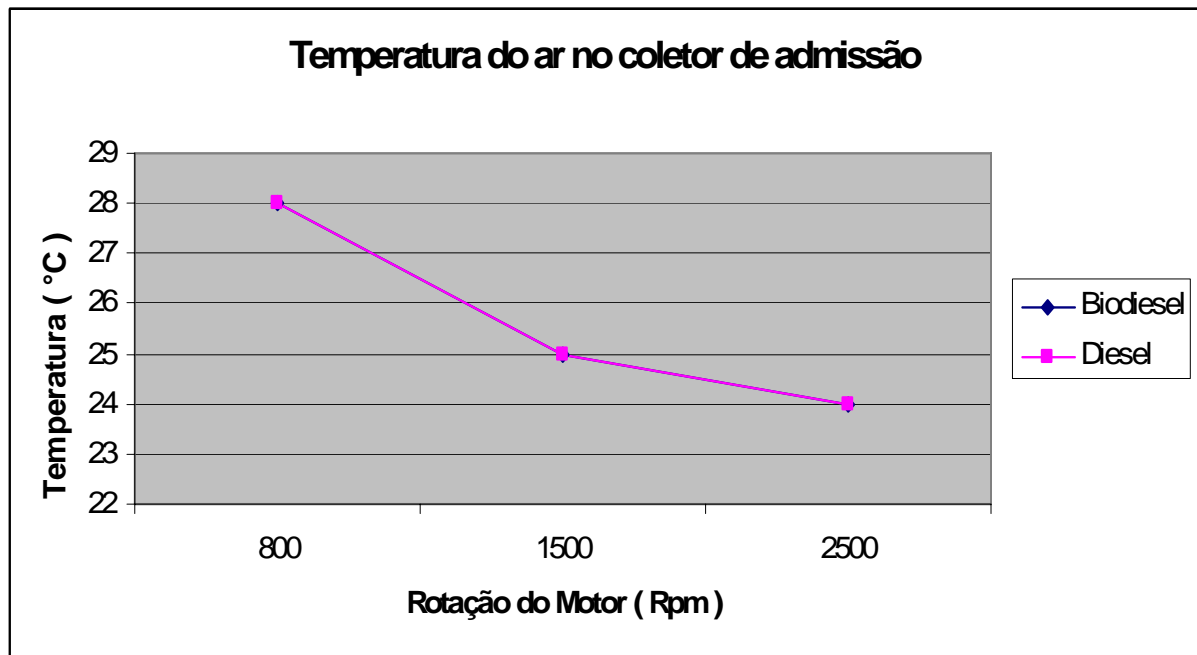


Figura 10: Comparativo da temperatura de admissão do Ar entre os dois combustíveis testados.

A figura 11 apresenta comparação do sistema de refrigeração do motor no teste efetuado entre os dois combustíveis.

