



FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E TECNOLOGIA INDUSTRIAL

LUCIANO SANTOS AZEVEDO SOUZA

**AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO DE MOTORES DO CICLO
DIESEL UTILIZANDO MISTURAS BIODIESEL/DIESEL MARÍTIMO**

Salvador
2011

LUCIANO SANTOS AZEVEDO SOUZA

**AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO DE MOTORES DO CICLO
DIESEL UTILIZANDO MISTURAS BIODIESEL/DIESEL MARÍTIMO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Industrial, Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Alex Álisson Bandeira Santos
Co-Orientadora: Prof^a. Dr^a. Lílian Lefol Nani Guarieiro

Salvador
2011

S719a

Souza, Luciano Santos Azevedo.

Avaliação experimental do desempenho de motores do ciclo diesel utilizando mistura biodiesel/diesel marítimo. / Luciano Santos Azevedo Souza. 2011.

110f.; il.; color.

Orientador: Profº Drº Alex Álisson Bandeira Santos.

Dissertação - Faculdade de Tecnologia Senai-CIMATEC,
Mestrado em Gestão e Tecnologia Industrial, 2011

1. Motor diesel. 2. Biodiesel. 3. Diesel marítimo. 4. Enxofre - Alto teor . I. Faculdade de Tecnologia Senai-CIMATEC. II. Santos, Alex Álisson Bandeira. III. Título.

CDD: 621.436

LUCIANO SANTOS AZEVEDO SOUZA

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO DE MOTORES DO CICLO
DIESEL UTILIZANDO MISTURAS BIODIESEL/DIESEL MARÍTIMO

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial, Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec.

Aprovada em 29 de dezembro de 2011.

Banca Examinadora

Orientador Prof. Dr. Alex Álisson Bandeira Santos

Doutor em Energia e Ambiente pela Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.

Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

Co-Orientador Prof. Dra. Lílian Lefol Nani Guarieiro

Doutora em Química pela Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.

Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

Prof. Dr. Renelson Ribeiro Sampaio

Doutor em Economia da Inovação Tecnológica pela Science Policy Research Unit - University of Sussex, Inglaterra.

Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

Prof. Dr. Felipe Soto Pau

Doutor em pós-graduação pela Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, Brasil.

Universidade Federal de São João Del Rei.

Dedico este trabalho aos meus filhos, Bernardo e Clara, justificativas suficientes para todos os momentos de saudades que um trabalho científico impõe; à minha esposa, Raquel, porto seguro onde sempre encontrei o descanso das jornadas e força para os novos desafios; aos meus pais, Luiz e Núbia, que com imenso amor incondicional e às custas de muitos sacrifícios, me proporcionaram a oportunidade de estudar e me ensinaram os princípios do trabalho, da honra, do caráter e do respeito ao próximo, sem perder o foco de que tudo é feito para Deus.

Meus Agradecimentos...

aos dedicados orientadores e amigos, Alex Álisson Bandeira Santos e Lílian Lefol Nani Guarieiro que se empenharam para ensinarem-me a trilhar os caminhos da pesquisa aplicada e tornar-me um pesquisador. Obrigado pelas palavras incentivadoras e corretivas. Aprendi muito com vocês!

aos grandes técnicos, tecnólogos e engenheiros que conheci no SENAI CIMATEC e que me apoiaram nesse trabalho, de forma especial Maurício Bonifati, Júlio Câmara, Márcio Carvalho, Ubaldo Cerqueira, Felipe Soto Pau e Lourenço Gobira.

aos dedicados futuros tecnólogos Romulo e Gabriel que me ajudaram a compor esta pesquisa.

a cada um dos membros da área de Mobilidade do SENAI CIMATEC os quais, ainda que privados de minha liderança, sempre exerceram suas funções de forma única e singular, superando as expectativas a cada iniciativa para o crescimento de nossas competências. Vocês são guerreiros e tenham certeza que sempre briguei por vocês.

ao colega e amigo Miguel Andrade Filho que incentivou e contribuiu para a viabilização deste trabalho e intermediou diversos contatos de forma a facilitar o levantamento de informações imprescindíveis.

ao diretor regional do SENAI da Bahia, Leone Peter Correia de Andrade, à época meu líder imediato, que me levou a começar esse trabalho (ainda que contra minha vontade) e que hoje percebo o grande bem que me fez. Receba meus sinceros agradecimentos e minha admiração por sua obstinação.

ao mestre Prof. Dr. Renelson Ribeiro Sampaio que me mostrou um mundo mais humano e inteligente, a pensar de forma diferente e sem as amarras do cartesianismo que nós, engenheiros, tanto nos apegamos, iludidos de que podemos explicar o mundo a partir de gráficos e planilhas.

aos amigos que preferindo não nomeá-los me furto da indelicadeza de injustiçá-los mas que foram provedores de força e incentivo.

ao SENAI CIMATEC e a FINEP que foram provedores dos recursos necessários ao desenvolvimento deste trabalho.

à Petrobrás que por meio dos srs. Eugenio Antonelli Filho, Carlos Adilson Novaes, João Batista e Igor Santos Pessoa, contribuíram com informações para compor este trabalho.

e, por fim, à minha amada família, meu agradecimento especial, pela compreensão, incentivo e ensinamentos:

minha mãe, sua força e resignação são exemplo para todos nós. A partir de seu Amor pude experimentar o verdadeiro sentimento que Deus tem por seus filhos e isso foi exemplo para amar Bernardo e Clara de forma incondicional.

meu pai, nunca conheci alguém que admirasse tanto, alguém que sentisse falta antes mesmo de perdê-lo. Seremos amigos para sempre...

meus irmãos, Fabi e Mara, já brigamos tanto quando éramos crianças... lembra que nossa mãe sempre dizia que um dia seríamos compadres? Pois é, ela estava certa. A garra de vocês dois é exemplo para mim.

aos meus avós, Luiz e Antonieta, Hermes e Graciema, vocês são exemplo em tudo de bom que alguém poderia ter desejado.

aos meus sogros, Camilo, Mara e Renata, que me adotaram como filho, obrigado pela dedicação a minha família e por cuidarem de nossos filhos com tanto amor e carinho...

ao meu irmão-compadre-cunhado Moacyr, à minha cunhada-comadre Érica que hoje é motivo de minha admiração e as minha cunhadas Dilma, Sheila e Bia, vocês são maravilhosos.

aos tios e primos que fazem de nossa família exemplo de amizade e lealdade. Que nossa união jamais seja maculada. Amo vocês!

“O biodiesel deu certo no mundo e vai dar certo no Brasil. O negócio é do tamanho que a gente imaginava!”

Expedito José de Sá Parente,
considerado o pai do biodiesel, em
carta a um amigo.

RESUMO

A matriz energética mundial está focada em combustíveis de origem fóssil, contudo, as preocupações sócio-ambientais e as restrições das reservas de petróleo (matéria-prima do óleo diesel) remetem a uma busca por soluções alternativas para os combustíveis originados de petróleo. O Brasil tem se apresentado como um dos países mais promissores para produção de combustíveis alternativos, o que pode ser observado a partir do sucesso da utilização do etanol, e mais recentemente, do biodiesel. O óleo diesel é muito utilizado no Brasil e sua composição pode apresentar elevado teor de enxofre com até 5.000 ppm (0,5% em massa) a depender de sua finalidade, como é o caso do combustível utilizado em embarcações, o chamado diesel marítimo. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho (potência, torque e consumo de combustível) de motores do ciclo diesel abastecidos com misturas de diesel marítimo e biodiesel. Os combustíveis avaliados foram as misturas de 5% (B5); 10% (B10); 20% (B20); 40% (B40), 60% (B60) de biodiesel adicionado ao diesel marítimo e o biodiesel puro (B100). Os resultados obtidos para potência demonstram que as misturas de biodiesel tiveram melhor desempenho na rotação em torno de 2500 rpm com 91,4; 91,1; 91,1; 90,2; 89,7; 87,6 kW para B5, B10, B20, B40, B60 e B100, respectivamente, enquanto que para o diesel marítimo foi obtida uma potência de 85,5 kW em mesma rotação. Os resultados de torque obtidos para as misturas combustíveis estiveram na faixa de 366 – 374 Nm na rotação em torno de 1500 rpm e 370 Nm para o diesel marítimo em mesma rotação. O diesel marítimo apresentou os melhores resultados de consumo de combustível (20,8 kg/h a 1500 rpm). A utilização de diesel marítimo adicionado de 5% de biodiesel foi 7,7% mais vantajoso economicamente do que diesel marítimo puro.

Palavras-chave: biodiesel, diesel marítimo, alto teor de enxofre, motor diesel.

ABSTRACT

The global energy is focused on fossil fuels, however, both the socio-environmental concerns and restrictions of oil reserves (the raw material for diesel) lead to a search for alternatives to petroleum derived fuels. Brazil has been touted as one of the most promising alternative fuel producer, which can be observed through the successful with use of ethanol and more recently the biodiesel. Diesel fuel is widely used in Brazil and its composition may have high sulfur content of up to 5,000 ppm (0.5 wt%) depending on their purpose, such as fuel used in vessels, the so-called marine diesel. In this way, the aim of this study was to evaluate the performance (load, torque and fuel consumption) of diesel engine fueled with blends of biodiesel and marine diesel. The studied fuel blends 5% (B5), 10% (B10) 20% (B20) 40% (B40), 60% (B60) of biodiesel added to diesel marine and pure biodiesel (B100). The results showed that the load (kW) to biodiesel blends performed better around 2500 rpm with 91.4, 91.1, 91.1, 90.2, 89.7, 87.6 for B5, B10, B20, B40, B60 and B100, respectively, while for the marine diesel was obtained a load of 85.5 kW at the same speed. The torque (Nm) results obtained for fuel blends were in the ratio of range 366 to 374 in the speed around 1500 rpm and 370 Nm for marine diesel in the same speed. The marine diesel showed the best results for fuel consumption (20.8 kg / ha 1500 rpm). The use of marine diesel supplemented with 5% biodiesel was 7.7% more economically advantageous than pure marine diesel.

Keywords: biodiesel, marine diesel, high sulfur diesel engine

LISTA DE TABELAS

	DESCRIÇÃO	Pág.
Tabela 1	Características de motores segundo sua utilização.	12
Tabela 2	Características importantes do óleo diesel.	20 e 21
Tabela 3	Características dos diversos tipos de diesel comercializado no Brasil.	22
Tabela 4	Especificação do Óleo Diesel Marítimo.	23 e 24
Tabela 5	Fontes, processo de obtenção e composição química de alguns biocombustíveis.	28 e 29
Tabela 6	Especificação do Biodiesel.	35 e 36
Tabela 7	Ficha técnica dos motores utilizados nos ensaios.	47
Tabela 8	Valores de máxima potência dos combustíveis estudados.	62
Tabela 9	Valores de máximo torque dos combustíveis utilizados.	63
Tabela 10	Valores de máximo consumo dos combustíveis utilizados.	65
Tabela 11	Preços médios ponderados de produtores e importadores de óleo diesel não marítimo, segundo Grandes Regiões em 2010.	66
Tabela 12	Preços de combustíveis e suas bases.	68
Tabela 13	Valor do litro de misturas de biodiesel/DM.	69
Tabela 14	Valores de desempenho dos combustíveis.	69
Tabela 15	Volume Comercialização de combustíveis em 2010.	71
Tabela 16	Demanda de biodiesel para atender a demanda marítima.	72

LISTAS DE FIGURAS

	DESCRIÇÃO	Pág.
Figura 1	(a) Foto de Rudolf Diesel em 1883; (b) Primeiro motor diesel.	9
Figura 2	Distribuição percentual da media de produção de veículos produzidos no Brasil entre 2003 e 2009 de acordo com o tipo de combustível.	10
Figura 3	Crescimento da frota mundial acima de 100 toneladas entre 1960 a 2007.	13
Figura 4	Percentual de embarcações disponíveis no mundo selecionadas por finalidade.	13
Figura 5	Quatro tempos do motor Diesel: (a) admissão; (b) compressão; (c) expansão; (d) escape.	14
Figura 6	Reservas provadas de petróleo, segundo regiões geográficas em 31/12/2009 (bilhões de barris).	17
Figura 7	Produção de petróleo, segundo regiões geográficas em 2009 (milhões de barris/dia).	18
Figura 8	Consumo de petróleo, segundo regiões geográficas em 2009 (milhões de barris/dia).	18
Figura 9	(a) Distribuição das reservas confirmadas de petróleo e (b) seu consumo mundial.	19
Figura 10	Desempenho de Importação e Exportação de Óleo Diesel no Brasil.	25
Figura 11	Desempenho de Importação e Exportação de Petróleo.	26
Figura 12	Evolução do licenciamento de veículos no Brasil.	30
Figura 13	Evolução da produção de veículos no Brasil.	31
Figura 14	Distribuição das matérias primas utilizadas para a produção de biodiesel no Brasil tomando-se como referencia junho 2011.	32
Figura 15	Esquema simplificado do processo de produção do biodiesel e seus co-produtos, a partir da reação de transesterificação.	33
Figura 16	Evolução mensal da produção, demanda compulsória e capacidade nominal de biodiesel no Brasil de janeiro a julho de 2011.	34
Figura 17	Valores de leilões da ANP de 2005 a 2011 e teor de biodiesel adicionado ao diesel.	35
Figura 18	Evolução das publicações de artigos científicos entre 1998 e 2010 tendo 'biocombustível' como palavra-chave.	39

LISTAS DE FIGURAS (continuação)

	DESCRIÇÃO	Pág.
Figura 19	Motor C1N203569 montado em bancada dinamométrica antes do ensaio com DM.	46
Figura 20	Durabilidade (potência versus horas de ciclo) dos motores A e B com DM e B5.	55
Figura 21	Durabilidade (torque versus horas de ciclo) dos motores A e B com DM e B5.	56
Figura 22	Durabilidade (consumo de combustível versus horas de ciclo) dos motores A e B com DM e B5.	56
Figura 23	Média das potências versus rotação utilizando DM e B5.	57
Figura 24	Média dos torques versus rotação utilizando DM e B5.	58
Figura 25	Média dos consumos versus rotação utilizando DM e B5.	60
Figura 26	Potência versus Rotação das misturas de DM com biodiesel em proporções variadas.	62
Figura 27	Torque versus Rotação das misturas de DM com biodiesel em proporções variadas.	63
Figura 28	Consumo de combustível versus Rotação das misturas de DM com biodiesel em proporções variadas.	64
Figura 29	Desempenho (potência média versus rotação) dos motores utilizando DM e B5, indicando o valor de potência e rotação na curva B5, equivalente à rotação de potência máxima de DM.	70
Figura 30	Consumo médio de motores do ciclo diesel utilizando DM e B5 com a indicação de consumo de B5 na rotação de potência máxima de DM.	70

LISTAS DE SIGLAS

SIGLA	DESCRIÇÃO
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.
ARLA 32	Agente Redutor Líquido Automotivo.
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento.
B5	Combustível formado a partir da mistura de 5% de biodiesel comercial e 95% de diesel.
B10	Combustível formado a partir da mistura de 10% de biodiesel comercial e 90% de diesel.
B20	Combustível formado a partir da mistura de 20% de biodiesel comercial e 80% de diesel.
B40	Combustível formado a partir da mistura de 40% de biodiesel comercial e 60% de diesel.
B60	Combustível formado a partir da mistura de 60% de biodiesel comercial e 40% de diesel.
B100	Biodiesel Puro.
CaO	Óxido de cálcio.
C5+	Gasolina Natural (pentano).
CIMATEC	Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia.
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética.
CO	Monóxido de Carbono.
CO2	Dióxido de carbono.
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente.
DM	Diesel Marítimo.
DMA	Diesel marítimo tipo A.
DMB	Diesel marítimo tipo B.
DNC	Departamento Nacional de Combustíveis.
ECR	Exhaust Gases Recirculation.
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
HC	Hidrocarbonetos.
H2SO4	Ácido sulfúrico.
IBP	Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis.

LISTAS DE SIGLAS (Continuação)

SIGLA	DESCRIÇÃO
LGN	Líquido de Gás Natural.
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
MCI	Motor de Combustão Interna.
MIC	Motor de Ignição por Compressão.
MMA	Ministério de Meio Ambiente do Brasil.
MP	Material Particulado.
NAE	Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República do Brasil.
NOx	Óxidos de nitrogênio.
O2	Oxigênio.
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel.
PMI	Ponto morto inferior.
PMS	Ponto morto superior.
PPGETEC	Programa de Pós-graduação em Gestão e Tecnologia Industrial.
ppm	Partes por milhão.
pr	Pressão barométrica seca.
PROCONVE	Programa de Controle de Emissões Veiculares.
rpm	Rotação por minuto.
SCR	Redução Catalítica Seletiva, do inglês “Selective Catalytic Reduction”.
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial.
SOX	Óxido de Enxofre.
SO2	Dióxido de Enxofre.
Tr	Temperatura ambiente.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Definições do problema	2
1.2. Objetivo	4
1.3. Importância da pesquisa	4
1.4. Limites e limitações	5
1.5. Questões e hipóteses.....	6
1.6. Organização da Dissertação de mestrado	7
2. REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1 Motor Diesel	9
2.1.1. Funcionamento dos Motores Diesel: Processo de combustão.....	14
2.2 O Petróleo	15
2.2.1 O Petróleo na Matriz Energética Mundial	17
2.2.2 Óleo diesel	20
2.3 O uso de Biocombustíveis no Brasil.....	27
2.3.1 O Biodiesel.....	31
2.3.1.1 Vantagens e Desvantagens da utilização de Biodiesel.....	38
2.4 Estado da Arte – pesquisas desenvolvidas em motores que utilizam diesel marítimo	43
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	46
3.1. Motores utilizados nos Ensaios	46
3.2. Dinamômetro utilizado nos Ensaios	47
3.3. Combustíveis Utilizados nos Ensaios.....	48
3.4. Norma de Referência e Correções.....	48
3.5. Instalação dos motores nas bancadas dinamométricas.....	49
3.6. Avaliação de desempenho de motores diesel utilizando DM e B5.....	50

3.7.	Avaliação da tendência do desempenho de motores do ciclo diesel com acréscimo gradativo do percentual de biodiesel no DM.	52
3.8.	Avaliação da viabilidade econômica da adição de 5% de biodiesel no diesel marítimo para ser utilizado em embarcações.....	52
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
4.1.	Avaliação do desempenho de motores do ciclo diesel utilizando DM e B5.55	
4.2.	Avaliação da tendência do desempenho de motores do ciclo diesel com acréscimo gradativo do percentual de biodiesel no DM.	61
4.3.	Avaliação da viabilidade econômica da adição de 5% de biodiesel no diesel marítimo.	66
4.4.	Aspecto de Inovação da incorporação do Biodiesel ao DM	72
5.	CONCLUSÕES	74
5.1.	Contribuições	74
5.2.	Atividades Futuras de Pesquisa.....	75
6.	REFERÊNCIAS.....	76
	ANEXOS.....	84

1. INTRODUÇÃO

As últimas décadas têm sido marcadas pelas mudanças das características climáticas do planeta, como é o caso do aquecimento global, com destaque para a redução das emissões de efeito estufa, conforme estabelecido no protocolo de Kyoto, firmado em 1997. Este protocolo também propõe, dentre outras ações, a substituição de combustíveis derivados de petróleo por outros de menor impacto ambiental. Nesse sentido, a incorporação de combustíveis alternativos à matriz energética mundial tem sido um tema de grande destaque nos últimos tempos.

A participação dos biocombustíveis (como o etanol e o biodiesel, por exemplo) na matriz energética dos países, os direciona às necessidades tecnológicas por meio de pesquisas para estudo de sua viabilidade e adaptações de motores e seus sistemas associados, como forma de comprovar e melhorar a potencialidade presente nos biocombustíveis.

Do ponto de vista social, a participação da agricultura familiar na matriz produtora de matéria prima para fabricação de biodiesel, eleva a renda trazendo uma melhoria da qualidade da alimentação, da saúde e do acesso à educação dessas populações.

Desde a década de 70, o Brasil vem sendo reconhecido como forte usuário de combustíveis alternativos, quando iniciou o processo de adoção do etanol em substituição à gasolina. Recentemente, pode-se destacar o desenvolvimento e uso de motores “*Flex Fuel*” que utilizam etanol, gasolina ou misturas desses combustíveis em qualquer proporção. Nesse sentido, o Brasil reúne características favoráveis para se tornar um dos maiores produtores de biocombustíveis do mundo, haja vista sua extensão territorial com áreas agriculturáveis, clima propenso à agricultura e pecuária, empresas agrícolas de grande porte e importante suporte da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Atualmente, no Brasil, o combustível comercializado para motores de ciclo diesel é adicionado de 5% de biodiesel. Há apenas a exceção para o combustível

vendido para a frota marítima movida a diesel que ainda não é permitida a adição do biocombustível.

Para a consolidação do Brasil como produtor e usuário de biocombustíveis, é de fundamental importância que sejam incentivadas pesquisas voltadas para viabilidade do uso de biocombustíveis, em todos os aspectos: social, econômico, ambiental e tecnológico. Sobre esse último, destacam-se aqueles voltados para análise do desempenho de motores do ciclo diesel utilizando biodiesel puro e suas misturas com diesel. Muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos nesse sentido, mas é pouco observado pesquisas voltadas para o diesel utilizado em embarcações que, no Brasil, apresenta teor de enxofre de até 5.000 ppm.

Neste contexto, o presente trabalho avaliou, experimentalmente, o desempenho de motores do ciclo diesel utilizando diesel marítimo (DM) puro com altas taxas de enxofre com até 5.000 ppm ou 0,5% em massa, biodiesel puro e misturas de DM com biodiesel em diferentes proporções.

Os resultados obtidos neste trabalho poderão alavancar o desenvolvimento e aprimoramento de motores adaptados para serem usados pela indústria marítima e subsidiar a Marinha do Brasil de informações quanto ao uso de misturas de biodiesel com DM em suas embarcações.