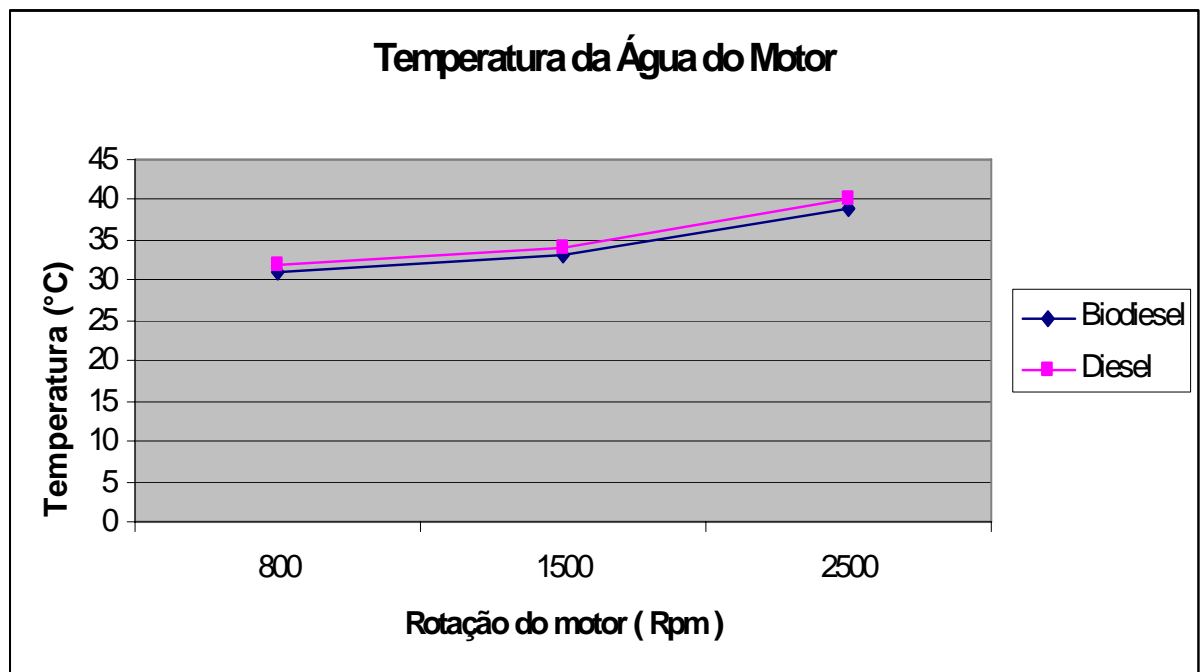


Figura 11: Comparativo do sistema de refrigeração do teste efetuado com os dois combustíveis.



A figura 12 mostra a temperatura do óleo lubrificante no cárter, comparativamente entre os dois combustíveis testados:

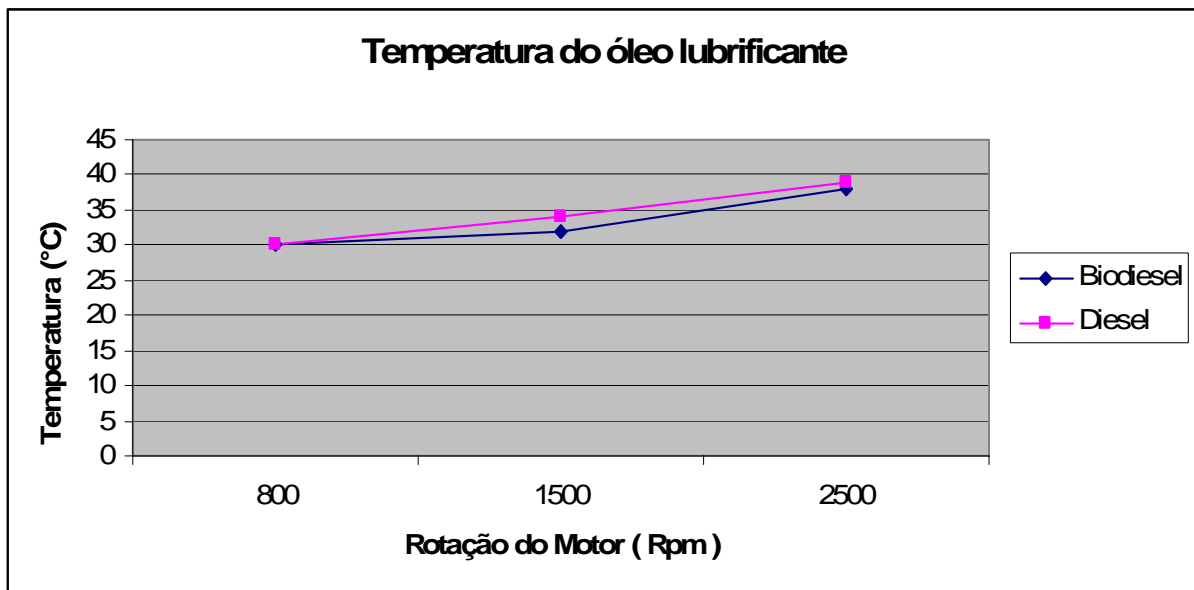


Figura 12: Comparativo entre a temperatura do óleo lubrificante no cárter, comparativamente entre os dois combustíveis testados.

Na figura 13 podemos observar a pressão medida no Common Rail, em um primeiro momento com diesel (B0) e em um segundo momento com Biodiesel (B5)

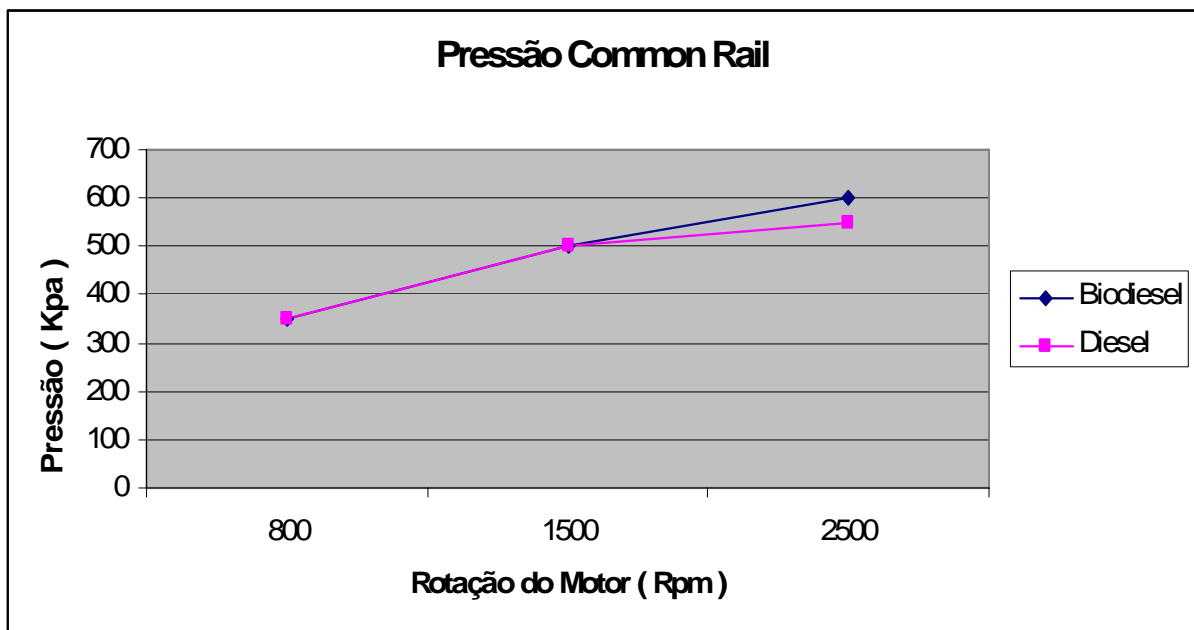


Figura 13: Comparativo entre as pressões do common rail para os dois casos propostos

Na figura 14 é possível analisar o débito do combustível em porcentagem para as rotações propostas.

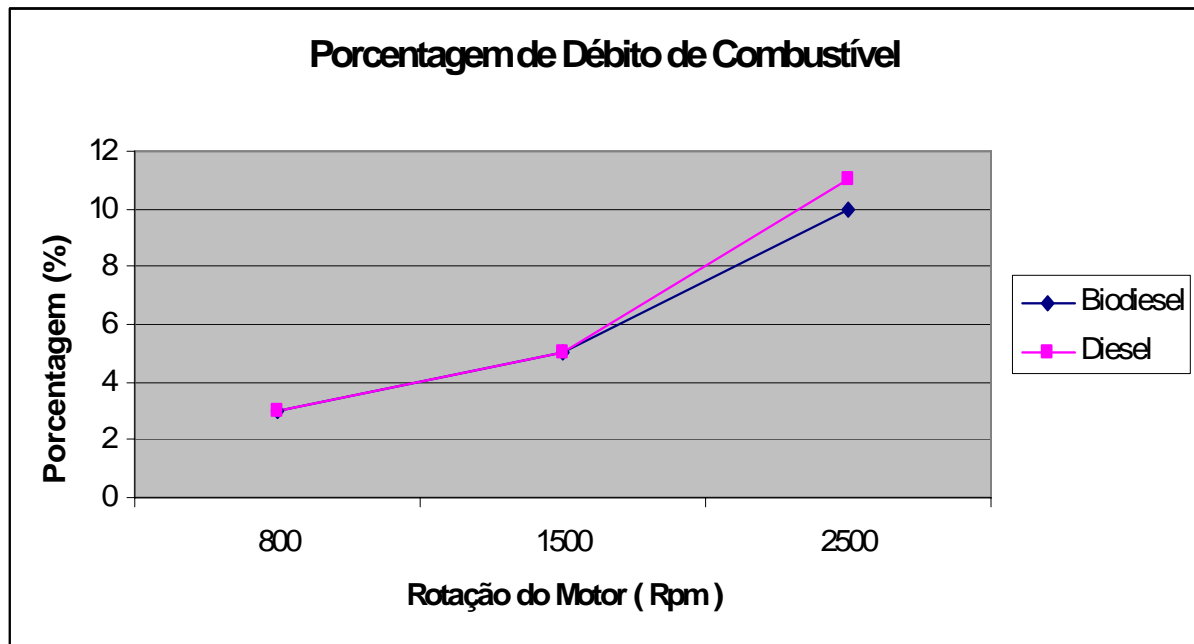


Figura 14: Comparativo entre os débitos de combustível para os dois casos propostos