Assim, a motivação desse trabalho está baseada nos argumentos apresentados anteriormente. A comprovação da viabilidade do desempenho de motores do ciclo diesel quando abastecidos com biodiesel (em substituição total ou parcial ao DM) auxiliará na consolidação do uso do biocombustível em embarcações.

1.1. Definições do problema

Atualmente, existe uma busca crescente por combustíveis alternativos que possam substituir total ou parcialmente os combustíveis de origem fóssil. Dentre

os possíveis combustíveis alternativos para motores do ciclo diesel, o biodiesel é o que vem sendo largamente estudado e alguns países já utilizam misturas deste combustível com o óleo diesel em pequenas proporções. Atualmente, no Brasil é estabelecida a adição de 5% (v/v) de biodiesel ao diesel derivado de petróleo (B5). Sendo assim, em todos os postos de abastecimento de combustível de uso rodoviário não mais é encontrado diesel puro mas a mistura B5. Entretanto, existem restrições quanto ao uso de biodiesel como combustível alternativo para alimentar motores do ciclo diesel que equipam embarcações, onde o uso de biocombustível ainda apresenta condições não totalmente conhecidas e, portanto existem incertezas quanto a utilização do biodiesel em mistura ao DM (ANP, 2010b).

O enxofre presente em combustíveis de origem fóssil, por si só, traz benefícios para os motores haja vista que reduz o atrito entre as peças devido à sua característica de lubrificidade. Por outro lado, a combinação de enxofre (S) com o oxigênio (O_2) pode gerar o dióxido de enxofre (SO_2) e esse, de novo, se combinando com oxigênio, resulta ácido sulfúrico (H_2SO_4), o qual é altamente corrosivo e causador de danos aos componentes dos motores. A combinação de enxofre com outros compostos pode também provocar as emissões de compostos sulfurados os quais reagem com a água das chuvas gerando a chuva ácida que traz danos à vida no planeta.

Pesquisas focadas no estudo da viabilidade do uso de biodiesel puro ou adicionado ao DM são condições de contorno necessárias à viabilidade da inserção de biocombustíveis no setor aquaviário. Poucos trabalhos vêm sendo feitos objetivando o desempenho de motores diesel de embarcações utilizando misturas de biodiesel e DM.

1.2. Objetivo

Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver um experimento para avaliar o desempenho (potência, torque e consumo de combustível) de motores do ciclo diesel utilizando diferentes combustíveis: diesel marítimo com alto teor de enxofre, biodiesel puro e misturas de diesel marítimo com alto teor de enxofre acrescido de 5, 10, 20, 40 e 60% de biodiesel.

Objetivos Específicos

- Avaliar o desempenho (potência, torque e consumo de combustível) de motores do ciclo diesel comparando a queima de diesel marítimo puro com a mistura combustível B5;
- Avaliar a tendência do desempenho (potência, torque e consumo de combustível) de motores do ciclo diesel abastecidos com misturas de diesel marítimo/biodiesel em proporções crescentes de biodiesel (5, 10, 20, 40, e 60%) e biodiesel puro;
- Avaliar a viabilidade econômica da adição de 5% de biodiesel no diesel marítimo para ser utilizado em embarcações.

1.3. Importância da pesquisa

Existem poucos estudos na literatura sobre a adição de biodiesel ao diesel marítimo (com taxas de enxofre de até 5.000 ppm ou 0,5%) para abastecer embarcações. Entretanto, há de se esperar que em breve o uso desse combustível em embarcações seja uma realidade, haja vista o crescimento do uso de biocombustíveis e seus benefícios quando adicionado ao diesel.

Devido a falta de estudos específicos, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), em 29 de dezembro de 2010, baixou a resolução de número 52, reconhecendo que os combustíveis com destino aquaviário possuem peculiaridades e demandam condições específicas, ainda não determinadas, para viabilizar a adição de biodiesel. Isso porque existem incertezas quanto às misturas de diesel e biodiesel no ambiente marinho e, portanto, não permite usar tal combustível para finalidades aquaviárias até que condições técnico-operacionais seguras tenham sido testadas.

A viabilidade da utilização do biodiesel como combustível para ser usado em embarcações, seja puro, seja adicionado ao diesel marítimo, poderá trazer ganhos para o Brasil. Os principais deles estão descritos ao longo desse trabalho, como por exemplo, os resultados (i) econômicos, devido a redução de importação de diesel, (ii) sociais, pela inserção da agricultura familiar na matriz de produção de combustível e (iii) ambientais, por conta da redução das emissões sulfurosas provenientes de embarcações que utilizam o diesel marítimo puro com altas taxas de enxofre.

Com os resultados deste trabalho, espera-se que pelo menos uma parte das incertezas mencionadas pela ANP tenha sido esclarecida e dessa forma sirva de base para a tomada de decisão quanto ao uso de biodiesel para ser misturado ao diesel marítimo.

1.4. Limites e limitações

O foco da pesquisa está evidente em seu título e estabelece as condições de trabalho limitado ao levantamento e estudo das curvas de desempenho (potência, torque e consumo de combustível) de motores do ciclo diesel utilizados em embarcações e alimentados com biodiesel puro e misturado ao DM para abastecer a frota aquaviária no Brasil.

A Petrobrás, a partir de leilões de biocombustíveis, vem promovendo a

compra de biodiesel de origens diversas, os quais são misturados em tanques e comercializados, sem a necessidade de separação quanto à fonte de matéria-prima. Expedito Parente (2003), considerado o pai do biodiesel, afirma que as propriedades fluidodinâmicas do biodiesel, independem da matéria prima original, são semelhantes àquelas encontradas no diesel mineral, não sendo necessário qualquer adaptação ou regulagem no sistema de injeção dos motores. Por essas razões, não foi uma preocupação da pesquisa selecionar a matéria-prima que originou o biodiesel.

Inicialmente, a intenção da pesquisa era trabalhar com motores até a fadiga de algum componente que pudesse ser evidenciada e testada sua falha. Deste modo, seria possível associar sua falha com o uso do biodiesel. Entretanto, por limitações financeiras, isso não foi possível, haja vista que a continuidade do ensaio em bancada dinamométrica extrapolaria os recursos destinados a esta etapa da pesquisa.

O efeito das emissões de poluentes é assunto de grande importância quando se fala na busca por combustíveis alternativos, como é o caso da utilização de biodiesel. Além disso, outro ponto importante são as pesquisas sobre a corrosão causada pelo biodiesel em peças e componente de motores e seus agregados. Todavia, apesar destes temas estarem mencionados neste trabalho, não foram alvo da presente pesquisa mas serviram como argumento para sustentar a importância de se estudar o desempenho de motores alimentados com biodiesel, como substituto total ou parcial ao DM, e estimular outros trabalhos seguindo essas linhas de interesse.

1.5. Questões e hipóteses

As incertezas que ainda permeiam o uso de biodiesel como substituto total ou parcial ao diesel derivado de petróleo tem feito com que pesquisas sobre o assunto sejam amplamente desenvolvidas. Entretanto, não foram observados relatos a respeito da utilização de biodiesel puro adicionado ao diesel marítimo

brasileiro com alto teor de enxofre (até 5.000 ppm) de forma a levantar o desempenho de motores do ciclo diesel utilizados em parte da frota aquaviária brasileira.

Dessa forma, ficam as questões que foram trabalhadas nessa pesquisa: (i) o biodiesel, quando adicionado ao DM, compromete o desempenho de potência, torque e consumo de combustível de motores do ciclo diesel que equipam embarcações?; (ii) A adição de 5% de Biodiesel ao Diesel Marítimo é viável do ponto de vista econômico?

1.6. Organização da Dissertação de mestrado

Este trabalho está dividido em tópicos:

Na introdução estão apresentados o delineamento do problema, objetivos, a importância da pesquisa, as motivações, os limites a que esse trabalho está sujeito, e, por fim, as questões-cerne que norteiam a busca pelas respostas.

No segundo tópico estão apresentadas a revisão dos trabalhos científicos disponíveis na literatura com aderência ao problema posto, de forma a embasar a linha de trabalho e os resultados experimentais.

Em seguida, tem-se a parte experimental onde estão apresentados os equipamentos, insumos, acessórios e os combustíveis utilizados. Além disso, estão descritos o desenvolvimento, a montagem, os métodos e as fontes de dados de cada um dos três objetivos específicos que deram suporte aos resultados apresentados no tópico 4 deste trabalho.

O quarto tópico é a essência do trabalho, onde estão apresentados os dados obtidos de desempenho de DM e B5, dos resultados de desempenho do aumento do teor de biodiesel no DM e por fim o resultado da viabilidade econômica do uso de B5 em substituição ao DM.

Finalmente, são apresentadas as conclusões obtidas e sugestões de trabalhos que podem dar segmento à presente pesquisa.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Motor Diesel

O motor diesel é o equipamento mais comum para promover a mobilidade de meios de transportes terrestres e aquáticos. Isso se deve as suas características de ser um equipamento simples, ter bom desempenho, fácil manutenção, ser movido por combustível de baixo custo e consumo e possuir boa durabilidade e eficiência (LIN e HUANG, 2003).

Rudolf Christian Karl Diesel (1853-1913), engenheiro alemão, foi o inventor do motor diesel (Figura 1a). Sua motivação se deu a partir da conferência sobre termodinâmica na *Polytechnikum* de Munique em 1878, quando seu mestre, o Professor Linde, explicou sobre o funcionamento das máquinas a vapor que convertiam apenas de 6 a 10% do poder calorífico do combustível em trabalho. A partir daí, Rudolf Diesel voltou seus interesses a desenvolver uma máquina mais eficiente, que mais tarde viria a ser conhecida como “motor diesel”, com eficiência em torno de 26% (KNOTHE et al., 2007).



(a)



(b)

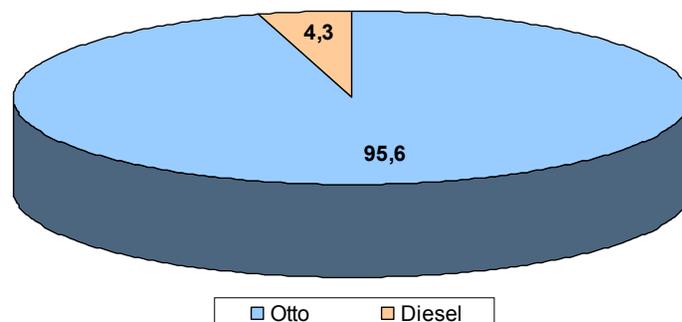
Fonte: Wikipédia (2011) e Inovabrazil (2011).

Figura 1. (a) Foto de Rudolf Diesel em 1883; (b) Primeiro motor diesel.

Rudolf Diesel testou óleo vegetal como combustível em sua invenção (Figura 1b), durante a Exposição Mundial de Paris, em 1911. Diesel apresentou seu motor funcionando com óleo de amendoim (MA e HANNA, 1999). Logo após sua concepção, o motor diesel foi popularizado por utilizar o que era, na época, o resíduo do refino do petróleo bruto para obtenção da gasolina. Após alguns anos, devido ao baixo preço do petróleo naquela época, frações do óleo cru foram destiladas para servir como combustível. Uma das frações foi utilizada como combustível no motor diesel, daí a origem do nome óleo diesel (KNOTHE et al., 2007).

O motor diesel é um equipamento essencial para rede de transporte de um país e pode ser aplicado em diferentes segmentos. Ele é utilizado em veículos automotores, embarcações e até mesmo em geradores de energia. Apesar de sua vasta aplicação, seu princípio de funcionamento é o mesmo, seja ele utilizado em geradores ou utilizado em veículos automotores e embarcações. O que vai diferenciar sua utilização é sua configuração, que deve ser adequada para a força resultante esperada.

A partir da Figura 2 pode-se observar a produção brasileira de veículos no período de 2003 a 2009. É fácil perceber a predominância de veículos com motor do ciclo Otto sobre aqueles com motor do ciclo Diesel, que representam apenas 4,3% do total (ANFAVEA, 2010).



Fonte: Adaptado de ANFAVEA, 2010.

Figura 2. Distribuição percentual da média de produção de veículos produzidos no Brasil entre 2003 e 2009 de acordo com o tipo de combustível.

Na maioria dos projetos, os motores de ciclo diesel têm arquitetura em linha, de 4 a 6 cilindros e uma potência que ultrapassa os 500 HP. Assim, os motores diesel de menor porte são utilizados em veículos menores, que são introduzidos a partir da instalação de turbo compressores e sua tecnologia vem evoluindo, significativamente, nos últimos anos.

Locomotivas também são equipadas com motores diesel em substituição aos modelos a vapor. Entretanto, os modelos que utilizam motores diesel apresentam desvantagem de serem mais poluentes, menos potentes e terem consumo mais elevados. Porém, apresentam vantagem de serem mais resistentes e terem elevada relação peso/potência.

Os motores utilizados em embarcações, são projetados de maneira especial no que diz respeito a calibração. Estes motores são calibrados para serem utilizados em condições de rotação constante. Outro ponto de especial atenção são os aspectos ligados a corrosão, seja por agressão do ambiente marinho ou por utilizar combustíveis com altas concentrações de enxofre, propiciando o surgimento de ácido sulfúrico. Para minimizar essa condição são realizados tratamentos que visam minimizar os efeitos dessas agressões como a utilização de pinturas especiais e uso de ligas metálicas na composição de aços-ligas para peças auxiliares.

O diesel com alta concentração de enxofre é direcionado para uso em embarcações, uma vez que estes emitiriam os gases nocivos em um ambiente marinho, mais distante da população, normalmente adensada, em centros urbanos.

Motores diesel ajustados para uso em embarcações são aplicados em navios comerciais, lanchas e em barcos de passeio, trabalho ou uso militar. Na Tabela 1, estão descritas as principais características dos motores diesel de acordo com sua utilização. Pode-se perceber que os motores com aplicação marítima apresentam maior porte (peso e capacidade) e dispõem de maior potência.

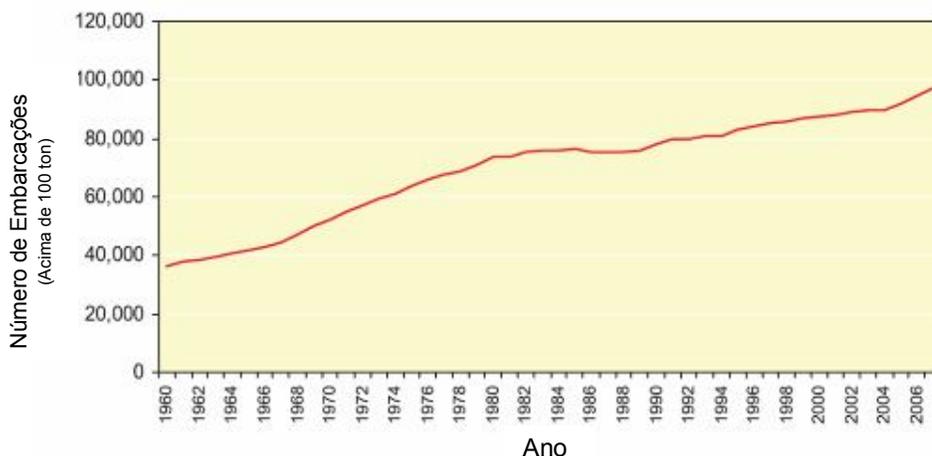
Tabela 1 – Características de motores segundo sua utilização.

Tipo de Veículo Diesel	Potência (hp)	Torque (Nm)	Peso (kg)	Cilindros
Rodoviário (pequeno porte)	43 - 174	95 - 330	380 - 959	4 a 8
Rodoviário (médio e grande porte)	175 - 550	568 - 2543	979 - 2970	4 a 6
Embarcações	800 - 10857	-	7900 - 34000	8 - 20

Fonte: CHALLEN e BARANESCU, 1999.

Como a maioria dos equipamentos de combustão, os motores marítimos queimam combustível derivado de petróleo para transformar energia química em energia mecânica e isso representa a oxidação de hidrocarbonetos e, por conseguinte a emissão de poluentes para a atmosfera (EYRING et al., 2005). Assim, a queima de diesel com altas concentrações de enxofre (diesel utilizado em embarcações) traz grandes efeitos à atmosfera por meio das emissões lançadas no entorno do ambiente aquático (LIN e HUANG, 2011). Cerca de 70 a 80% dessas emissões estão num raio de até 400 km da costa, causando a morte prematura de 60.000 pessoas todos os anos em decorrência de doenças cardiopulmonares e câncer de pulmão. Esses valores não levam em conta o quantitativo de pessoas acometidas por doenças respiratórias como bronquite asma e pneumonia (CORBETT et al., 2007). Assim, para a redução das emissões, um dos pontos que vem sendo destaque no cenário mundial é a melhoria da eficiência do sistema de propulsão e a utilização de combustíveis com menores teores de enxofre (EYRING et al., 2005). Por conta deste fato, uma pesquisa na baía de São Francisco, nos Estados Unidos, observou que até mesmo barcos a vela, que possuem pequenos motores diesel, têm se utilizado o biodiesel para sua propulsão (GÖKALP et al., 2009).

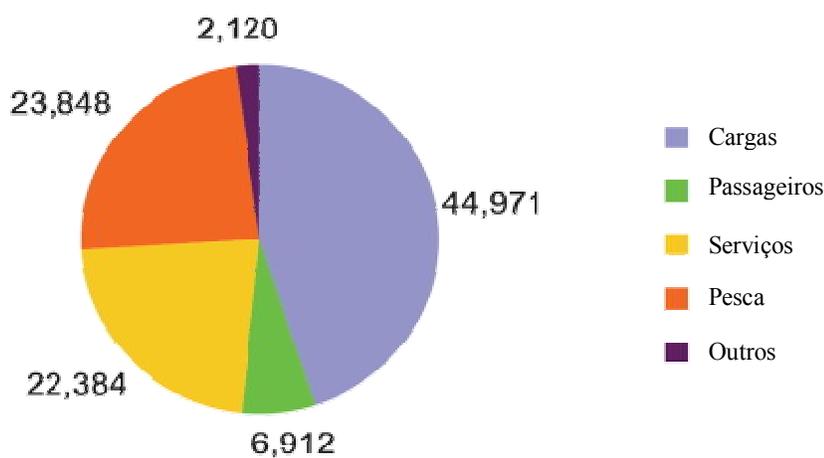
A Figura 3 apresenta o crescimento da frota de embarcações superiores a 100 toneladas bruta entre 1996 e 2006, que em 10 anos passou de pouco menos de 40.000 para quase 100.000 unidades, um crescimento de 150% no período (BUHAUG et al., 2009).



Fonte: BUHAUG et al., 2009.

Figura 3. Crescimento da frota mundial acima de 100 toneladas entre 1960 a 2007.

A Figura 4 apresenta a distribuição relativa dos tipos de embarcações em uso ao redor do mundo. As embarcações de transporte de carga representam 45% do total, seguidas por 24% de barcos de pesca, 22% de embarcações destinadas a serviços, 7% de transporte de passageiros e 2% para outros fins que incluem as de uso militar.



Fonte: BUHAUG et al., 2009.

Figura 4. Percentual de embarcações disponíveis no mundo selecionadas por finalidade.

2.1.1. Funcionamento dos Motores Diesel: Processo de combustão

Os princípios de operação da engenharia do motor diesel são significativamente diferentes daqueles da engenharia do MCI por centelha que predomina nos carros de passeio, conhecido como motor do ciclo Otto. O motor baseado no ciclo ideal Otto caracteriza-se por ter sua ignição por faísca. Este motor foi definido por Beau de Rochas e implementado com sucesso pelo engenheiro alemão Nikolaus Otto em 1876, e posteriormente por Étienne Lenoir e Rudolf Diesel (STONE, 1999).

Também conhecido por Motor de Ignição por Compressão (MIC), no motor diesel, inicialmente só o ar é comprimido sem ser misturado ao combustível. Em seguida, o combustível é injetado, e em contato com o ar em alta temperatura, faz com que este seja vaporizado e reações químicas espontâneas se iniciem resultando na ignição (KNOTHE et al., 2007).

Segundo Knothe e colaboradores (2007), o motor diesel, na maioria das aplicações, funciona em 4 tempos (Figura 5):

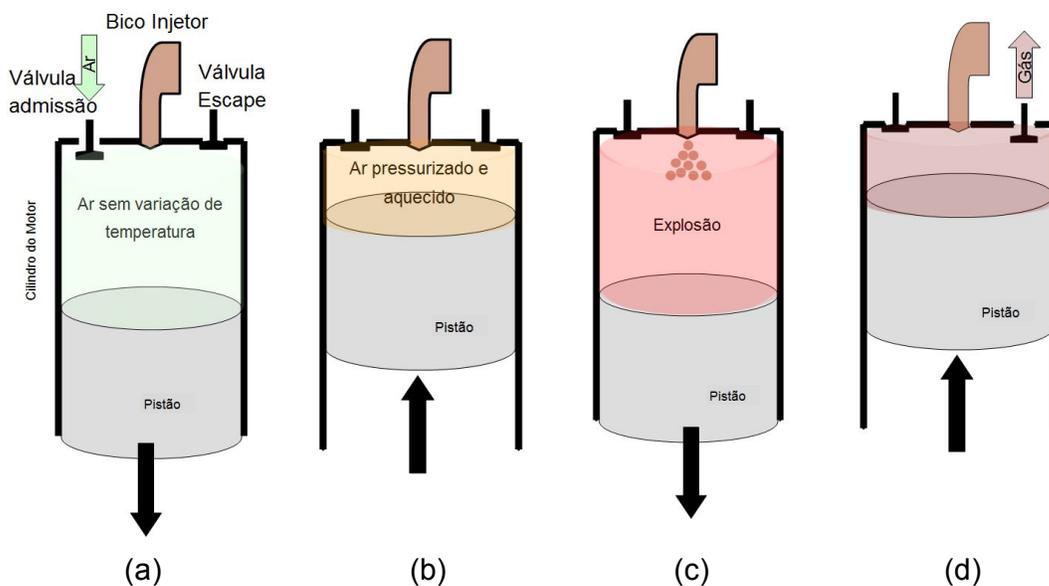


Figura 5. Quatro tempos do motor Diesel:

(a) admissão; (b) compressão; (c) expansão; (d) escape.

a) **Admissão:** o pistão do cilindro que fará a admissão de ar sai de sua posição superior, conhecida como ponto morto superior (PMS), se desloca para baixo, em direção ao ponto morto inferior (PMI), e a válvula de admissão se abre de forma que o ar possa ser sugado, a partir do coletor de admissão, para dentro do cilindro. Ao final do curso do pistão a válvula se fecha e inicia-se a próxima fase (Figura 5a);

b) **Compressão:** com a válvula de admissão fechada, o pistão sai do PMI, inicia seu deslocamento para cima, em direção ao PMS, comprimindo o ar na ordem de até 1:25 em volume. Essa compressão faz com que o ar tenha sua temperatura aumentada podendo chegar a 700 °C de forma que possa haver a ignição na próxima fase (Figura 5b);

c) **Expansão:** nesta fase, pouco antes do pistão alcançar o PMS, um fino jato de combustível diesel é injetado no ar comprimido e aquecido, o que faz com que ocorra a combustão espontânea, impulsionando o pistão para baixo gerando a energia mecânica (Figura 5c);

d) **Escape:** neste estágio ocorre a exaustão dos gases formados da combustão anterior pelo movimento ascendente do pistão, de forma a voltar para sua posição inicial da primeira fase e fechando assim o ciclo diesel (Figura 5d).

2.2 O Petróleo

A palavra petróleo vem do latim *petroleum* (*petro* = pedra; *oleum*= óleo), ou seja, óleo de pedra, ou óleo que vem da pedra. Portanto, a partir da própria etimologia da palavra, pode-se perceber que a origem geológica do petróleo já era conhecida pelos antigos gregos. O chamado “fogo grego” era uma mistura viscosa que flutuava e queimava até mesmo em contato com a água, e foi muito utilizada pelos gregos bizantinos como arma de guerra. Muito embora não exista uma “formulação” exata para o fogo grego, uma hipótese aceita é de que fosse algum composto derivado da nafta. Acredita-se, ainda, que possa ter sido feita a

partir de cal viva (óxido de cálcio, CaO), petróleo, nafta, enxofre e salitre (nitrate de potássio), dentre outras substâncias (NEIVA, 1993).

O petróleo é formado ao longo de milhares de anos, onde a matéria orgânica (restos de animais e vegetais mortos) deposita-se no fundo de lagos e mares e, lentamente, é coberta por sedimentos (pó de calcário, areia etc.). Mais tarde, esses sedimentos se transformarão em rochas sedimentares (calcário e arenito). As altas pressões e temperaturas exercidas sobre essa matéria orgânica causam reações químicas complexas, formando o petróleo (CORRÊA, 2003; LANGROCK e STEIN, 2004).

A idade de uma jazida de petróleo pode variar de 10 a 400 milhões de anos. Dessa forma, o petróleo está localizado apenas nas bacias sedimentares. Junto desse recurso mineral, encontram-se associados água e gás natural (metano e etano) (NEIVA, 1993). Quanto mais antiga for a jazida de petróleo, melhor será sua qualidade. Reservas de boa qualidade apresentam petróleo do tipo leve, constituindo-se de compostos com maior valor agregado. Porém, das jazidas mais novas, obtém-se o petróleo pesado o qual necessitará de mais processamentos para que suas frações estejam dentro dos padrões de qualidade (GOMES, MASSA e SILVA, 2011).

Um elemento comumente encontrado no petróleo é o enxofre e seu teor está relacionado com sua origem. O enxofre tem seus limites controlados, pois é um agente importante em processos de corrosão e tem influência direta na qualidade das emissões poluentes (ANP, 1999).

O petróleo do tipo pesado (normalmente extraído nas fronteiras brasileiras) possui concentrações mais elevadas de enxofre do que o encontrado em reservas do tipo leve (OBREGON, 2001; BOSCH, 2005). O processo para a extração de enxofre se dá quando de seu refino, o qual pode onerar o valor final do produto refinado. O enxofre, presente nos combustíveis de origem fóssil, pode proporcionar a formação de ácido sulfúrico, o que aumenta o desgaste dos componentes dos motores e aumenta o depósito nas câmaras de combustão e pistões, além de gerar borras que se acumulam no cárter (CASTELLANELLI,

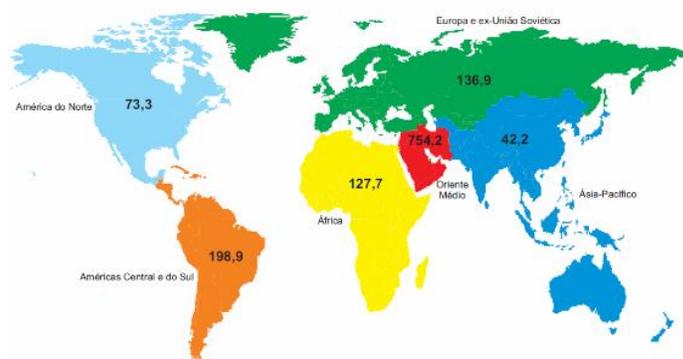
2006). Dessa forma, o enxofre presente no combustível está relacionado à qualidade do petróleo cru e dos componentes utilizados pelas refinarias. Em geral, componentes craqueados são caracterizados por um alto teor de enxofre (BOSCH, 2005).

Atualmente, muitos esforços tem sido feito com objetivo de utilizar combustíveis alternativos que sejam isentos de enxofre ,oriundos de fontes renováveis de energia e que apresentem vantagens em relação ao diesel de petróleo.

Neste contexto, a seguir, serão abordados tópicos sobre a principal matriz energética mundial (o petróleo), o óleo diesel e o seu mais promissor substituto, o biodiesel.

2.2.1 O Petróleo na Matriz Energética Mundial

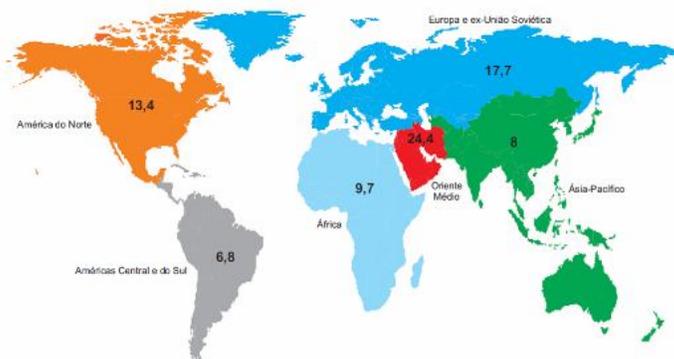
O petróleo, no mundo, está distribuído de forma desigual quando se pensa nas regiões onde se encontram as reservas e os países consumidores. Há uma forte concentração das reservas no Oriente Médio, que detém cerca de 60% de toda a reserva mundial já identificada até 2009, com 754 bilhões de barris (Figura 6) (BP, 2010).



Fonte: BP, 2010.

Figura 6. Reservas provadas de petróleo, segundo regiões geográficas em 31/12/2009 (bilhões de barris).

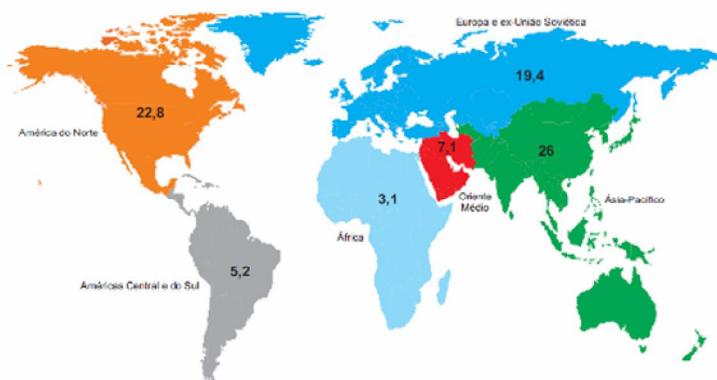
Quando se verifica a extração do petróleo, o Oriente Médio ainda mantém-se à frente das demais regiões, porém de forma mais equilibrada perante outras regiões como, por exemplo, o bloco formado pela Europa e os países da Ex-União Soviética (Figura 7).



Fonte: BP, 2010.

Figura 7. Produção de petróleo, segundo regiões geográficas em 2009 (milhões de barris/dia).

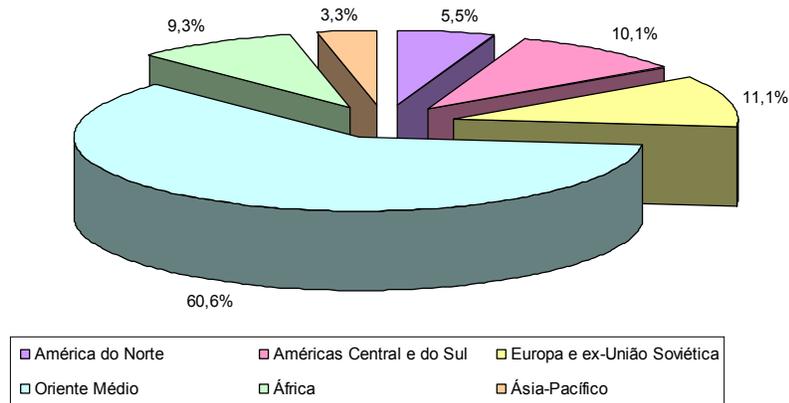
O consumo do petróleo tem íntima relação com o nível tecnológico dos países com forte concentração na América do Norte, Europa e ex-União Soviética e Ásia. Países componentes dos blocos da América do Sul, Oriente Médio e África apresentam baixo consumo do mineral (Figura 8).



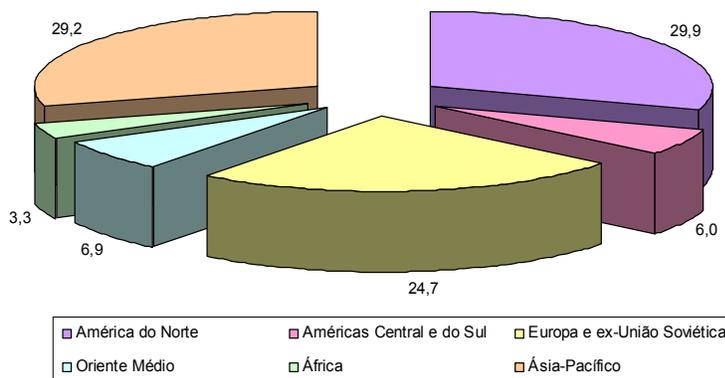
Fonte: BP, 2010.

Figura 8. Consumo de petróleo, segundo regiões geográficas em 2009 (milhões de barris/dia).

Neste panorama, é notório que, nem sempre, países com grandes demandas por petróleo possuem reservas suficientes, sendo necessário a importação do produto, a fim de suprir suas exigências energéticas. Na Figura 9 pode ser observada a desigual relação das reservas comprovadas de petróleo e os mercados consumidores mundiais. Essa desigualdade faz com que os preços sejam orientados apenas pelos países produtores haja vista que possuem o controle da extração e exportação de petróleo. Uma alternativa para reverter este cenário é a busca por combustíveis alternativos que possam ser produzidos pelos países consumidores.



(a)



(b)

Fonte: Adaptado de ANP, 2010c – somatório de 2000 a 2009.

Figura 9. (a) Distribuição das reservas confirmadas de petróleo e (b) seu consumo mundial.

2.2.2 Óleo diesel

Considerado o combustível mais eficiente já conhecido pelo homem (LIN e HUANG, 2003 e 2011), o óleo diesel é obtido de uma importante fração do petróleo e é constituído por hidrocarbonetos menos voláteis (obtidos das frações médias da destilação do óleo cru, na faixa de 250 a 370°C). Em geral o óleo diesel é composto pelos hidrocarbonetos: parafinas, naftalenos, olefinas e aromáticos. Esses hidrocarbonetos têm cerca de 12 a 18 átomos de carbono. Além das frações obtidas diretamente da destilação do óleo cru e frações de *crack* catalítico, utiliza-se o processo de pirólise para completar a demanda de óleo diesel (GUARIEIRO, 2006 e GUARIEIRO et al., 2008).

Atualmente a empresa norte americana Amyris Biotechnologies divulgou a produção de diesel a partir da cana-de-açúcar. Esta inovação foi possível após diversos estudos de modificação genética em linhagens comerciais de leveduras. Com estas modificações, pesquisadores observaram que no processo de produção de álcool de cana-de-açúcar as leveduras modificadas produziam farneceno ao invés de etanol. Como o farneceno é um dos hidrocarbonetos presentes na composição do óleo diesel.

As principais características do diesel de origem mineral estão listadas na Tabela 2.

Tabela 2. Características importantes do óleo diesel.

Características do combustível	Comentários
Faixa de destilação	<ul style="list-style-type: none">▪ Afeta a performance do combustível e a segurança▪ Importante para a partida do motor e aquecimento▪ Presença de componente de alta ebulição resulta em maior formação de depósitos de carvão nos motores▪ Necessário na estimativa do número de cetano
Número de cetano	<ul style="list-style-type: none">▪ Medida da qualidade de ignição dos combustíveis diesel▪ Alto número de cetano implica curto "<i>delay</i>" de ignição▪ Alcanos normais de alta massa molecular tem alto número de cetano▪ Influencia a emissão de gases e de material particulado▪ Índice de cetano (semelhante ao número de cetano é calculado com base nas temperaturas de 10, 50 e 90% da destilação e na gravidade específica)▪ Combustíveis com alta temperatura de autoignição causam <i>diesel knock</i> (batimento) com mais frequência

Continuação da Tabela 2. Características importantes do óleo diesel.

Características do combustível	Comentários
Gravidade específica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Requerida para a conversão de medida de volume para volume à temperatura padrão de 15°C ▪ Usada no cálculo do número de cetano
Calor de combustão	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Medida da energia disponível num combustível ▪ Uma propriedade crítica de combustíveis para uso em veículos pesados
Ponto de chama	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Indica a presença de materiais altamente voláteis e inflamáveis ▪ Mede a tendência de o óleo formar uma mistura inflamável com o ar ▪ Usada para avaliar o perigo geral de inflamabilidade de um material
Viscosidade	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Importante para garantir o fluxo adequado do óleo através de oleodutos, encanamentos, bocais de injeção e orifícios ▪ Atomização efetiva do combustível no cilindro requer faixa específica de viscosidade do combustível para evitar excessiva pressão de bombeamento
Contaminação (água / sedimentos)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Causa corrosão do equipamento ▪ Causa problemas no processamento do combustível ▪ Requerida para medida exata de volume líquido dos combustíveis em vendas, taxação, trocas e transferência de custódia
Corrosão de engrenagem de cobre	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Medida para avaliar o grau relativo de corrosibilidade ▪ Indica a presença de compostos de enxofre
Ponto de névoa e ponto de entorno	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Medida da performance de combustíveis em baixas temperaturas ▪ Usada como especificação de controle de qualidade ou indicador de manuseio a baixa temperatura para tanques de armazenamento grandes e oleodutos de refinarias e terminais
Resíduo de carbono	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Correlacionado com a quantidade de depósito carbonáceo na câmara de combustão ▪ Maior depósito de carbono é esperado para altos valores de resíduo de carbono
Material particulado	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Indica o potencial de emissão de materiais particulados ▪ Contém principalmente partículas de carbono ▪ Partículas de fuligem (partículas carbonáceas formadas de processos em fase gasosa) absorvem e levam materiais carcinogênicos para o ambiente e podem causar enfermidades nos seres humanos. Fuligem excessiva pode obstruir as válvulas de exaustão do automóvel
Cinzas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resultam de compostos oleosos, metálicos, solúveis em água ou de partículas sólidas como poeira e ferrugem ▪ Pode ser usado para decidir sobre a adequação do produto para uma aplicação específica
Enxofre	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Controlado para minimizar a corrosão e o desgaste ▪ Produtos de combustão de enxofre causam poluição ambiental ▪ Corrosivo na natureza e causa problemas no motor

Fonte: SRIVASTAVA e PRASAD, 2000.

Como mencionado anteriormente, a redução do enxofre no processo de refino do petróleo demanda alto custo e tecnologia própria. Assim, por questões de ordens técnicas e financeiras, o Brasil comercializa três diferentes tipos de diesel, os quais são separados pelo teor de enxofre presente no combustível: diesel metropolitano, diesel rodoviário e diesel marítimo.

A Portaria nº 032, de 04 de agosto de 1997 do Departamento Nacional de Combustíveis – DNC apresenta a classificação do Diesel brasileiro (Tabela 3):

Tabela 3. Características dos diversos tipos de diesel comercializado no Brasil.

Características	Tipos	Características	Tipos
Identificação	B “rodoviário”	D “metropolitano”	Marítimo
Local de Aplicação	Pequenas cidades e estradas	Grandes centros urbanos	Em embarcações
PPM de Enxofre	Até 1.800	Até 500	Até 5.000
% de Enxofre (em massa)	0,18	0,05	0,5

Fonte: Adaptado de DNC, 1997.

O Ministério de Meio Ambiente (2011) do Brasil, por meio do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), instituiu o Programa de Controle de Emissões Veiculares (PROCONVE) para veículos comerciais, de forma que, a partir de 2012, entrará em vigor a etapa 7 do cronograma para veículos pesados, os quais precisarão seguir os limites máximos de 1,5 g/kWh de monóxido de Carbono (CO), 0,46g/kWh de hidrocarbonetos (HC), 2,00 g/kWh de óxidos de nitrogênio (NO_x) e 0,02 g/kWh de Material Particulado (MP). Nesta etapa, o combustível diesel vendido nas bombas de postos de combustível em todo o país deverá apresentar teor de enxofre abaixo de 50 ppm. Para isso, os veículos precisarão sair de fábrica com equipamentos de pós-tratamento das emissões denominado redução catalítica seletiva, do inglês “*Selective Catalytic Reduction* (SCR)”, que são catalisadores de redução seletiva com uso de uréia como Agente Redutor Líquido Automotivo (ARLA 32) ou com o sistema ECR (do inglês: recirculação dos gases de exaustão) onde parte dos gases da emissão são recirculados e voltam para dentro da câmara de combustão (VENTURA, 2009).

Devido aos problemas ambientais causado pela emissão de poluentes na atmosfera, o comércio de combustíveis, mais especificamente do óleo diesel, é distribuído de acordo com tolerância à qualidade das emissões, as quais têm o

enxofre como um dos principais problemas. Em regiões mais populosas e, conseqüentemente, sujeitas a um nível maior de poluição, são destinados combustíveis que emitem menores concentrações de compostos sulfurados. Dessa forma, o diesel metropolitano, vendido em grandes centros urbanos, possui menor teor de enxofre (até 500 ppm). Enquanto que o diesel utilizado em regiões menos concentradas, como estradas e cidades menores, pode-se encontrar até 1800 ppm de enxofre no óleo diesel. Já o diesel utilizado em embarcações é mais permissivo em relação a esse elemento chegando a 5.000 ppm de enxofre (MMA, 1993). Além do Brasil, outros países também enfrentam dificuldade quanto ao teor de enxofre em seus combustíveis. Em Taiwan, por exemplo, o diesel destinado a embarcações pode chegar a 4,5% ou 4.500 ppm de enxofre (LIN e HUANG, 2011).

No Brasil, em termos de diesel marítimo, são utilizadas as seguintes classificações (ANP, 2010b):

- a) Óleo diesel marítimo A (DMA): combustível destilado médio, para uso aquaviário;
- b) Óleo diesel marítimo B (DMB): combustível predominantemente composto de destilados médios, podendo conter pequenas quantidades de óleos de processo do refino, para uso aquaviário.

Em ambos os casos o teor de enxofre é de 5.000 ppm ou 0,5% em massa. A Tabela 4 apresenta as especificações esperadas do diesel marítimo para ser comercializado no Brasil e os métodos utilizados nos testes para sua especificação.

Tabela 4. Especificação do Óleo Diesel Marítimo.

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE		MÉTODO	
		TIPO		ABNT NBR	ASTM/IP/ISO
		DMA	DMB		
Aspecto	-	LII (2)	anotar	Visual	-
Cor ASTM, máx.	-	3	-	14483	ASTM D1500

Continuação da Tabela 4. Especificação do Óleo Diesel Marítimo.

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE		MÉTODO		
		TIPO		ABNT NBR	ASTM/IP/ISO	
		DMA	DMB			
Enxofre Total, máx.	% massa	0,5		14533	ASTM D2622 ASTM D4294 ASTM D5453 ISO 8754 ISO 14596	
Massa Específica a 20 °C, máx.	kg/m³	876,8	896,8	7148 14065	ASTM D1298 ASTM D4052 ISO 3675 ISO 12185	
Ponto de Fulgor, mín.	°C	60,0		14598	ASTM D93 ISO 2719	
Viscosidade a 40 °C	mm²/s	1,5 - 6,0	máx. 11,0	10441	ASTM D445 ISO 3104	
Ponto de Fluidez, máx.	Tipo inverno	°C	-6	0	11349	ASTM D97 ISO 3016
	Tipo verão		0	6		
Índice de Cetano, mín.	-	40	35	14759	ASTM D4737 ISO 4264	
Resíduo de Carbono no resíduo dos 10 % finais de destilação, máx.	% massa	0,25	-	15586	ASTM D4530 ISO 10370	
Resíduo de Carbono, máx.	% massa	-	0,30			
Cinzas, máx.	% massa	0,010		9842	ASTM D482 ISO 6245	
Água, máx.	% vol.	-	0,30	14236	ASTM D95 ISO 3733	
Sedimentos, máx.	% massa	-	0,10 (3)	-	ASTM D4870 ISO 10307-1	

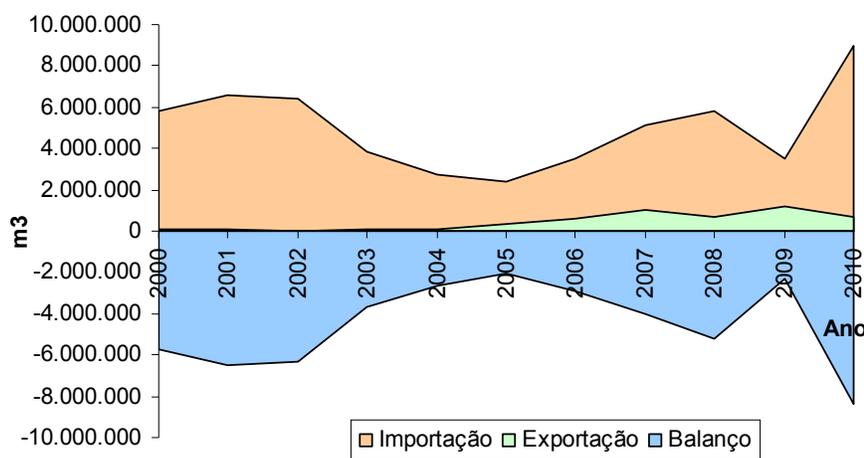
Admite-se um teor máximo de 0,1 % em volume de biodiesel aos óleos diesel marítimos pelo método ABNT NBR 15568 ou EN 14078.