#### 4.2 Gases do escapamento do motor

Após realizar os testes com o motor supracitado, chega-se no ponto principal que a medição dos gases e entender a solução proposta,

Na tabela 1, temos o demonstrativo da captação dos gases no escapamento do motor proposto, para essa primeira situação utilizamos o Diesel B0 :

Tabela 1 – Dados captados no escapamento do motor utilizando diesel B0

<b>Rotação do Motor</b>	<b>800 Rpm</b>	<b>1500 Rpm</b>	<b>2500 Rpm</b>
<b>O2</b>	<b>18.6%</b>	<b>18.1%</b>	<b>17%</b>
<b>CO2</b>	<b>1.8%</b>	<b>2.1%</b>	<b>2.8%</b>
<b>CO</b>	<b>0ppm</b>	<b>3 ppm</b>	<b>3 ppm</b>
<b>NO</b>	<b>320 ppm</b>	<b>163 ppm</b>	<b>205 ppm</b>
<b>NOX</b>	<b>332 ppm</b>	<b>168 ppm</b>	<b>209 ppm</b>

Na tabela 2, temos apresentado o demonstrativo dos gases coletados no escapamento do moto utilizando Biodiesel B5:

Tabela 2 – Dados captados no escapamento do motor utilizando Biodiesel B5

<b>Rotação do Motor</b>		<b>800 Rpm</b>	<b>1500 Rpm</b>	<b>2500 Rpm</b>
<b>O2</b>		<b>18.6%</b>	<b>18.1%</b>	<b>17.7%</b>
<b>CO2</b>		<b>1.7%</b>	<b>2.2%</b>	<b>2.4%</b>
<b>CO</b>		<b>3 ppm</b>	<b>2 ppm</b>	<b>10 ppm</b>
<b>NO</b>		<b>298 ppm</b>	<b>128 ppm</b>	<b>202 ppm</b>
<b>NOX</b>		<b>312 ppm</b>	<b>135 ppm</b>	<b>215 ppm</b>

## 5 .CONCLUSÕES

Pelos resultados apresentados ficou claro que existe uma melhoria nas emissões dos gases do escapamento quando usado o biodiesel, pela comparação efetuada nos testes supracitados temos um ganho ( benefício ) em torno de 7% quando aplicado o biodiesel B5, o que vai de encontro com as alterações que estão sendo propostas hoje. Estuda-se uma proporção ainda maior para esse combustível renovável e biodegradável, que atenderá os requisitos propostos pelos órgãos responsáveis pelo controle dos gases. É possível perceber também, que os motores eletrônicos possuem uma capacidade ainda maior para gerenciar e fazer com que isso seja possível frente aos motores mecânicos, pois conseguem a injeção do Biodiesel de forma uniforme na câmara de combustão, assim como a admissão do ar.

Ao monitorar o motor, podemos verificar que tivemos algumas pequenas alterações nos itens que abordamos, o que demonstra não somente uma alteração nas emissões, mas no motor como um todo, o que afeta todo o sistema operacional. Com o aumento da combustão do combustível, tivemos alteração no líquido de arrefecimento e conseqüentemente do óleo lubrificante, uma vez que os cilindros são refrigerados pela água das galerias do motor, impactando diretamente no nos gases de escape. A principal mudança encontra-se no sistema de injeção, pois os injetores, para o caso proposto, são centralizados e a pulverização do combustível ocorre na parte superior do pistão, devido a alteração na temperatura deve ser estudo mais profundamente para que não danifique ou carbonize os mesmos.

Entendendo a preocupação mundial frente ao forte controle de emissões, conclui-se que Biodiesel foi testado positivamente frente ao usual diesel comercializado, de forma a levar uma melhor qualidade de vida a todos, porém, algumas alterações na engenharia do produto deverão ser efetuadas.

Como Sugestão para trabalhos futuros, seria interessante desenvolver testes com outros tipos de combustíveis, B10,B20,B50,B100, para entender o comportamento e o desenvolvimento entre ambos. Interessante ressaltar a importância de salas climatizadas para resultados mais precisos.