(2) Límpido e isento de impurezas.

(3) A determinação desta característica é requerida quando o produto não se apresentar límpido e isento de impurezas.

Fonte: ANP, 2010b.

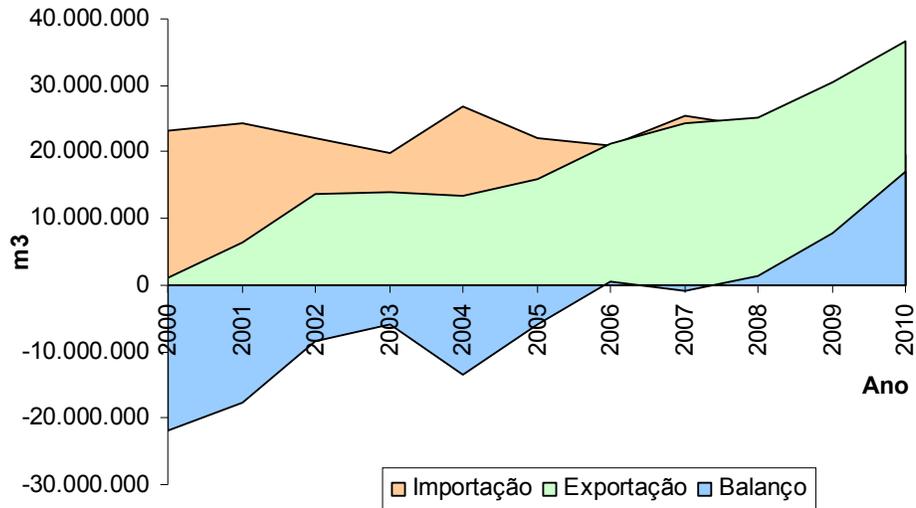
Atualmente, o Brasil não possui produção suficiente de óleo diesel para suprir a demanda do país, sendo necessária à importação tanto do petróleo como do diesel destilado (IBP, 2011). As Figuras 10 e 11, a seguir, apresentam o volume de importação e exportação dos dois óleos e seu balanço comercial. Na Figura 10 é observado o volume comercial de óleo diesel. A partir de 2004, inicia-se a exportação deste combustível porém com negativo balanço comercial. A aparente contradição com importação e exportação a partir de 2004 de óleo diesel pode ser explicada devido ao petróleo produzido no Brasil ser do tipo pesado, sendo necessária a importação de óleo diesel de origem de petróleo leve de forma a melhorar a qualidade daquele combustível.



Fonte: Adaptado de IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (2011).

Figura 10. Desempenho de Importação e Exportação de Óleo Diesel no Brasil.

Na Figura 11 estão apresentados os volumes da balança comercial do petróleo. A partir de 2007, pode-se observar uma interrupção das importações de petróleo, refletindo em uma balança comercial positiva para este produto, haja vista a independência deste devido às novas descobertas de petróleo no território nacional.



Fonte: Adaptado de IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (2011).

Figura 11. Desempenho de Importação e Exportação de Petróleo.

Em 2010, a quantidade de DM comercializado no Brasil foi da ordem de 1,1% do total de diesel (45,5 milhões de m³), ou seja, cerca de 500 mil m³ de DM foi comercializado neste ano (ANP, 2011).

Para atender a alta demanda de óleo diesel, uma opção que já vem sendo aplicada no Brasil com intuito não só reduzir as importações, mas também as emissões de poluentes, é a utilização de combustíveis renováveis como é o caso do biodiesel. Desde 1^o de janeiro de 2010, todo o diesel rodoviário e metropolitano comercializado no país deve conter 5% de biodiesel. Esta condição foi estabelecida pela Resolução nº 6/2009 do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) (BRASIL, 2009).

O diesel brasileiro possui uma alta taxa de enxofre quando comparado àquele utilizados nos Estados Unidos e Europa, por exemplo. A adição de frações de biodiesel ao diesel brasileiro, tem sido uma alternativa para a redução do teor de enxofre no combustível que alimenta os motores ciclo diesel. Além disso, esta adição pode propiciar o uso de um combustível menos dependente do processo

de refino para redução de enxofre. Assim, pode-se assumir que quanto maior a proporção de biodiesel adicionado no diesel, menor será o teor enxofre presente no combustível como um todo. Nesse aspecto, há uma redução de aproximadamente 100% das emissões de dióxido de enxofre quando se utiliza os biocombustível pois as concentrações de enxofre, nestes combustíveis, são consideradas próximas de zero (CORONADO et al., 2009).

Todavia, atualmente, o diesel marítimo é o único diesel comercializado no Brasil, sem adição de biodiesel. Sua incorporação colaboraria para a redução das taxas de emissão de compostos sulfurados, além de contribuir para redução de processos de refino mais onerosos. Neste contexto, estudos que avaliem a viabilidade de adição de biodiesel em diesel marítimo são muito importantes para que o biocombustível possa ser implementado em todo o diesel comercializado no Brasil e possa, conseqüentemente, trazer mais vantagens econômicas e ambientais para o país. Assim, a seguir, serão discutidas a obtenção, o processo de produção e o uso do biodiesel.

2.3 O uso de Biocombustíveis no Brasil

A elevação e flutuação do preço do barril de petróleo no mercado internacional, as questões ambientais, notadamente voltadas para o aquecimento global causado pela poluição dos grandes centros urbanos, e a necessidade de fixação do homem em zonas rurais têm se apresentado como as principais preocupações para justificar a busca por combustíveis alternativos (GUARIEIRO, TORRES, ANDRADE, 2011). Uma das vertentes de solução para esses problemas é o desenvolvimento e produção de combustíveis alternativos fundamentados em biomassa (VAN GERPEN, 2005).

Todo produto obtido a partir da biomassa pode ser definido como biocombustível. O biodiesel é uma derivação da formação dos óleos fornecidos através de forma vegetal ou animal, que quando adicionado a alcoóis, como o metanol e o etanol, podem suprir uma parte, ou totalmente, a necessidade do uso

de combustíveis fósseis em motores de combustão interna ou outro tipo de geração de energia (TOLMASQUIM, 2003; GUARIEIRO, TORRES, de ANDRADE, 2011).

Países como Brasil, Estados Unidos e Europa já utilizam combustíveis alternativos substituindo alguns dos derivados de petróleo para movimentar sua frota de veículos. Cabe salientar que o Brasil tem sido um dos mais importantes países na produção de combustíveis alternativos derivados de fontes renováveis, em substituição aos combustíveis fósseis, para alimentar os MCI (MASIEIRO e LOPES, 2008; ANDRADE FILHO, MASSA e BENVENUTTI, 2008; HARVEY e PILGRIM, 2011). Este é o caso do uso do etanol, que se iniciou na década de 70, e mais recentemente, em 2005, o uso de biodiesel com o lançamento do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) (ANDRADE FILHO, MASSA e BENVENUTTI, 2008). Neste contexto, condições como área agriculturável e conhecimento técnico em produção de combustíveis alternativos, como é o caso do etanol, têm colocado o Brasil em posição diferenciada perante os demais países desenvolvidos que utilizam o biocombustíveis para abastecer veículos.

A cana-de-açúcar e os óleos vegetais têm sido as matérias-primas mais importantes para a produção de biocombustíveis no Brasil. Para a produção de biodiesel, especificamente, tem se destacado o uso de soja, dendê, girassol, babaçu, amendoim, mamona, pinhão manso e outras espécies vegetais (GUARIEIRO, TORRES, de ANDRADE, 2011). A Tabela 5 mostra os principais tipos de biocombustíveis, sua matéria-prima, o processo de obtenção e sua composição química.

Tabela 5: Fontes, processo de obtenção e composição química de alguns biocombustíveis.

Biocombustível	Matéria-prima	Processos de obtenção	Composição química
Carvão Vegetal	Madeira	Pirólise	Carbono
Álcool	Açúcares (glicose, amido, celulose etc.)	Fermentação anaeróbica	Etanol (CH ₃ CH ₂ OH)

Continuação da Tabela 5: Fontes, processo de obtenção e composição química de alguns biocombustíveis.

Biocombustível	Matéria-prima	Processos de obtenção	Composição química
Biogás	Todo o tipo de Biomassa	Fermentação anaeróbica	Hidrocarbonetos leves
Biogás de síntese	Biomassa em geral	Gaseificação	Mistura de vários gases, essencialmente CO e H ₂
Biodiesel	Óleos e gorduras	Esterificação ou transesterificação	Ésteres de ácidos graxos
Bio-óleo	Óleos e gorduras	Craqueamento ou hidrocrackeamento	Mistura de hidrocarbonetos e compostos Oxigenados

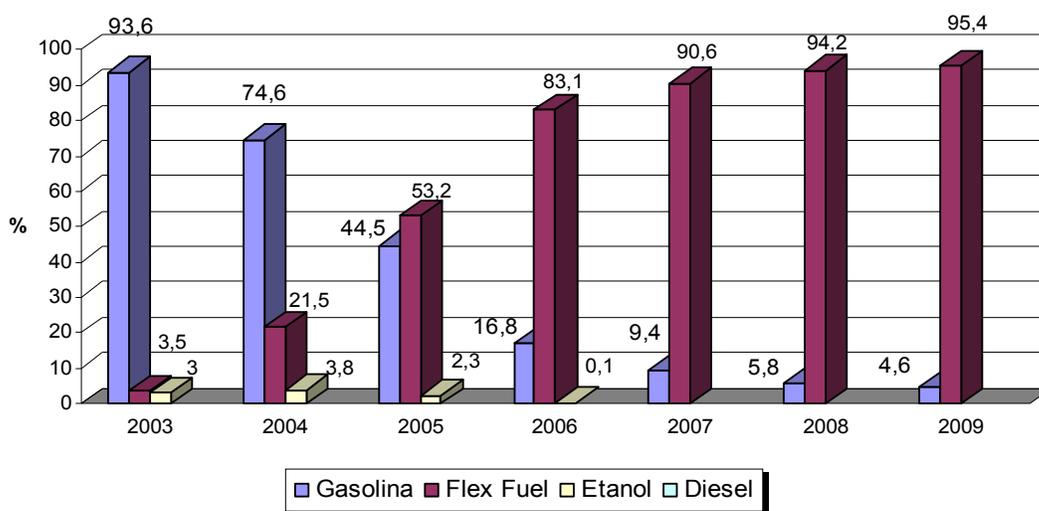
Fonte: Adaptado de Oliveira, Suarez e Santos (2008).

Historicamente, na década de 70, o Brasil iniciou a produção de veículos movidos a etanol de cana-de-açúcar para abastecer os veículos leves. Em 1985, aconteceu o ápice da popularização do uso de etanol na indústria automotiva brasileira, com a marca de 96% de licenciamento de veículos leves no Brasil, contra apenas 4% de veículos movidos à gasolina (ANFAVEA, 2010).

O sucesso do etanol pode ser observado pelos benefícios que esse combustível trouxe para o Brasil. Sua utilização proporcionou a independência dos preços do petróleo, redução das emissões e fomento ao emprego em zonas rurais, o que justificou o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) baixar a portaria número 143 que fixava o percentual obrigatório de 25% de etanol anidro à gasolina (AMBROZIN, KURI, MONTEIRO, 2009).

Recentemente, iniciou-se a produção de veículos “*Flex Fuel*” equipados com sensores de oxigênio (sonda *lambda*), que possibilitam detectar o tipo de combustível a partir da condutividade elétrica do ar e fazendo ajustes automáticos no motor, tornando possível que esse tipo de veículo possa ser abastecido com

gasolina pura, etanol puro ou quaisquer proporções desses combustíveis (AMBROZIN, KURI e MONTEIRO, 2009). Este fato refletiu em um aumento significativo dos licenciamentos de veículos leves no Brasil com tecnologia “*Flex Fuel*” que, em 2009, foi superior a 95% do total de automóveis rodando no país, Figura 12 (ANFAVEA, 2010).



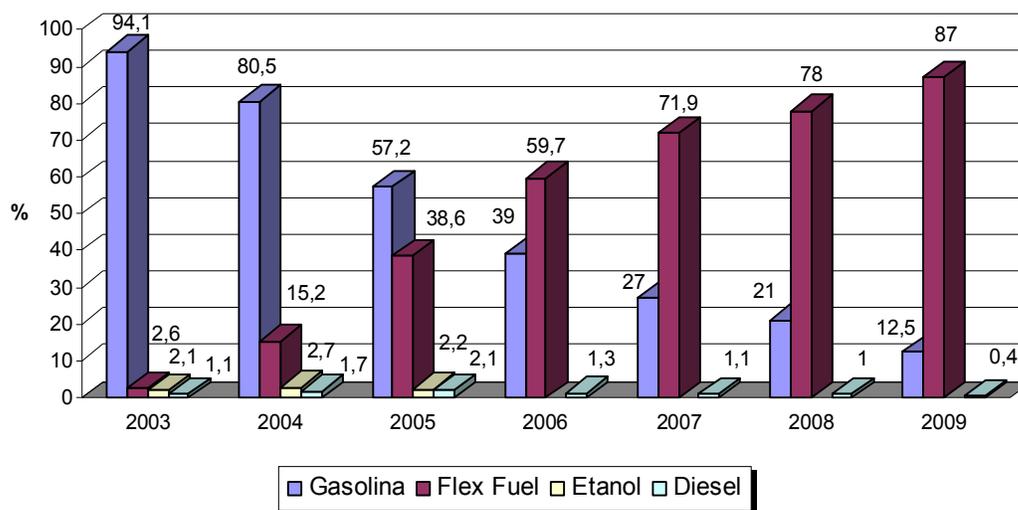
Fonte: Adaptado de ANFAVEA, 2010.

Figura 12. Evolução do licenciamento de veículos no Brasil.

Na Figura 13, são apresentados os dados do total da produção brasileira de veículos leves que chega à marca de 87% de veículos “*Flex Fuel*” contra 12,5% de automóveis à gasolina e 0,4% de diesel, estes últimos destinados exclusivamente à exportação (ANFAVEA, 2010).

De forma geral, países de clima tropical (normalmente em desenvolvimento) são países com potencial para produzir biocombustíveis, pois estão localizados em regiões de clima propício para o desenvolvimento de matéria-prima especializada para esse fim. Sua população, moradora de zonas rurais, normalmente carentes, pode ser inserida no mercado de trabalho a partir do plantio, coleta e processamento de biocombustíveis (MMA, 2011). Dessa

forma, é possível uma distribuição de renda para as famílias que sobrevivem da exploração de matéria vegetal e animal como é o caso do biodiesel (MRE, 2011).



Fonte: Adaptado de ANFAVEA, 2010.

Figura 13. Evolução da produção de veículos no Brasil.

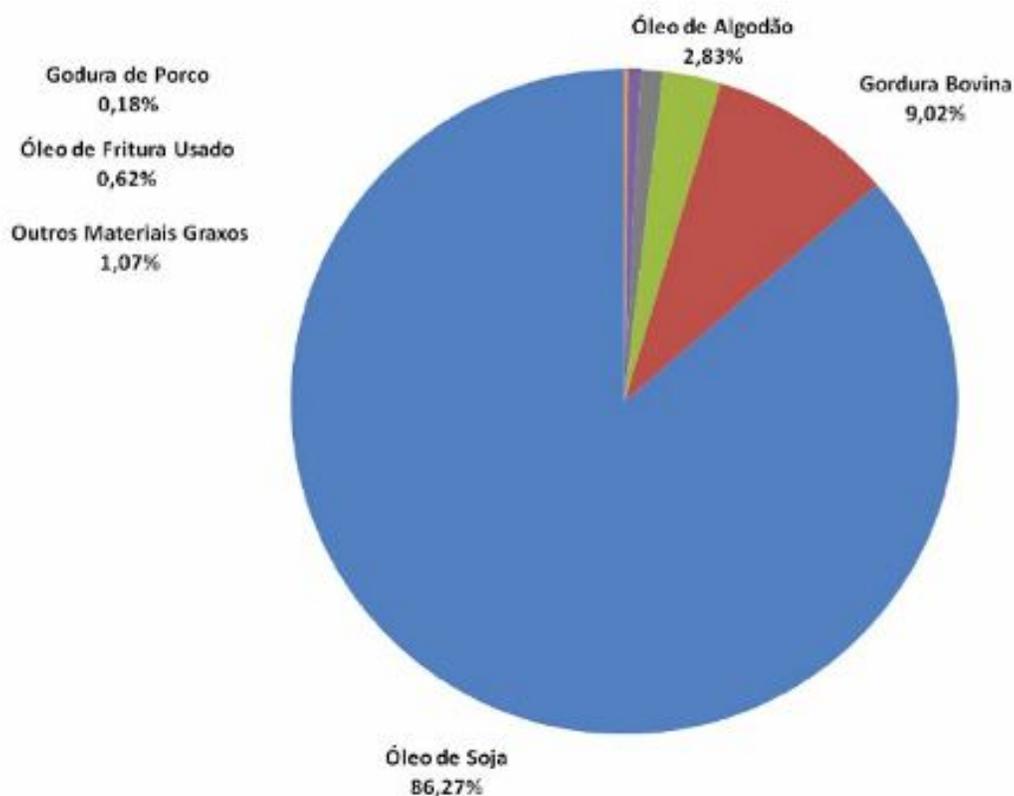
2.3.1 O Biodiesel

Óleos vegetais utilizados como combustível em motores diesel não é um assunto recente, pelo ao contrário, como já mencionado anteriormente, data da iniciação do motor diesel por Rudolf Diesel, que apresentou seu invento alimentado com óleo de amendoim (WANG et al., 2000).

O biodiesel tem sua origem baseada em óleos vegetais e em gordura animal. Algumas das principais fontes de biodiesel de origem vegetal são: soja, girassol, amendoim, algodão, óleo de palma, coco, babaçu e óleo de mamona. No Brasil, a soja tem sido apresentada como uma das principais fontes para produção do combustível, sendo responsável por cerca de 90% de todo o óleo vegetal produzido no país (PINTO et al., 2005). Gordura animal e óleo de algodão vêm em seguida com cerca de 9 e 3%, respectivamente (ANP, 2011). Óleos de

cozinha residual também são fontes de matéria-prima para produção de biodiesel (FERRARI, OLIVEIRA e SCABIO, 2005). A Figura 14 apresenta a distribuição das principais matérias primas utilizadas para a produção de biodiesel no Brasil (ANP, 2011).

A Figura 15 apresenta um esquema simplificado do processo de produção do biodiesel. Normalmente, o biodiesel é produzido pela reação de transesterificação, onde a matéria-prima (óleo vegetal ou gordura animal) reage com um álcool de cadeia curta (etanol ou metanol) na presença de um catalisador. Neste processo são gerados biodiesel e um co-produto (a glicerina). Esse processo reduz a viscosidade do óleo, mas mantém o número de cetano e o poder calorífico do combustível (MONYEM e VAN GERPEN, 2001).



Fonte: ANP, 2011

Figura 14. Distribuição das matérias primas utilizadas para a produção de biodiesel no Brasil tomando-se como referencia junho 2011.

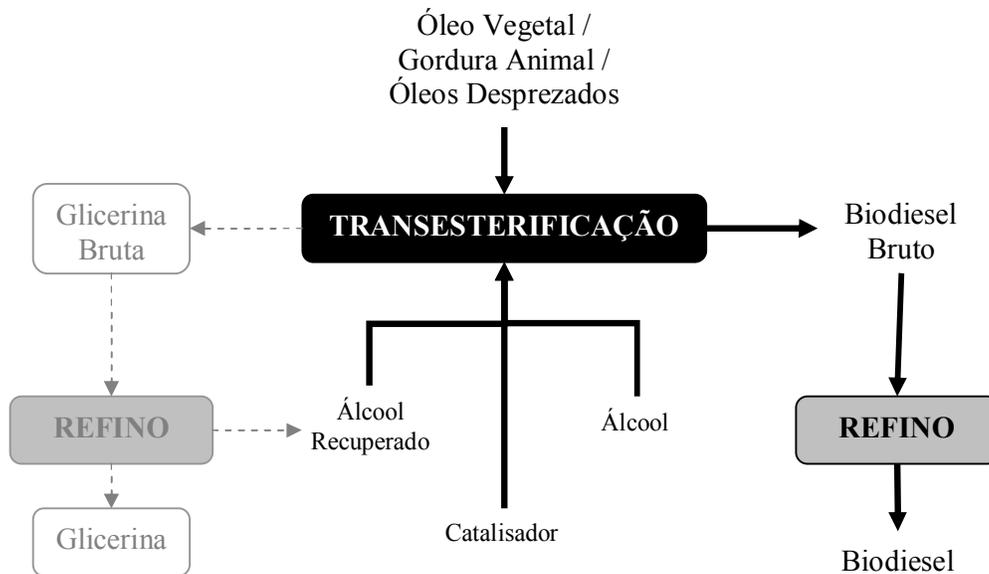


Figura 15. Esquema simplificado do processo de produção do biodiesel e seus co-produtos, a partir da reação de transesterificação.

Em geral, no Brasil, é utilizado o metanol no processo de obtenção de biodiesel. Em 2010, 96,7% da produção de biodiesel foi gerada a partir desse tipo de álcool. Como subproduto da obtenção de biodiesel tem-se a glicerina. Neste mesmo ano, foram produzidos 257,9 mil m³ de glicerina a partir do processo de produção de biodiesel (ANP, 2011).

É importante salientar que, o biodiesel é, normalmente, adicionado ao diesel derivado de petróleo formando uma mistura combustível que, popularmente é chamada também de biodiesel.

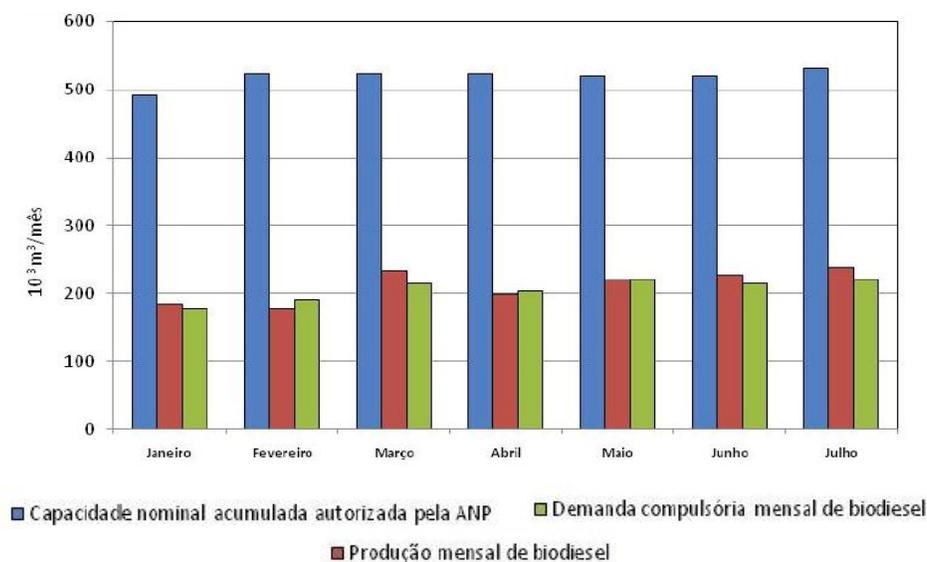
O governo brasileiro lançou em dezembro de 2004 o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), coordenado pela Casa Civil e assessorado por uma Comissão Executiva Interministerial composta por 14 Ministérios, ANP, Petrobras, Embrapa e BNDES e operacionalizado pelo Ministério de Minas e Energia (CAMPOS e CARMELIO, 2006).

Em 13 de janeiro de 2005, foi promulgada a Lei nº 11.097, que dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, alterando as Leis

nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, nº 9.847, de 26 de outubro de 1999 e nº 10.636, de 30 de dezembro de 2002 (BRASIL, 2005).

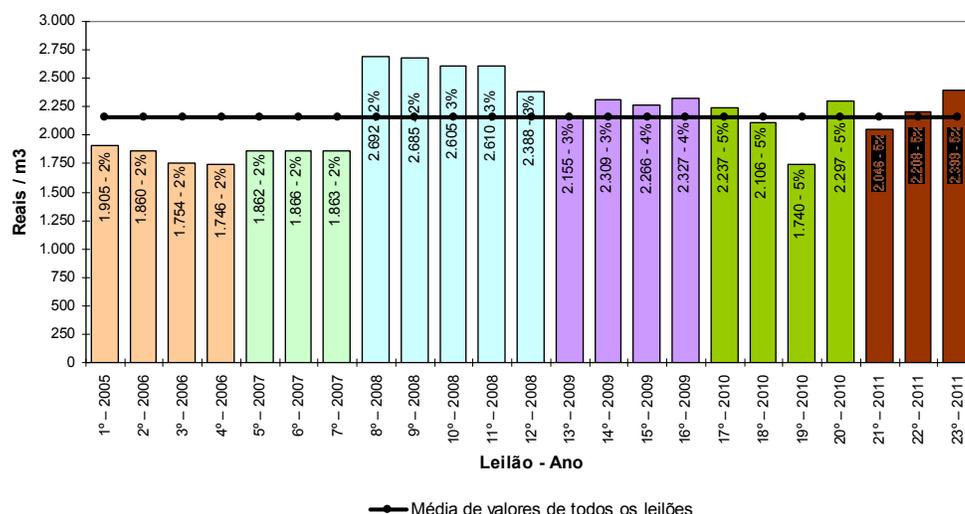
A produção de biodiesel no Brasil ainda está aquém da sua capacidade acumulada. Em 2010, a capacidade instalada, autorizada pela ANP, para produção de biodiesel foi de cerca de 5,8 milhões de m³, porém apenas 41,1% dessa capacidade foi efetivamente comprometida para a produção que ficou em aproximadamente 2,4 milhões m³. A Figura 16 apresenta os dados de capacidade nominal autorizada pela ANP, a efetiva produção e a demanda obrigatória entre os meses de janeiro a junho de 2011 (ANP, 2011).

A Figura 17 apresenta os valores médios de cada leilão para comercialização de biodiesel promovido pela ANP e o percentual da adição compulsória de biodiesel ao diesel brasileiro não aquaviário na época de cada leilão. A figura ainda contém a média dos valores de todos os leilões (ANP, 2011). Pode-se notar que, os valores até 2007 estavam em patamares mais baixos, se elevando de forma considerável em 2008 e permanecendo em patamares mais estáveis a partir de 2009.



Fonte: ANP, 2011

Figura 16. Evolução mensal da produção, demanda compulsória e capacidade nominal de biodiesel no Brasil de janeiro a julho de 2011.



Fonte: ANP, 2011

Figura 17. Valores de leilões da ANP de 2005 a 2011 e teor de biodiesel adicionado ao diesel.

No Brasil, o biodiesel é misturado ao diesel sem a preocupação quanto à matéria-prima que o originou, desde que esteja devidamente especificado segundo padrões e limites estabelecidos pela ANP (CAMPOS e CARMELIO, 2006). Assim, na Tabela 6 estão apresentadas as especificações para o biodiesel puro baseadas nas tolerâncias de cada característica e o(s) método(s) de ensaio(s) necessários para utilização do biodiesel na adição ao diesel (ANP, 2010a).

Tabela 6 – Especificação do Biodiesel.

CARACTERÍSTICA	Unidade	LIMITE	MÉTODO		
			ABNT NBR	ASTM D	EN/ISO
Aspecto	-	LII (1)	-	-	-
Massa específica a 20° C	kg/m³	850-900	7148 14065	1298 4052	EN ISO 3675 - EN ISO 12185
Viscosidade Cinemática a 40°C	Mm²/s	3,0-6,0	10441	445	EN ISO 3104
Teor de Água, máx. (2)	mg/kg	500	-	6304	EN ISO 12937
Contaminação Total, máx.	mg/kg	24	-	-	EN ISO 12662
Ponto de fulgor, mín. (3)	°C	100	14598	93	EN ISO 3679
Teor de éster, mín	% massa	96,5	15764	-	EN 14103
Resíduo de carbono (4)	% massa	0,05	15586	4530	-
Cinzas sulfatadas, máx.	% massa	0,02	6294	874	EN ISO 3987

Continuação da Tabela 6. Especificação do Biodiesel.

CARACTERÍSTICA	Unidade	LIMITE	MÉTODO		
			ABNT NBR	ASTM D	EN/ISO
Enxofre total, máx.	mg/kg	50	- -	5453	- EN ISO 20846 EN ISO 20884
Sódio + Potássio, máx.	mg/kg	5	15554 15555 15553 15556	-	EN 14108 EN 14109 EN 14538
Cálcio + Magnésio, máx.	mg/kg	5	15553 15556	-	EN 14538
Fósforo, máx.	mg/kg	10	15553	4951	EN 14107
Corrosividade ao cobre, 3h a 50 °C, máx.	-	1	14359	130	EN ISO 2160
Número de Cetano (5)	-	Anotar	-	613 6890 (6)	EN ISO 5165
Ponto de entupimento de filtro a frio, máx.	°C	19 (7)	14747	6371	EN 116
Glicerol total, máx.	% massa	0,25	15344-	6584 (8)	EN 14105 (10)
Glicerol total, máx.	% massa	0,25	15344 -	6584 (8) -	EN 14105 (10) EN 14105 (10)
Mono, di, triacilglicerol (5)	% massa	Anotar	15342 15344	6584 (8)	- - EN 14105 (8)
Metanol ou Etanol, máx.	% massa	0,2	15343	-	EN 14110
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g	0,5	14448 -	664 -	- EN 14104 (8)
Índice de Iodo (5)	g/100g	Anotar	-	-	EN 14111
Estabilidade à oxidação a 110°C, mín.(2)	h	6	-	-	EN 14112 (8)

- (1) Limpido e isento de impurezas com anotação da temperatura de ensaio.
- (2) O limite indicado deve ser atendido na certificação do biodiesel pelo produtor ou importador.
- (3) Quando a análise de ponto de fulgor resultar em valor superior a 130°C, fica dispensada a análise de teor de metanol ou etanol.
- (4) O resíduo deve ser avaliado em 100% da amostra.
- (5) Estas características devem ser analisadas em conjunto com as demais constantes da tabela de especificação a cada trimestre civil. Os resultados devem ser enviados pelo produtor de biodiesel à ANP, tomando uma amostra do biodiesel comercializado no trimestre e, em caso de neste período haver mudança de tipo de matéria-prima, o produtor deverá analisar número de amostras correspondente ao número de tipos de matérias-primas utilizadas.
- (6) Poderá ser utilizado como método alternativo o método ASTM D6890 para número de cetano.
- (7) O limite máximo de 19°C é válido para as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Bahia, devendo ser anotado para as demais regiões. O biodiesel poderá ser entregue com temperaturas superiores ao limite supramencionado, caso haja acordo entre as partes envolvidas. Os métodos de análise indicados não podem ser empregados para biodiesel oriundo apenas de mamona.
- (8) Os métodos referenciados demandam validação para as matérias-primas não previstas no método e rota de produção etílica.

Fonte: ANP 2010a.

Apesar de o biodiesel ser adicionado diesel em diferentes proporções, este combustível pode, também, ser utilizado puro no abastecimento de MCI sem que este necessite de qualquer alteração (LIN e HUANG, 2011). Porém, alguns estudos apontam para o fato de que a utilização do biodiesel puro ou a utilização de óleos vegetais, sem que estes estejam em forma de biodiesel, pode reduzir a vida útil do motor, danificando alguns componentes devido a sua alta viscosidade, a ocorrência de depósitos em varias partes do motor e formação de borras (KNOTHE et al., 2007).

Apesar de ser utilizado na substituição total ou parcial ao diesel, o biodiesel possui poder calorífico inferior ao diesel (6,42 kcal/l e 7,20 kcal/l, respectivamente). Já a viscosidade cinemática, pode chegar a 14,7 para o biodiesel de mamona enquanto a do diesel é de 4,1 (GUARIEIRO et al., 2009). O biodiesel possui número de cetano ligeiramente maior do que o diesel e melhor lubricidade, o que é benéfico para o motor (CORONADO et. al, 2009). O maior número de cetano melhora o desempenho de motores quando abastecidos com biodiesel (SULEK, KULCZYCKI e MALYSA, 2010).

Testes de desempenho apontam que tanto o biodiesel quanto o diesel apresentam resultados semelhantes, porém o biodiesel perde eficiência (de 2 a 9%) com o aumento da velocidade do motor. A maior massa de combustível injetado na câmara de combustão, quando utilizado biodiesel, faz com que seu consumo seja maior. Isso pode estar relacionado ao maior poder calorífico do diesel (YÜKSEK et al., 2009). O poder calorífico do biodiesel está em torno de 40 MJ/Kg, independente de sua matéria prima, enquanto o do diesel fica em cerca de 45 MJ/Kg (LANG et al., 2001). Esses dados são validados por Bueno (2007) quando apresenta o poder calorífico (MJ/kg) de B10 de canola (42,5), algodão (42,4) e soja (42,4), e o diesel (43,0).

Ong et al. (1985), comparando diesel com óleo de palma encontraram número de cetano ligeiramente inferior (50-52) ao do diesel (53). Os pesquisadores concluíram que o consumo de éster metílico de óleo de palma, em média, foi de 12 km/l em comparação com 13 km/l de diesel. Porém, em uma velocidade acima de 80 km/h, o éster metílico de óleo de palma foi mais

econômico do que diesel.

A partir de ensaios em motores Yammer e Isuzu, Masjuk e Sohif (1991) observaram que o consumo de combustível de metil éster de palma foi de 15 a 20% maior do que do diesel, já que este apresentou melhor eficiência térmica.

A lubricidade do biodiesel é superior a do diesel, em especial ao diesel com baixo teor de enxofre. Assim, a adição de biodiesel, ainda que em baixas concentrações (1 a 2%), ao diesel com baixo teor de enxofre, pode restabelecer sua lubricidade (KNOTHE e STEIDLEY, 2005). A melhor lubricidade do biodiesel desgasta menos o motor, já que reduz a produção de fuligem proveniente do desgaste dos componentes (RAMAPRABHU, BHARDWAJ e ABRAHAM, 2008).

Pesquisas têm apresentado resultados importantes na viabilização do uso de biodiesel e suas misturas ao óleo diesel (GUARIEIRO, 2008 e 2009; MARTINS et. al., 2011). Entretanto, em geral, as pesquisas que vem sendo realizadas com adição de biodiesel no diesel focam, na maioria das vezes, na utilização do diesel rodoviário (com baixo teor de enxofre), não havendo muitos trabalhos que utilizem taxas mais elevadas de enxofre, como é o caso do diesel marítimo comercializado no Brasil.

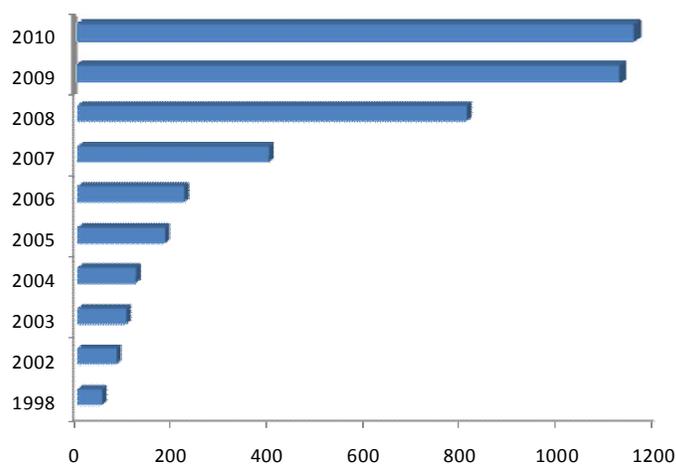
2.3.1.1 Vantagens e Desvantagens da utilização de Biodiesel

Publicações relativas ao desenvolvimento tecnológico do biodiesel têm crescido exponencialmente nos últimos anos, o que é atribuído à busca de novas fontes de energias renováveis pela humanidade (QUINTELLA et al., 2011).

Em 2005, Pinto e colaboradores fizeram um levantamento estatístico para verificar o perfil de publicações sobre biodiesel no período de 2000 a 2004. Foi observado que os números são crescentes e que o número de patentes depositadas em 2004 representou 56,6% do número de artigos publicados em revistas indexadas. A Figura 18, apontada por Guarieiro, Torres e Andrade

(2011), apresenta a evolução dos artigos científicos escritos em periódicos nacionais e internacionais no período de 1998 a 2010 e que têm 'biocombustível' como palavra-chave. É possível verificar a grande evolução das publicações, notadamente a partir de 2007.

Estes dados corroboram com o mencionado anteriormente, ou seja, que as vantagens do uso deste biocombustível refletem no aumento do interesse em se pesquisar o uso deste combustível em MCI, bem como os processos de produção de biodiesel.



Fonte: Guarieiro, Torres e de Andrade (2011).

Figura 18. Evolução das publicações de artigos científicos entre 1998 e 2010 tendo 'biocombustível' como palavra-chave.

O biodiesel apresenta muitas vantagens quando comparado ao diesel derivado de petróleo (GÖKALP et al., 2009). Algumas das principais vantagens do uso do biodiesel para alimentar MCI são: (i) ser renovável (dispensa o uso de um recurso finito, derivado de petróleo), (ii) ser eficientemente energético, (iii) reduzir as emissões de alguns poluentes lançados na atmosfera, (iv) ser menos tóxico, (v) ser biodegradável, (vi) ter boas propriedades lubrificantes, dentre outras (NREL, 2008; RESNAUER e SPECHT, 2010; LIN e HUANG, 2011).

O biodiesel pode apresentar características de viscosidade cinemática semelhante ao diesel e melhor condição de segurança para manipulação, devido a seu ponto de fulgor acima de 150°C (o ponto de fulgor do diesel é da ordem de 60 a 80°C) (CORONADO et al., 2009). Neste contexto, alguns resultados sobre a utilização do biodiesel estão apresentados a seguir.

Juliato (2006) utilizou um motor Yanmar monocilíndrico de aplicação agrícola em um dinamômetro com misturas de diesel/biodiesel (2 a 20% de biodiesel). Foram avaliados nos testes a potência, torque, consumo de combustível e emissões, não sendo observado nenhuma diferença significativa nos parâmetros relacionados, quando comparado com os resultados obtidos para diesel puro.

Bueno (2006) avaliou um motor diesel de injeção direta turbo, abastecido com misturas de biodiesel/diesel de soja de até 20%. Foi observada uma redução no consumo específico de combustível e ganho de desempenho, quando utilizadas misturas de até 10% de biodiesel. Acima desse limite, foi verificada uma perda de rendimento, quando comparado ao diesel de petróleo. De forma geral, foi demonstrado ser vantajosa a adição de biodiesel ao óleo diesel. Com relação à liberação de energia em motores diesel operando com combustíveis alternativos, este mesmo pesquisador, concluiu que a adição de biodiesel não altera, de forma significativa, o desempenho do motor ao se utilizar B20.

Castellanelli (2006), utilizando um motor Cummins modelo 4BTA3.9, sem turbina, ciclo diesel, de injeção direta, com quatro cilindros e sem adaptações, avaliou o desempenho do motor com misturas de biodiesel/diesel. Foi observado que misturas abaixo de 20% de biodiesel apresentam resultados semelhantes àqueles encontrados para diesel puro, sendo que o B20 apresentou o melhor desempenho e, nas misturas acima desse valor, os resultados foram desfavoráveis devido à perda de rendimento.

Além das vantagens técnicas acima abordadas, a utilização de biodiesel tem um viés ambiental. A redução das principais emissões causadas pelo diesel, principalmente aquelas causadoras do efeito estufa, é o ponto chave para a

viabilização da substituição desse combustível pelo biodiesel. Por ser considerado isento de enxofre, sua queima, não emite SO_x (LIN e HUANG, 2011; CAMPOS e CARMELIO, 2006). Destaca-se ainda redução de MP (CAMPOS e CARMELIO, 2006), dióxido de carbono (CO_2) que é absorvido no plantio das fontes para obtenção do óleo, CO, e NO_x (GUARIEIRO, TORRES e de ANDRADE, 2011). Nesse sentido, o código florestal brasileiro permite, por exemplo, que assentamentos com foco na agricultura familiar possam fazer o plantio do dendê em áreas degradadas da floresta Amazônica para serem utilizados na produção de biodiesel (CAMPOS e CARMELIO, 2006).

No espectro social, de suma importância para o desenvolvimento do país, estudos mostram que a cada 1% de biodiesel produzido pela agricultura familiar para ser adicionado ao diesel brasileiro, são gerados 45 mil empregos diretos com renda *per capita* em torno de R\$ 4.900,00 por ano (HOLANDA, 2004). Como dito anteriormente, há a possibilidade, principalmente a partir de incentivos governamentais às empresas produtoras de biodiesel, de que parte das fontes de matéria-prima para fabricação do biocombustível tenham origem na agricultura familiar, beneficiando o homem do campo, normalmente de baixa renda, por meio da geração de uma nova fonte de recurso (GUARIEIRO, TORRES, de ANDRADE, 2011).

Por outro lado, é preciso considerar a elevação de preço por conta da competição sofrida pelos produtos que podem ser utilizados, tanto para a produção de biodiesel quanto para alimentação humana e animal, como é o caso da soja, dendê e outros. Como atenuantes desta preocupação estão as possibilidades de crescimento das áreas produtoras, como o aproveitamento de áreas degradadas da floresta amazônica, exploração racional do semi-árido e a elevação da produtividade agrícola nacional (BRASIL, 2003).

Outro importante aspecto é o impacto econômico da utilização de biodiesel. Como mostrado na Figura 16, o Brasil ainda está com sua produção de biodiesel bem abaixo da capacidade instalada. Nesse sentido, ainda há significativo espaço para o crescimento da produção brasileira, o que causaria a melhora da balança comercial que apresentou, em 2010, um déficit acima de 8 milhões de metros

cúbicos de diesel o qual precisou ser importado para suprir a demanda do país (Figura 10) (ANP, 2011).

Entretanto, alguns estudos concluem que o uso de biodiesel, pode apresentar certas desvantagens como desgastes em peças e componentes dos motores (AMBROZIN et al., 2009). Martins e colaboradores (2011), em trabalho de caracterização de MP numa estação de ônibus, onde os ônibus circulantes eram abastecidos com mistura B3, na cidade de Londrina, Brasil, chegaram à conclusão que a adição de biodiesel no óleo diesel elevou as emissões de frações finas e ultrafinas de MP quando comparado às emissões de diesel, sendo que essas frações podem causar sérios problemas à saúde do homem.

Os custos de produção e, conseqüentemente, os valores de mercado para comercialização do biodiesel ainda se apresentam como impeditivo para a substituição do diesel, sendo necessária a intervenção governamental a partir de subsídios, para tornar seu uso competitivo (VAN GERPEN, 2005).

A capacidade que o biodiesel tem de se degradar devido às reações oxidativas também vem apresentando algumas dificuldades quanto à inserção deste combustível alternativo. As altas temperaturas encontradas no processo de obtenção, nos tanques de armazenagem, no tanque do veículo, dentre outros fatores, podem acelerar a degradação do biodiesel tornando-o escuro, mais viscoso e com odor desagradável (ARELLANO, 1993; FERREIRA et al., 2008; LIN e HUANG, 2011).

Alguns pontos sócio-ambientais do uso do biodiesel podem ser destacados: (i) derrubada de árvores para o plantio de oleaginosas, (ii) uso intensivo de agrotóxicos e contaminação de solo, aquíferos e ar atmosférico, (iii) aumento da captação de água para atender as lavouras e (iv) fome humana, devido a escassez de alimentos que foram usados para produção de combustível (GUARIEIRO, TORRES, DE ANDRADE, 2011).

2.4 Estado da Arte – pesquisas desenvolvidas em motores que utilizam diesel marítimo

A discussão em torno do tema biocombustíveis é um assunto comum no meio acadêmico. Os governos, da mesma forma, têm fomentado as pesquisas e, os empresários por sua vez, têm se aproximado dos centros tecnológicos em busca das últimas descobertas.

Em recente encontro promovido pelo Governo brasileiro, em Brasília (onde estavam presentes Anfavea, fabricantes de veículos e de motores a diesel, empresas produtoras de biodiesel, academia e órgãos de fomento à pesquisa) foi discutida a ampliação da taxa de biodiesel no diesel brasileiro.

Porém, o aumento do teor de biodiesel ainda levanta preocupações. /dentre os principais pontos de atenção estão o aumento do custo-Brasil haja vista o maior custo do biodiesel, a capacidade de o país produzir mais biodiesel versus preço pago nos últimos leilões de compra do biocombustível e problemas quanto ao uso de biodiesel em motores estacionários, haja vista a pequena validade das características do biocombustível.

Até o momento, o diesel marítimo é utilizado isento de biodiesel, e poucos são os estudos direcionados para este tema no Brasil. Porém, recentemente, a ANP iniciou discussões em torno da possibilidade de adicionar 5% de biodiesel no DM. Esse assunto foi abordado na audiência pública convocada pela própria Agência, ocorrida em setembro de 2011, no Rio de Janeiro. Conforme previsto, a ANP avaliará os comentários feitos no evento e somente depois concluirá o documento definitivo (BIODIESELBR, 2011).

Um dos principais pontos de interesse apontados nos poucos estudos encontrados na literatura que visem à utilização de biodiesel adicionado ao diesel marítimo está no fato de que este tipo de diesel é o maior responsável pelas emissões em zonas costeiras (GÖKALP et al., 2009; LIN e HUANG, 2011).

Segundo Roskilly et al. (2008), ao avaliarem o desempenho de motores

diesel marítimos de pequenas embarcações, abastecidos com misturas de diesel e biodiesel, observaram que a potência não sofreu variação significativa ficando em 1% de diferença dando vantagem ao diesel. Para o consumo de combustível, porém, o biodiesel apresentou valor mais elevado (até 18,3%, a depender do motor utilizado) do que o encontrado nos motores abastecidos apenas com diesel. Isto ocorre devido a maior quantidade de biodiesel necessário para gerar o trabalho equivalente àquele proporcionado pelo diesel.

Lin e Huang (2011) desenvolveram pesquisa sobre a viabilidade de utilização de biodiesel em barcos de pesca em Taiwan (principais responsáveis pela poluição atmosférica de zonas costeiras). Os trabalhos apontaram que a utilização de biodiesel não traz impacto no desempenho dos barcos. Há, porém, um aumento dos custos da ordem de 2,89 a 144,5 milhões de dólares, quando da adição de biodiesel entre 2 e 100%. Em compensação, pode trazer redução das emissões entre 8,88 a 421,94 toneladas de poluentes por ano. De outra forma, os autores concluíram que a adição de 20% de biodiesel causaria um aumento de custo do combustível de 25,85%, porém com a vantagem da redução das emissões.

Motores monocilíndricos alimentados com DM puro (com teor de enxofre da ordem de 0,22%) com misturas de 10, 20 e 50% de biodiesel de óleo de oliva e de girassol, não apresentaram diferenças significativas de emissões e consumo quando comparado o combustível puro com as misturas com biodiesel. Porém pôde-se notar um pequeno decréscimo das emissões e uma elevação do consumo quando utilizadas as misturas de biodiesel (KALLIGEROS et al., 2003).

Silva, Daemme e Penteado Neto (2011), em estudo comparativo das emissões de veículos leves movidos a diesel com teor de enxofre variado, encontraram aumento de HC e CO com o aumento do teor de enxofre do combustível e destacaram que os níveis de emissão de MP na queima do diesel com 1800 ppm de enxofre, quando comparado aos resultados encontrados com 10, 50 e 500 ppm de enxofre, são superiores.

Mediante o cenário apresentado anteriormente, faz-se necessário que

pesquisas com a utilização de biodiesel e DM sejam desenvolvidas no sentido de se obterem dados importantes para a viabilidade desta mistura combustível para ser utilizada em embarcações.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios experimentais realizados para dar suporte a este trabalho foram desenvolvidos mediante a utilização de equipamentos e insumos descritos a seguir:

3.1. Motores utilizados nos Ensaios

Na Figura 19 está a foto de um dos dois motores utilizados neste trabalho e adquiridos especificamente para realizar os testes do presente trabalho. Os motores foram. Os motores são de fabricação MWM-International (modelo 229-6 específico para finalidade marítima), são de ciclo diesel com ignição por compressão, quatro tempos, seis cilindros em linha, aspirado, com cabeçotes individuais, camisas úmidas removíveis, bomba de água bruta acionada por engrenagem, tomada de força no cubo da polia do virabrequim e carcaça de volante SAE 3 (Tabela 7).

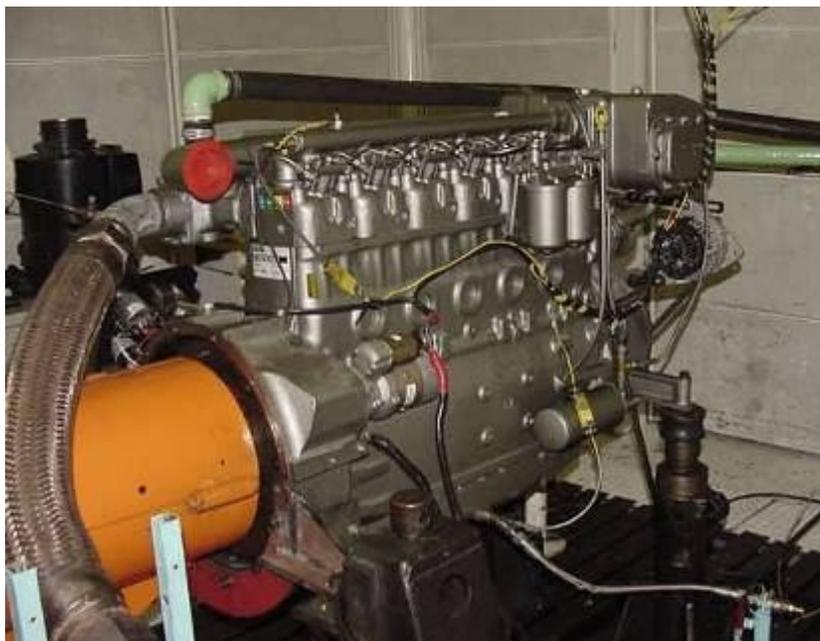


Figura 19. Motor C1N203569 montado em bancada dinâmométrica antes do ensaio com DM.

Os motores não sofreram qualquer alteração visando o uso de biodiesel total ou parcial adicionado ao DM.

Tabela 7 – Ficha técnica dos motores utilizados nos ensaios.

CARACTERÍSTICA	DESCRIÇÃO
Modelo	D229-6
Ciclo do motor	Diesel
Cabeçote	Individual
Disposição dos cilindros	6 cilindros verticais em linha
Válvulas por Cilindro	2
Tipo de cilindro	Camisa úmida removível
Capacidade (cilindrada)	5.883 cm ³
Diâmetro dos cilindros	102 mm
Curso do pistão	120 mm
Sistema de Combustão	Injeção direta
Sistema de injeção	Mecânico
Injetora	Bosch - Tipo A S1000
Aspiração	Natural
Rotação	2.500 rpm
Torque	40,9 Kgf.m (402 Nm) @ 1.400 rpm
Potência contínua	81 kW (110 cv)
Potência máxima bloqueada	88 kW (120 cv)
Peso Seco	600 Kg
Taxa de compressão	17:1

Fonte: Adaptado de MWM-INTERNATIONAL (2011).

3.2. Dinamômetro utilizado nos Ensaios

Para os ensaios experimentais, foi utilizado um dinamômetro de bancada

(código DN06, marca Positron Brown Boveri, modelo 8121) com potência nominal de 370 kW e rotação máxima de 5.000 rpm. Esse equipamento tem a função de restringir a rotação do motor e levantar informações de torque do motor. Por sua função de “segurar o motor”, os dinamômetros também são chamados de freio dinamométrico. As medições de rotação foram feitas a partir de um tacômetro e uma célula de carga mediu a força de deslocamento do braço de alavanca do dinamômetro. Esse valor multiplicado pela dimensão linear do braço dá o resultado de torque do motor. Os ensaios foram realizados no Instituto Mauá de Tecnologia, São Paulo.

3.3. Combustíveis Utilizados nos Ensaio

Nos ensaios foram utilizados DM brasileiro, biodiesel comercial (B100) sem a preocupação da matéria prima originária e as misturas deste combustível nas proporções 5, 10, 20, 40 e 60% adicionado no DM. Ambos os combustíveis foram adquiridos na Petrobrás, que emitiu Certificado de Ensaio do DM e Boletim de Conformidade do DM e do B100 (ANEXO I).

As misturas foram feitas em tambores, com capacidade de 200 litros, utilizando B100 e DM nas suas respectivas proporções e suficientes para rodar cada um dos ensaios de desempenho. O percentual de biodiesel em cada mistura foi detectado por infravermelho para verificar a qualidade da mistura. Os espectros estão disponíveis no ANEXO II.

3.4. Norma de Referência e Correções

Os ensaios de desempenho seguiram as exigências da Norma Brasileira NBR ISO 1585: 1996 - Veículos Rodoviários - Código de Ensaio de Motores - Potência Líquida Efetiva para Veículos de Passageiros ou de Carga, Excluindo-se Motonetas, Tratores e Motocicletas (ABNT, 1996). Essa norma é aplicada à

avaliação de desempenho de motores a plena carga em função da rotação do motor.

Todos os resultados de potência e torque apresentados nesse trabalho foram corrigidos segundo preconiza a Norma NBR ISO 1585: 1996 para condições atmosféricas padrão de referência: a temperatura ambiente (T_r de 298 K, 25°C); a pressão barométrica seca (p_r de 99 kPa) e a umidade relativa do ar (ϕ_r , de 30%).

3.5. Instalação dos motores nas bancadas dinamométricas.

Como todo processo de instalação de motores em dinamômetros, primeiramente foi realizado o alinhamento entre o volante do motor e a flange do dinamômetro, a fim de não gerar vibrações excessivas no eixo cardã de ligação entre o motor e o dinamômetro. Os motores foram fixados nos mesmos pontos de apoio originais por meio de coxins adaptados.

Durante os testes, foi utilizado o sistema de alimentação de combustível original e o sistema de armazenamento de combustíveis da sala de testes do laboratório. Este sistema é responsável por condicionar a temperatura do combustível e realizar a medição do consumo durante a realização dos ensaios.

A alimentação de ar do motor foi feita por um sistema de ventilação independente do ar da própria sala. Os gases de escape foram direcionados para a área externa da sala de testes por meio de um sistema de escapamento específico.

Considerando que se trata de um motor maritimizado com refrigeração a água, o controle de temperatura foi realizado com a passagem de água de refrigeração no trocador de calor do próprio motor. Este trocador realiza a troca entre a água de refrigeração da sala com o líquido de refrigeração do motor.

A fim de conseguir monitorar os parâmetros de controle do motor, foram instalados sensores de temperatura na saída da água do motor, na linha de óleo, na mangueira de admissão do ar do motor, no duto de escapamento do motor. Além disso, sensores de pressão foram instalados na linha de combustível, na galeria de óleo e no duto de escapamento.

3.6. Avaliação de desempenho de motores diesel utilizando DM e B5.

A avaliação do desempenho foi realizada utilizando dois motores (A e B) do ciclo diesel. O motor de número de série C1N203569 (motor A) foi abastecido com DM e o C1N203427 (motor B) foi abastecido com B5.

Antes dos ensaios de durabilidade, os motores passaram por um período de 30 horas de amaciamento. Essa condição não será discutida nesse trabalho, haja vista que serviu apenas para acomodação e verificação dos motores. Após o amaciamento, iniciou-se o ciclo de durabilidade de 300 horas (ANEXO III). Durante este período, foram feitas revisões de 50, 100, 200, e 300 horas, conforme estabelecido pelo fabricante.

No início dos ensaios com DM houve uma falha no estrangulador da bomba injetora, que estava parcialmente acionado fazendo com que o motor A, logo no início do teste, apresentasse baixo desempenho. Esse problema foi imediatamente resolvido e não afetou os resultados. De forma a manter as mesmas condições de testes, a mesma restrição foi replicada no ensaio do motor B. As condições e observações de cada um dos ensaios dos dois motores estão apresentadas no ANEXO IV.

Dentro dos ensaios de durabilidade foram feitas as curvas de desempenho a, aproximadamente, 30, 50, 100, 200, 300 e 330 h de decorrido o início dos trabalhos para serem levantadas as curvas de potência, torque e consumo. A partir destes dados foi obtida média geral das corridas e seus respectivos desvios padrão, para serem avaliados em cada um dos tempos acima mencionados. O

sistema de aquisição de dados levantou diretamente as curvas de torque, potência e consumo de combustível.

De posse dos percentuais dos desvios padrão em cada rotação, foi calculado uma média e essa foi apresentada em forma de barras de erros nos gráficos de desempenho.

A curva de torque foi levantada a partir das medidas captadas diretamente do sistema de aquisição com o motor à plena carga. Os valores de potência foram calculados pelo sistema de aquisição a partir da equação 1, uma vez que torque e rotação eram medidos constantemente.

$$P = T \times r / 9550 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

P = Potência (em kW)

T = torque lido em cada rotação (em Nm)

r = rotação no ponto de leitura do torque (em rpm)

1/9550 = fator de correção para unificação de unidades

O consumo de combustível foi medido utilizando balança gravimétrica integrada ao sistema de automação do dinamômetro, por meio de um sistema de coleta de dados, gerando os gráficos e relatórios de consumo de combustível dos motores, nos regimes de funcionamento estabelecidos anteriormente.

A escolha do percentual de 5% de biodiesel adicionado ao DM, para comparar com os dados de DM, foi promovida pelos resultados já observados em trabalhos acadêmicos onde não são verificados problemas nos motores e devido à prática imposta pelo governo brasileiro, que utiliza esta mistura para abastecer a frota de veículos rodoviários.

Desta forma, o objetivo desse ensaio foi avaliar os dados de desempenho do combustível B5 quando comparado àqueles obtidos com a utilização de DM.

3.7. Avaliação da tendência do desempenho de motores do ciclo diesel com acréscimo gradativo do percentual de biodiesel no DM.

A avaliação da tendência do desempenho de motores do ciclo diesel foi feita utilizando o motor B abastecido com as misturas combustíveis B5, B10, B20, B40, B60 e o biodiesel puro (B100). Assim, o motor B foi submetido a novos ensaios de desempenho a plena carga, para levantar curvas de potência, torque e consumo de combustível.

A metodologia utilizada na avaliação da tendência do desempenho seguiu àquela utilizada para o estudo do desempenho de DM e B5 do item anterior, porém, dessa vez, com acréscimo gradativo do percentual de biodiesel ao DM.

A substituição do combustível foi realizada para cada levantamento das curvas de potência, torque e consumo. A troca do combustível aconteceu a partir do esvaziamento de toda a linha de combustível (inclusive do filtro) e reacoplamento da linha, já seca, ao tanque com o combustível com maior concentração de biodiesel. Após a linha de combustível ser reconectada, o motor foi acionado objetivando a queima de qualquer resíduo da mistura do ensaio anterior e após alguns minutos foram levantados os novos parâmetros com a nova mistura combustível.

A intenção da realização destes ensaios foi para verificar se o aumento do percentual de biodiesel no DM acarretaria em variações significativas nos parâmetros de desempenho estabelecidos neste trabalho e se esse aumento seguiria uma tendência de desempenho para potência, torque e consumo de combustível.

3.8. Avaliação da viabilidade econômica da adição de 5% de biodiesel no diesel marítimo para ser utilizado em embarcações.

A avaliação da viabilidade econômica da adição de biodiesel no DM foi

realizada por meio do levantamento de informações sobre (i) o volume de DM comercializado no Brasil; (ii) o volume total de biodiesel que seria necessário para ser adicionado ao DM, numa possível aprovação da adição de 5% do volume demandado; (iii) os volumes de biodiesel e diesel não marítimo utilizados para compor a mistura compulsória B5, para uso não marítimo; e (iv) os custos de cada um desses combustíveis (na origem ou no consumidor, comercializado nas bombas de abastecimento para venda ao consumidor). Estes dados foram obtidos no anuário 2011 da ANP que traz as informações referentes ao ano de 2010 e levantamentos feitos pelo autor junto à marinas que comercializam DM.

De posse do valor do biodiesel puro na origem (comercializado no último leilão de 2010, promovido pela ANP) e do valor DM comercializado nas bombas de abastecimento, haveria três possibilidades para obter-se o custo da mistura B5 de DM e fazer a comparação e viabilidade do uso deste combustível em substituição ao DM puro. A primeira opção seria obter o valor do custo do DM na origem; a segunda linha seria encontrar o valor de biodiesel comercializado na bomba para o consumidor final e a terceira opção seria estimar estes valores e obter o custo aproximado do B5 de DM (Equação 2).

Como não há a comercialização de biodiesel puro ao consumidor final, tão pouco foi possível obter o custo de produção ou importação de DM, optou-se pela terceira possibilidade para verificar a viabilidade da utilização da mistura B5 de DM em substituição ao DM puro.

A partir da Equação 2, a seguir, foi calculado o custo do litro de B5 de DM:

$$V_f = V_d \times 95\% + V_b \times 5\% \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

V_f = Valor final da mistura de 5% de B100 e 95% de DM (em reais)

V_d = Valor do DM na origem (em reais)

V_b = Valor médio do biodiesel na origem (em reais)

Mediante o valor obtido na Equação 2 foi possível verificar o custo da adição de 5% de biodiesel ao DM e comparar este com o valor do DM puro, atualmente utilizado em embarcações.

Adicionalmente ao cálculo descrito anteriormente, mediante o valor da máxima potência obtida para DM puro foi verificada a rotação de mesma potência obtida para B5. Dessa forma, foi verificado o consumo de B5 nesta rotação e comparado ao consumo de DM puro na rotação de potência máxima. A partir destes dados, foi possível encontrar a taxa de vantagem da utilização da mistura de 5% de biodiesel e 95% de DM, a partir da Equação 3:

$$R = C_{B5} / C_{DM} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

R = Vantagem da utilização de B5 em comparação a DM (em percentual)

C_{B5} = Consumo de B5 na rotação de potência máxima de DM (em kg/h)

C_{DM} = Consumo de Diesel Marítimo na rotação de potência máxima (em kg/h)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Avaliação do desempenho de motores do ciclo diesel utilizando DM e B5.

Os motores A e B abastecidos respectivamente com Diesel Marítimo e com B5 passaram por 330 horas de durabilidade, sendo que as 30 primeiras horas foram em processo de amaciamento. Durante os ensaios foram medidos potência, torque e consumo de combustível. Os parâmetros de potência, torque e consumo de combustível do motor A, abastecido com DM, apresentou valores menores do que aqueles encontrados no motor B, abastecido com B5. Os resultados estão apresentados nas Figuras 20 a 22.

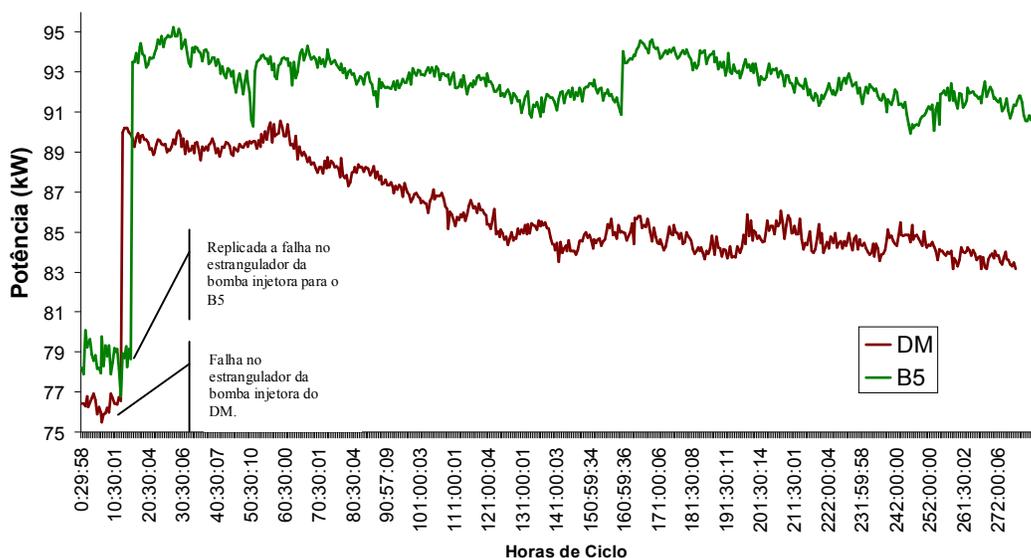


Figura 20. Durabilidade (potência versus horas de ciclo) dos motores A e B com DM e B5.

Conforme comentado anteriormente (item 3.6), pode-se perceber que a obstrução do combustível no início dos ensaios de durabilidade causou um significativo débito de consumo o que causou a defasagem de potência e torque sem, no entanto, comprometer os resultados do trabalho.

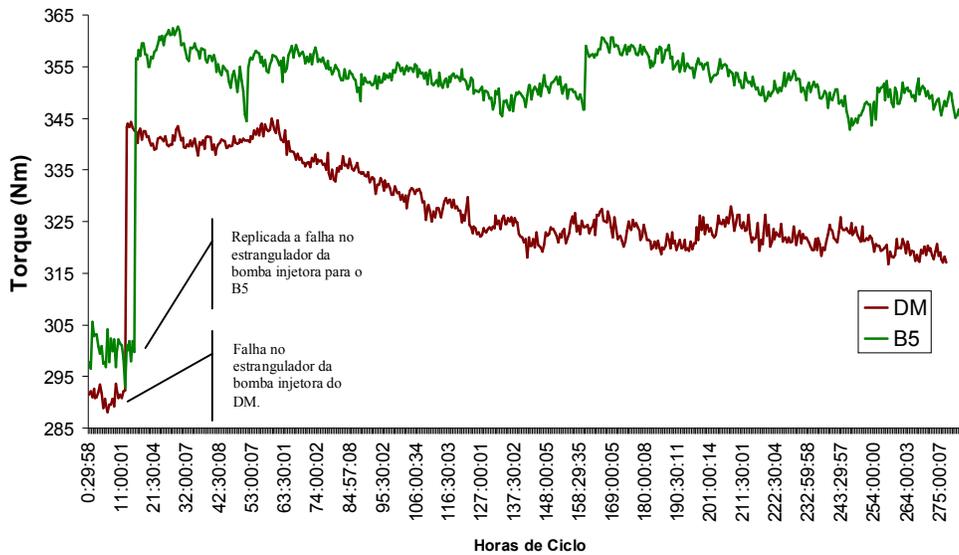


Figura 21. Durabilidade (torque versus horas de ciclo) dos motores A e B com DM e B5.

Diferentemente do que aconteceu com os resultados de potência e torque que apresentaram tendência de queda ao longo do tempo (Figuras 20 e 21), o consumo de combustível não apresentou decréscimo para ambos os combustíveis (Figura 22).

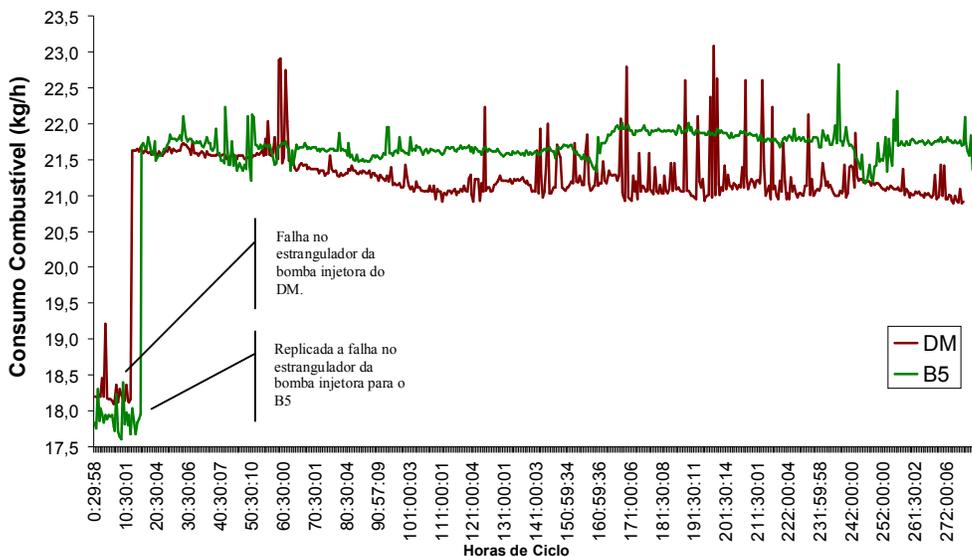


Figura 22. Durabilidade (consumo de combustível versus horas de ciclo) dos motores A e B com DM e B5.

Os resultados obtidos da média da avaliação do desempenho dos motores A (abastecidos com DM) e B (abastecido com B5) e com as médias dos percentuais dos desvios padrão estão apresentados nas Figuras 23, 24 e 25, para potência média, torque médio e consumo médio de combustível, respectivamente.

Na Figura 23, estão apresentadas as curvas das médias da potência nas rotações de cada motor e pode-se perceber que o aumento da rotação refletiu no aumento da média da potência, para ambos os combustíveis. Pode-se concluir por meio dos desvios padrão obtidos (para os erros – Figura 23) para este teste que não existe diferença significativa de valores até a rotação de 1800 rpm. A partir dessa rotação pode-se afirmar que a potência de B5 obtida foi maior que a obtida para DM, chegando ao valor de média de potência máxima, à 2500 rpm, de 93 kW para B5 e de 85 kW para o DM.

Todavia, estes dados divergem de Juliato (2006) e ROSKILLY et al., (2008) que não observaram diferença significativa dos resultados comparativos de potência de motores quando utilizados biodiesel e diesel puro.

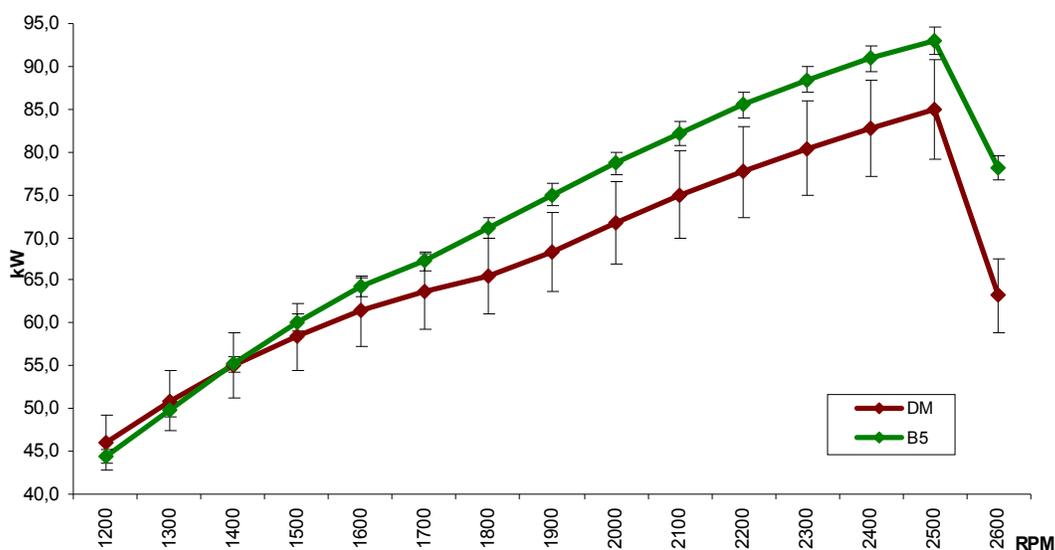


Figura 23. Média das potências versus rotação utilizando DM e B5.

A média de torque máximo de cada combustível não seguiu a

característica da média da potência máxima, no que se refere à similaridade da rotação para os combustíveis estudados. Foram obtidos médias de torques máximos de 374 Nm à 1400 rpm para o DM e 378 Nm à 1600 rpm para B5 (Figura 24). Estes valores de torque máximo podem ser considerados equivalentes, não tendo, portanto, diferenciação entre os resultados obtidos pelo uso de diferentes percentuais de biodiesel adicionado ao DM. Porém a partir de 1800 rpm as curvas se afastam e os valores obtidos em cada rotação, para os combustíveis, não mais coincidem dentro da faixa dos desvios padrão e os valores obtidos são estatisticamente diferentes.

Estes dados coincidem com Juliato (2006) que encontrou valores de Torque máximo sem diferenças significativas.

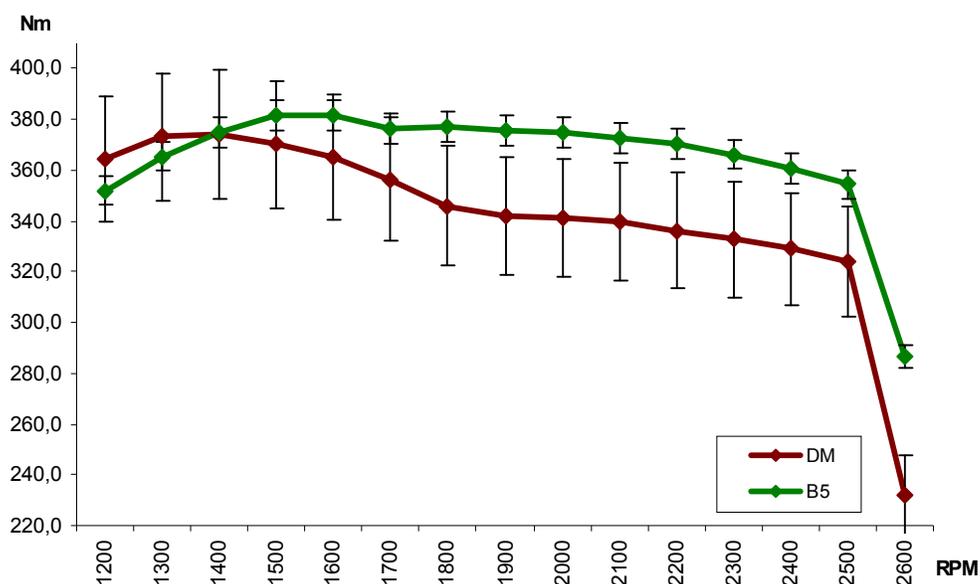


Figura 24. Média dos torques versus rotação utilizando DM e B5.

Os dados para média de potência máxima versus rotação (Figura 23), onde a mistura B5 apresentou resultados melhores do que aqueles encontrados no DM, provavelmente foram causados pela maior eficiência da combustão do B5, haja

vista o maior número de cetano do biodiesel em relação ao DM. Quanto maior o número de cetano de um combustível mais facilmente entrará em combustão num motor de ignição por compressão. O número de cetano médio do biodiesel é da ordem de 60, enquanto do diesel está entre 48 e 50 (PARENTE, 2003).

Outro motivo que fez com que o B5 apresentasse melhores resultados de potência em relação ao DM pode ser explicado a partir do entendimento do funcionamento de um motor diesel e pelas características físico-químicas do diesel e do biodiesel (e suas misturas).

Van Gerpen (2006), comenta que existem folgas no sistema de alimentação e injeção de um motor do ciclo diesel e a maior viscosidade do biodiesel e suas misturas com o diesel, em relação ao diesel puro, faz com que as perdas de combustível decorrentes de folgas do motor sejam menores para as misturas de diesel e biodiesel do que para o diesel puro. A redução da perda faz com que maior quantidade de combustível entre na câmara e por conseguinte haja uma melhor combustão.

Bomba injetora e injetores são construídos para injetar volumes pré-determinados de combustível. Porém, na combustão, o fator mais importante é a relação entre massa de ar e massa de combustível presente na câmara de combustão. Como o biodiesel apresenta maior densidade do que o diesel, a quantidade de biocombustível (em massa) que é injetada na câmara de combustão pode ser considerada maior, gerando maior potência e maior consumo em motores alimentados com biodiesel (MACHADO, 2008). Estes dados estão de acordo com os resultados obtidos por Lin e Huang (2003 e 2011), porém divergem de MacDonald et al. (1995) que obtiveram resultado de potência 9% inferior para biodiesel. O menor poder calorífico do biodiesel justifica a maior potência do diesel em detrimento ao biodiesel (LANG et al., 2001; MONYEM e VAN GERPEN, 2001; BUENO, 2007; CORONADO et al., 2009). Estas divergências podem ter causas diversas, como o tipo de combustível diesel e biodiesel utilizados, condições de testes, tipo de motor dentre outros.

Finalmente, um fator de relevância significativa, foi a utilização de dois

motores diferentes para ensaiar cada um dos combustíveis e, certamente, ainda que semelhantes, podem apresentar comportamentos divergentes haja vista sua robustez e maiores tolerâncias. Isso pode ser verificado pelos percentuais das médias dos desvios padrão dos motores, onde o motor A apresentou valores maiores do que aqueles encontrados no motor B da ordem de 300% para potência e para torque e 1400% para consumo de combustível.

Com a maior média da potência máxima associado ao menor poder calorífico do B5, seria esperado um maior consumo médio de combustível do B5. Porém, isto não se confirma nos resultados encontrados para consumo de combustível dos dois motores (Figura 25), que apesar de apresentarem valores médios de 21,8 e 20,8 kg/h para B5 e DM, respectivamente, não se pode afirmar que são resultados diferentes, haja vista a barra de erros dos desvios padrão principalmente do motor que utilizou DM.

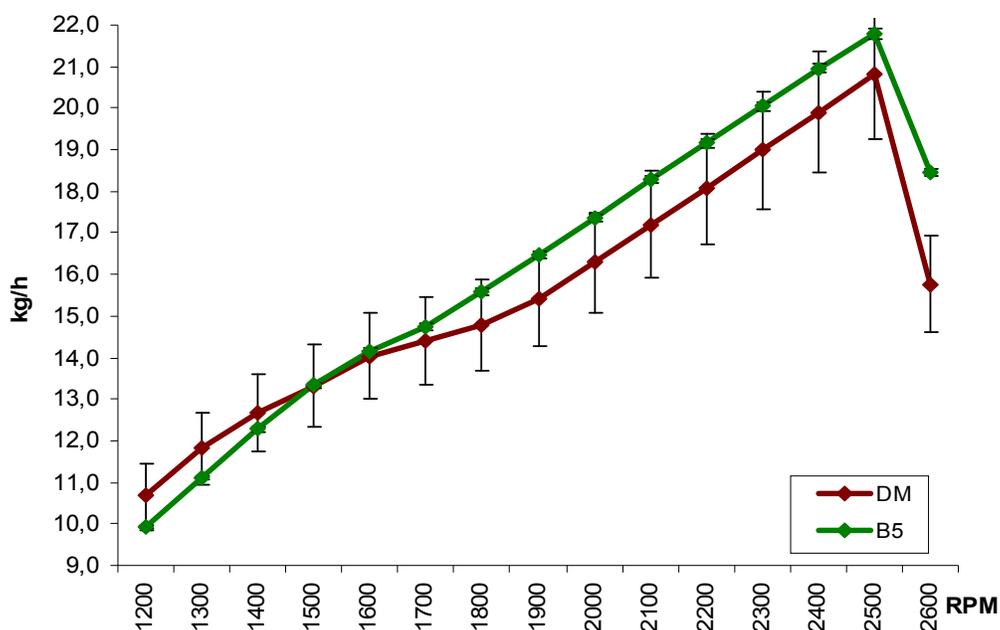


Figura 25. Média dos consumos versus rotação utilizando DM e B5.

Esses resultados diferem de pesquisas desenvolvidas para verificar o consumo de misturas de biodiesel em relação ao diesel, que apontam para um aumento de consumo da ordem de 13 a 15,1% quando se utiliza biodiesel (MACDONALD et al., 1995; MONYEM e VAN GERPEN, 2001; KALLIGEROS et al., 2003; YÜKSEK et al., 2009 e MASJUK e SOHIF, 1991). Contudo, ONG et al., (1985), Juliato (2006) e ROSKILLY et al. (2008) não identificaram diferenças significativas de consumo de combustível entre misturas de 2 a 20% de biodiesel adicionado ao diesel, o que corrobora com os valores obtidos no presente trabalho.

4.2. Avaliação da tendência do desempenho de motores do ciclo diesel com acréscimo gradativo do percentual de biodiesel no DM.

Os resultados obtidos na avaliação da tendência do desempenho do motor diesel marítimo “B” abastecido com diferentes misturas de biodiesel e DM (B5, B10, B20, B40 e B60) e biodiesel puro estão apresentados nas Figuras 26, 27 e 28 para potência, torque e consumo de combustível, respectivamente.

A partir da Figura 26 pode-se perceber que à medida que se aumenta a rotação, há um aumento gradativo de potência para todos os combustíveis estudados. Percebe-se também uma continuidade da tendência dos resultados de todas as misturas que se mantêm proporcional por toda rotação, a qual foi submetida o motor.

Os dados obtidos apontam para o fato de que o aumento do percentual de biodiesel no DM reduz os valores de potência. Porém, todos os valores podem ser considerados, estatisticamente iguais quando se trata das misturas com biodiesel (Tabela 8), haja vista que estão dentro de um erro de 5%.

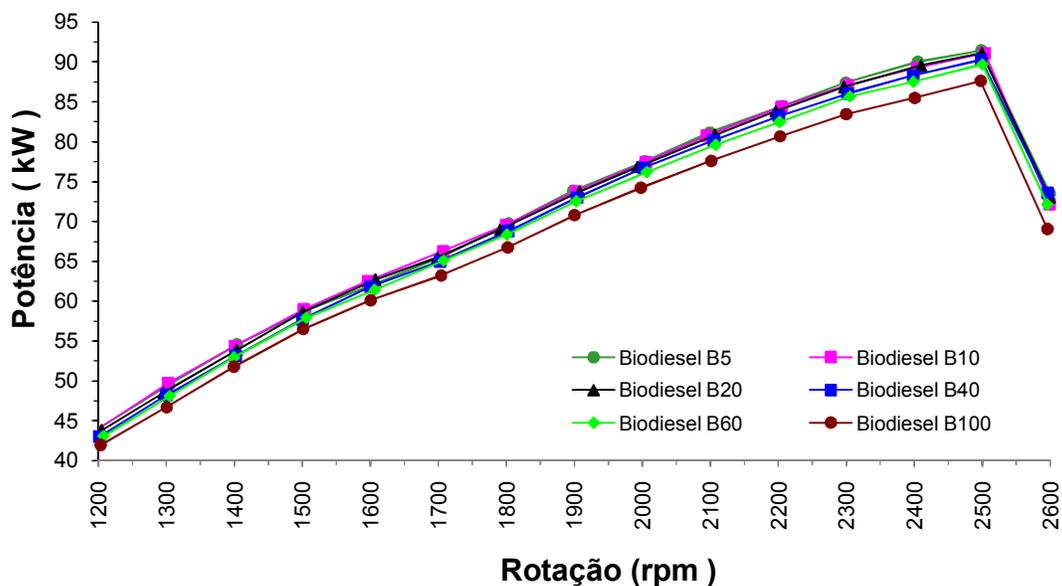


Figura 26. Potência versus Rotação das misturas de DM com biodiesel em proporções variadas.

Tabela 8: Valores de máxima potência dos combustíveis estudados.

Combustível	Potência (kW) a 2500 rpm		
	-5%	Medido	+5%
B100	83,2	87,6	92,0
B60	85,2	89,7	94,2
B40	85,7	90,2	94,7
B20	86,5	91,1	95,7
B10	86,5	91,1	95,7
B5	86,8	91,4	96,0

A Figura 27 apresenta os dados comparativos de torque versus rotação para os combustíveis estudados.

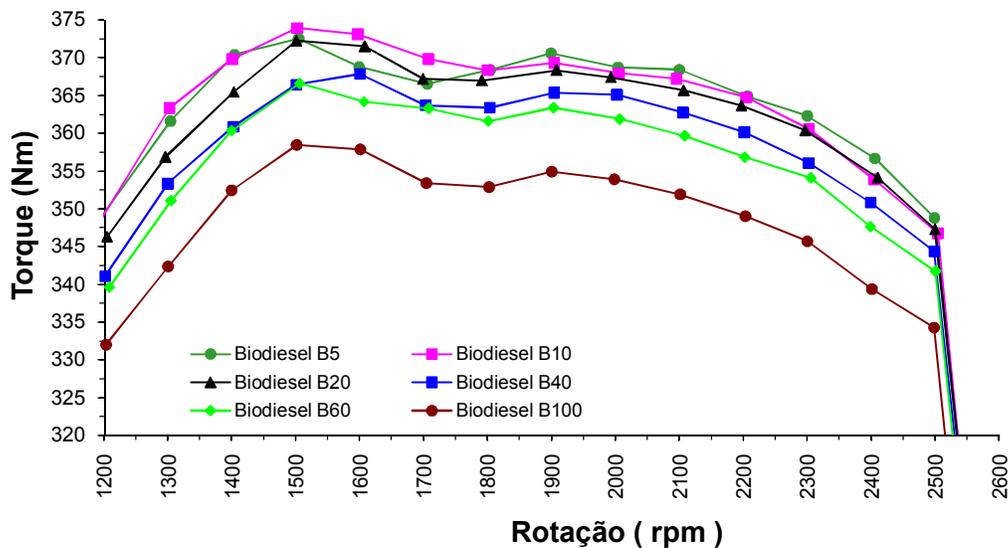


Figura 27. Torque versus Rotação das misturas de DM com biodiesel em proporções variadas.

Todos os resultados de torque máximo estão relacionados com a rotação em torno de 1500 rpm (Tabela 9). O maior valor de torque (373,9 Nm) foi obtido com B10 e o menor (358,4 Nm) foi obtido para B100. Assim, o combustível B100 apresentou o pior desempenho, seguido do B60, B40, B20, B5 e o melhor desempenho foi obtido quando utilizado o combustível B10. Contudo, todos os valores estão dentro de uma margem de 5% de erro e, por isso, podem ser considerados estatisticamente iguais entre si, ficando dentro do valor médio de $366,15 \pm 18,31$ Nm ($347,84 < x < 384,46$).

Tabela 9: Valores de máximo torque dos combustíveis utilizados.

Combustível	Torque (Nm) a 1500 rpm		
	-5%	Medido	+5%
B100	340,5	358,4	376,3
B60	348,3	366,6	384,9
B40	348,1	366,4	384,7
B20	353,6	372,2	390,8
B5	353,9	372,5	391,1
B10	355,2	373,9	392,6

A Figura 28 apresenta os resultados das curvas de consumo de combustível levantadas nos ensaios comparativos de tendência de desempenho. O pico do consumo aconteceu em torno de 2500 rpm para todos os combustíveis. O B100 foi o combustível que apresentou maior consumo e o B5 o mais eficiente, do ponto de vista da demanda de volume por hora de trabalho.

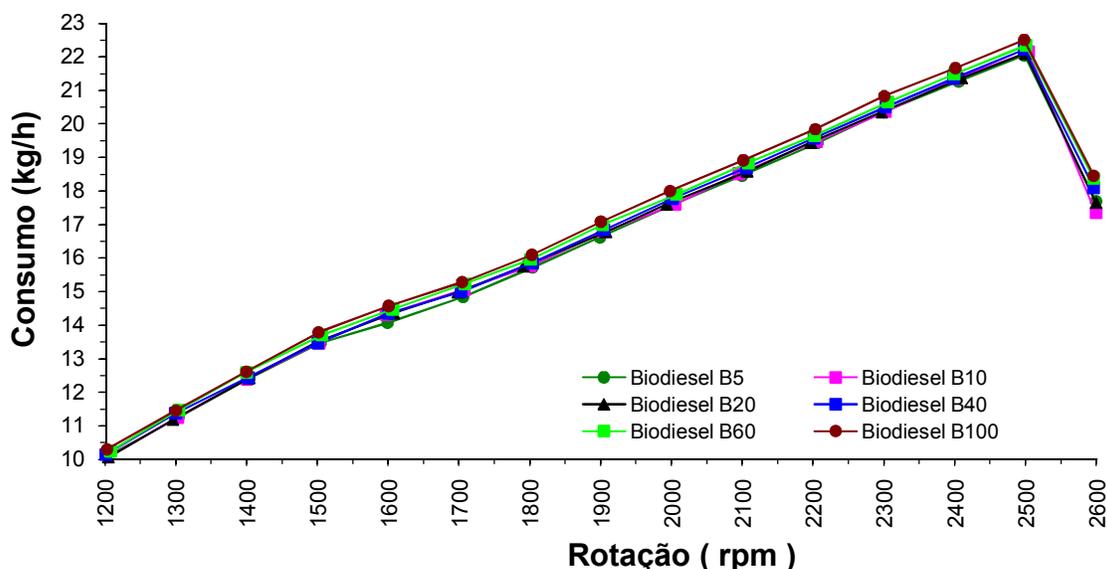


Figura 28. Consumo de combustível versus Rotação das misturas de DM com biodiesel em proporções variadas.

A Tabela 10 apresenta os valores de consumo de combustível. O B5 apresentou o menor consumo (22,04 Kg/h) e o B100 o maior (22,51 Kg/h). De forma que todos os valores apresentados foram considerados estatisticamente iguais e dentro da faixa de erro de $22,23 \pm 1,11$ Kg/h ($21,11 < x < 23,34$).

Esses resultados coincidem com dados encontrados por Kalligeros et al. (2003), que não encontrou diferença significativa de consumo quando utilizado B10, B20 e B50 de DM.

Tabela 10: Valores de máximo consumo dos combustíveis utilizados.

Combustível	Consumo (Kg/h) a 2500 rpm		
	-5%	Medido	+5%
B100	21,38	22,51	23,64
B60	21,22	22,34	23,46
B40	21,11	22,22	23,33
B20	21,00	22,10	23,21
B10	21,03	22,14	23,25
B5	20,94	22,04	23,14

Segundo Jóvaj (1977), em motores Diesel, a qualidade da formação da mistura ar/combustível, depende de vários fatores, sendo os mais importantes: (i) os parâmetros do equipamento de injeção (tempo da injeção do combustível, qualidade da pulverização, profundidade da penetração do jato na câmara de combustão e a forma do jato) e (ii) as propriedades do combustível. Como os motores utilizados não sofreram modificações, com vistas a receber os combustíveis utilizados neste trabalho, conforme mencionado anteriormente, resta a discussão da influência das propriedades do combustível para explicar os resultados encontrados usando biodiesel misturado ao DM em proporções crescentes.

À medida que se aumenta a densidade do combustível, o momento de injeção se adianta devido ao aumento da velocidade de deslocamento da onda de pressão, que abre o bico injetor. Também a profundidade da penetração do jato na câmara aumenta com o aumento do teor de biodiesel adicionado ao DM, ou seja, com o aumento da densidade do combustível. Com o aumento da penetração do jato, maior quantidade de combustível líquido atinge as paredes da câmara de combustão prejudicando os parâmetros termodinâmicos do processo de combustão. Como a vaporização do combustível, com mistura correta de ar que provoca uma queda na taxa de aumento da pressão (dp/dt), na fase da

combustão rápida, isso pode fazer, com que haja uma queda nos resultados de potência e torque.

4.3. Avaliação da viabilidade econômica da adição de 5% de biodiesel no diesel marítimo.

O estudo de viabilidade econômica foi baseado nos dados estatísticos obtidos no anuário ANP 2011 que traz informações de 2010. Assim, para este ano, no Brasil, foram adicionados 2,25 milhões de m³ de biodiesel à 45 milhões de m³ de diesel. Neste mesmo ano foram consumidos cerca de 500 mil m³ de DM (ANP, 2011).

Na tabela 11 estão apresentados os valores médios de diesel não marítimo de produtores e importadores, de acordo com sua região. As diferenças de valores estão relacionadas, principalmente, a custos logísticos, as tributações estaduais e a competitividade dos mercados (NAE, 2005).

Tabela 11: Preços médios ponderados de produtores e importadores de óleo diesel não marítimo, segundo Grandes Regiões em 2010.

Região	Valor Médio (R\$/litro)
Norte	1,343
Nordeste	1,305
Sudeste	1,359
Sul	1,372
Centro-Oeste	1,380
Média Brasil	1,352

Fonte: Adaptado de ANP, 2011.

Conforme a Figura 17, no último leilão de biodiesel feito pela ANP em 2010, o valor obtido pelo litro de biodiesel foi de R\$ 2,297 ou 70% maior do que o valor médio do diesel não marítimo pago na origem, que foi de R\$ 1,352 por litro (Tabela 11).

Com a equação 2 pode-se calcular o valor final do litro de DM adicionado de 5% de biodiesel:

$$V_f = V_d \times 95\% + V_b \times 5\% \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

V_f = Valor final da mistura de 5% de B100 e 95% de diesel (em reais).

V_d = Valor do diesel (em reais).

V_b = Valor médio do biodiesel (em reais).

A partir desse cálculo, chega-se a conclusão que o valor, na origem, para um litro da mistura B5 de diesel não marítimo é de R\$ 1,399.

A mistura B5 de diesel não marítimo é vendida, em média, ao consumidor final por R\$ 2,003 por litro (ANP, 2011). A partir dessas informações conclui-se que o mercado de combustíveis pratica uma majoração de preços, entre o custo de produção e o vendido ao consumidor, em torno de 43% (R\$ 2,003 / R\$ 1,399). Esse percentual se dá, principalmente, para cobrir tributos, custos logísticos, margens de lucro etc (NAE, 2005).

Sabendo-se que o custo do biodiesel é 70% maior do que o custo do diesel não marítimo (R\$ 2,297 / R\$ 1,352), conclui-se que os valores finais de biodiesel puro e de diesel não marítimo, que seriam comercializados nas bombas de postos de abastecimentos, seria de R\$ 3,288 e R\$ 1,936, respectivamente.

Conforme informações levantadas na Petrobrás Distribuidora e junto a postos de abastecimento de embarcações, a média do valor de DM puro que é vendido ao consumidor está em torno de R\$ 2,01 por litro. Levando-se em conta que a mesma majoração de preço, aplicada para o diesel não marítimo (43%), é

praticada para o DM, conclui-se que o custo do litro de DM no produtor deva ser em torno de R\$ 1,404 (R\$ 2,010 / 1,43).

Com os valores na origem de biodiesel (R\$ 2,297) (ANP, 2011) e do DM obtido pelos cálculos explicados anteriormente (R\$ 1,404) calcula-se a partir da Equação 2 o valor da mistura B5 de DM, no produtor, fique em R\$ 1,450 por litro (Tabela 12), ou seja, o custo da mistura B5 de DM seja 3,34% maior do que o valor do DM atualmente em uso no Brasil.

Tabela 12: Preços de combustíveis e suas bases.

Combustível	Base	R\$	Fonte
Biodiesel	Origem (Leilão ANP)	2,297	ANP, 2011
Diesel não marítimo	Origem (Importador/Produtor)	1,352	ANP, 2011
B5 não marítimo	Origem	1,399	Calculado
B5 não marítimo	Consumidor	2,003	ANP, 2011
Diesel não marítimo	Consumidor	1,936	Calculado
Biodiesel	Consumidor	3,288	Calculado
DM	Consumidor	2,010	Petrobrás Distribuidora
DM	Origem	1,406	Calculado
B5 marítimo	Origem	1,450	Calculado

A Tabela 13 apresenta os custos do litro desta e de outras misturas combustíveis que utilizam biodiesel e do próprio biodiesel puro.

Tabela 13: Valor do litro de misturas de biodiesel/DM.

Mistura	Custo da mistura (em reais/litro)	Aumento em relação do DM (em %)
B5	1,450	3,34
B10	1,495	12,68
B20	1,584	25,37
B40	1,762	38,05
B60	1,940	38,05
B100	2,297	63,42

Para Lin e Huang (2011) o uso de misturas B20 para uso em embarcações fez o valor do combustível subir em 25,85%, porém os autores ressaltaram o ganho ambiental, haja vistas os resultados de redução de emissões. Este dado corrobora com o valor obtido neste trabalho, que apresentou aumento de 25,37% no custo do B20 em relação ao DM (Tabela 13).

Em detrimento ao maior Consumo de combustível B5 quando comparado ao DM, aquele obteve desempenho superior. Neste caso é preciso verificar se há uma compensação vantajosa diante do maior consumo de combustível ser maior. A Tabela 14 traz um resumo dos índices alcançados para desempenho dos motores com DM e B5.

Tabela 14: Valores de desempenho dos combustíveis.

Parâmetro	DM	B5	B5 / DM
Potência (1)	85 kW à 2500 rpm	93 kW à 2500 rpm	+9,4 %
Torque (1)	374 Nm à 1403 rpm	378,1 Nm à 1602 rpm	+1,1 %
Consumo (2)	20,8 à 2500 rpm	21,8 à 2500 rpm	+4,8 %

Nota:

(1) Valores máximos

(2) Em rotação de potência máxima

Na Figura 29, feita a partir da Figura 23, a curva de B5, aponta o valor 2203 rpm como sendo a rotação quando a potência de B5 é de 85 kW (máxima potência do DM). Nessa rotação, o consumo de B5 (Figura 30) é de 19,2 kg/h. Comparando os resultados de consumo do B5 e do DM na mesma potência (85kW) podemos afirmar, a partir da Equação 3, que o B5 é 7,7% mais econômico do que o DM.

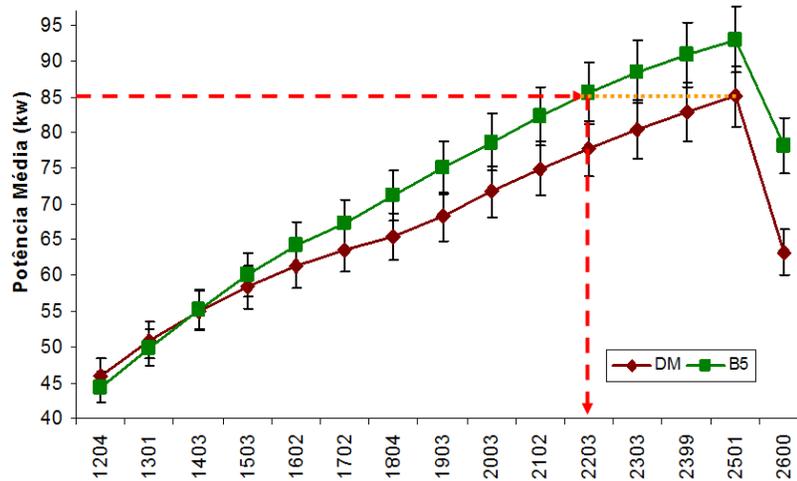


Figura 29. Desempenho (potência média versus rotação) dos motores utilizando DM e B5, indicando o valor de potência e rotação na curva B5, equivalente à rotação de potência máxima de DM.

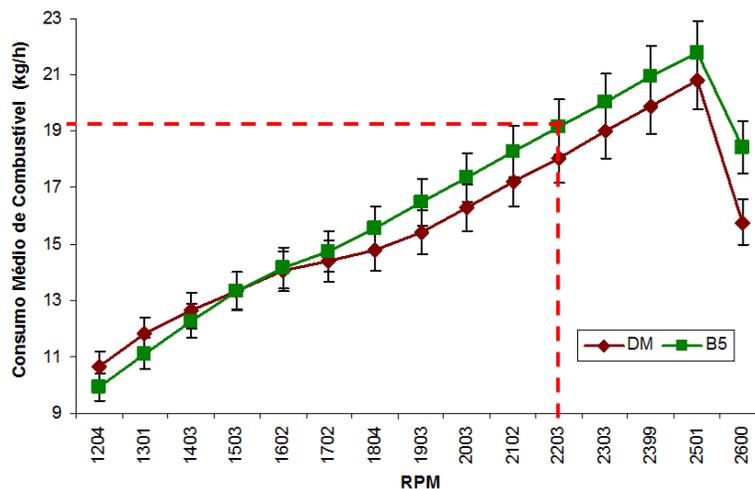


Figura 30. Consumo médio de motores do ciclo diesel utilizando DM e B5 com a indicação de consumo de B5 na rotação de potência máxima de DM.

Adicionalmente, na Tabela 15 está apresentada a demanda adicional de biodiesel para atender o uso de B5 de DM, calculada a partir da Equação 4., com volume inferior a 25 mil m³ de biodiesel, além daquele já produzido para atender a demanda compulsória de B5 destinado ao combustível não marítimo. Assim, seria necessário um aumento da produção de biodiesel em apenas 1,06% para atender a este incremento.

$$v_b = v_t / 5\% \quad \text{(Equação 4)}$$

Onde:

V_b = volume de biodiesel (em litros)

V_t = volume da demanda total (em litros)

Tabela 15: Volume Comercialização de combustíveis em 2010.

Tipo de combustível (no Brasil em 2010)	Volume (em milhares de m ³)
Diesel não Marítimo	45.000
Diesel Marítimo	500
Total de Diesel Comercializado	45.500
Biodiesel Adicionado ao Diesel não Marítimo (B5)	2.250
Biodiesel necessários para ser adicionado ao DM em 5%	23,81

Na Tabela 16 estão apresentados os volumes de biodiesel necessários para composição de misturas diversas de DM com biodiesel e o percentual calculado do aumento da produção atual de biodiesel, caso este fosse incorporado ao DM.

Tabela 16: Demanda de biodiesel para atender a demanda marítima.

Mistura	Volume de biodiesel (em milhares de m ³)	Aumento da produção atual (em %)
B10	50	2,22
B20	100	4,44
B40	200	8,89
B60	300	13,33
B100	500	22,22

4.4. Aspecto de Inovação da incorporação do Biodiesel ao DM

Atualmente, o Brasil proíbe a adição de biodiesel ao diesel utilizado em embarcações, o chamado diesel marítimo. A utilização de biodiesel na matriz energética dos países europeus, EUA e Brasil já é uma realidade e tem como principais intenções a redução dos efeitos das emissões dos combustíveis fósseis, a vulnerabilidade dos preços do petróleo no mercado internacional e os benefícios sócio-econômicos inerentes a introdução da agricultura familiar, elevando as classes menos privilegiadas a serem potenciais consumidores e assim movimentar o mercado global de forma retroativa.

No viés acadêmico, diversas pesquisas têm sido desenvolvidas para estudar a viabilização do biodiesel e/ou sua mistura ao diesel. Porém, provavelmente devido a pouca demanda de combustível para alimentação da frota marítima (apenas 1,1%), não se vê a preocupação dos cientistas quanto à viabilidade de uso de biodiesel como combustível para embarcações.

A partir desse trabalho, espera-se iniciar uma linha de trabalho acadêmicos com foco em discutir não só o desempenho dos motores, mas também outras questões que margeiam a utilização do biodiesel para toda a matriz energética dos modais de transporte no Brasil. Esse processo deve acontecer envolvendo os setores de agronegócios, academia e governo, cabendo ao Estado o fomento e coordenação dos processos de inovação no país (CASSIOLATO e LASTRES,

2005). Ainda segundo os autores, o desempenho interativo depende essencialmente da interação entre as partes.

Os estudos envolvendo biodiesel precisam ser incentivados de forma a comprovar seu potencial para deixar de ser um mero aditivo do diesel e aumentar sua participação no mercado mundial. Isto pode fazer com que sejam necessárias adequações nos motores para utilizarem um maior teor de biodiesel como aconteceu no desenvolvimento dos veículos *flex* no Brasil, uma invenção que se tornou de fato uma inovação.

O aumento do consumo de biodiesel provocaria uma pulverização das fontes produtoras a fim de atender toda a demanda mundial e os benefícios ambientais, econômicos e sociais passaria ser notados de forma mais clara.

No caso de haver liberação do uso de biodiesel ao DM é de se esperar o aumento da demanda por esse biocombustível. Assim, será preciso fomentar o crescimento de planos agrícolas para fixar o homem rural em suas propriedades ou em adesão a grupos maiores que viabilizem a implantação de projetos cooperativados entre produtores.

Com os resultados aqui apresentados, percebe-se que a adição de biodiesel ao diesel marítimo, em especial na concentração de 5% de biodiesel a 95% de DM, permite um aumento de desempenho. Desta forma, sua liberação legal seria um aspecto de inovação relevante e promissor, abrindo discussões sobre a utilização de biodiesel em novos tipos de equipamentos, fomento a pesquisas e o desenvolvimento tecnológico.

5. CONCLUSÕES

A pesquisa apresentou os resultados dos trabalhos experimentais dos ensaios de dois motores do ciclo diesel, sendo um deles abastecido com 5% de biodiesel comercial e outro com diesel marítimo. A adição de 5% de biodiesel ao DM mostrou-se benéfica do ponto de vista dos resultados de potência do motor que ficou 9,4% melhor do que aquela apresentada pelo DM. Tomando-se como base os valores centrais das medidas de consumo de combustível, este é penalizado com desvantagem de 4,8% para o B5. O torque do motor não apresentou resultados diferentes quando comparado os resultados encontrados nos motores com DM e B5.

O estudo apresentou os gráficos de desempenho do motor quando adicionado 5, 10, 20, 40 e 60% de biodiesel ao diesel marítimo e de biodiesel puro. Nesse sentido ficou comprovado que o aumento do percentual de biodiesel não prejudica o desempenho de potência, torque e consumo de combustível haja vista que os valores encontrados, apesar de apontarem para uma tendência de queda do desempenho à medida em que se aumenta o teor de biodiesel no DM, apresentam valores estatísticos semelhantes.

Com os melhores resultados de potência do B5, o seu uso é 7,7% mais viável do que o uso do DM.

Baseado em dados de 2010, a incorporação de biodiesel numa proporção de 5% no DM demandaria um aumento da produção atual do biocombustível em 1,11% o que é viável uma vez que há instalações ociosas para a produção de biodiesel no Brasil.

5.1. Contribuições

Esse trabalho contribui para o entendimento dos aspectos técnicos de desempenho (potência, torque e consumo de combustível) de motores do ciclo

diesel de uso em embarcações alimentados com misturas de biodiesel e diesel marítimo. Espera-se com isso dar início as discussões a respeito da introdução do biocombustível na matriz energética de embarcações.

O estudo gerou informações quanto ao uso de biodiesel em embarcações, possibilitando ao governo, por meio da ANP, a tomada de decisão para autorização de misturas de biodiesel para fins aquaviárias, como também importante dados para os fabricantes de motores para utilização de biodiesel em motores de embarcações.

5.2. Atividades Futuras de Pesquisa.

Para atividades futuras de continuidade do tema sugere-se o desenvolvimento de trabalhos com vistas a avaliar o impacto do biodiesel em peças do motor. Nesse sentido, comparar a corrosão de componentes eletroeletrônicos dos motores ciclo diesel abastecidos com DM e com misturas de Biodiesel é uma linha de trabalho que traria grandes resultados para o desenvolvimento de motores.

Outro tema que tem interessante apelo inovativo é estudar o desempenho de motores diesel com misturas de etanol + biodiesel + DM para levantamento dos parâmetros de desempenho como desenvolvido neste trabalho.

Os motores podem ser ajustados a fim de obter-se o melhor desempenho de acordo com as condições de trabalhos, a chamada calibração de motores. Nesse sentido, o estudo de uma calibração específica para uso de biodiesel é um tema de interesse não só da academia mas também das indústrias de desenvolvimento de veículos, especialmente de motores.

6. REFERÊNCIAS

AMBROZIN, Alessandra Regina Pepe; KURI, Sebastião Elias; MONTEIRO, Marcos Roberto. Corrosão metálica associada ao uso de combustíveis minerais e biocombustíveis. **Quim. Nova**, São Paulo, v. 32, n. 7, p. 1910-1916, 2009.

ANDRADE FILHO, Miguel; MASSA, Carlos Vinicius Costa; BENVENUTTI Leandro (org.). **Projeto B5**: teste de Biodiesel em Veículos Ford Ranger: relatório final. Salvador: Petrobrás, 2008.

ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2010.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Portaria ANP nº 80, de 30 de abril de 1999.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP nº 4, de 02 de fevereiro de 2010. 2010a.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Portaria nº. 52, de 29.12.2010. 2010b.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em <http://www.anp.gov.br/?pg=31286#Se__o_1>; Acesso em: 01 maio 2010. 2010c.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 1585**: Veículos rodoviários: código de ensaio de motores: potência líquida efetiva. Rio de Janeiro, Brasil, 1996, 26p.

ARELLANO, Daniel Barrera. Estabilidade em óleos e gorduras. **Óleos & Grãos**, São Bernardo do Campo, n. 13, p. 10-13, 1993.

BIODIESELBR. ANP discute uso experimental de biodiesel no óleo diesel marítimo. Rio de Janeiro, 19 set. 2011. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/noticias/em-foco/anp-discute-uso-experimental-biodiesel-oleo-diesel-maritimo-190911.htm>>. Acesso