## 6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CUMMINS DO BRASIL LTDA ( <http://cummins.com.br> ) acessado em 16/04/2010

GCE CUMMINS INC. ( <http://gce.cummins.com> )

ROBERT BOSCH LTDA ( <http://bosch.com.br> ) acessado em 14/04/2010

K.O. RIESEMBERG, W. FAUPEL, B. BLAICH; “ **Dieselspritztechnik im überblick**” Alemanha 1998

HELMUT TSCHÖKE; “ **Diesel-verteilereinspritzpumpen**” Alemanha 1998

ERNST RITTER; “**Diesel-Reiheneinspritzpumpen**” Alemanha 1999

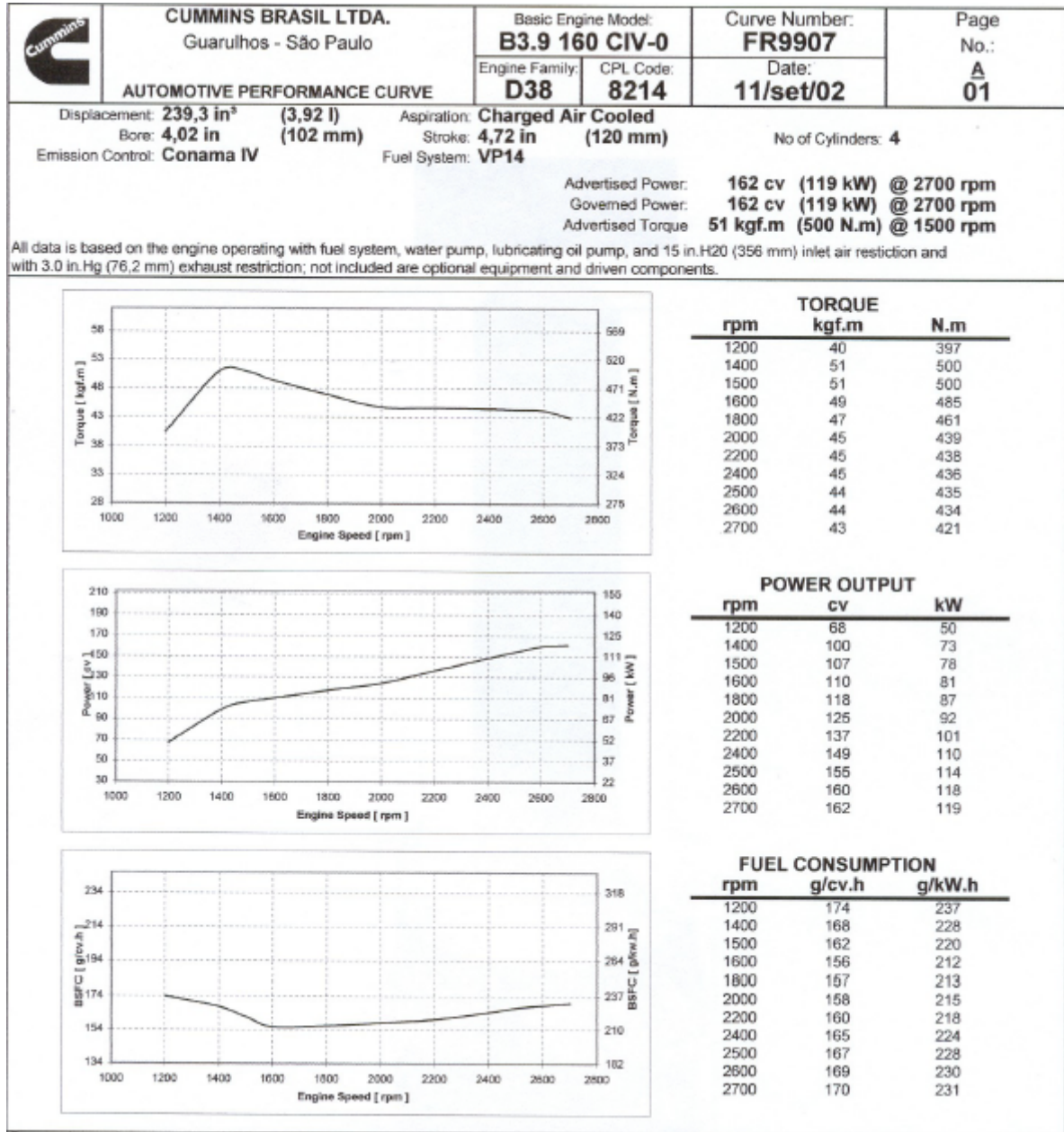
MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE ( <http://www.mma.gov.br> ) acessado em 06/05/2010

RICARDO FELTRE , STSUO YOSHINAGA; “**Química Orgânica**” Volume 4, São Paulo, 1976

PROGRAMA INSITE ( <https://insite.cummins.com> ) acessado em 28/05/2010

ANEXO A

Curva similar de Desempenho do motor utilizado:



ANEXO B

Foto do aparelho usado para medir os gases:

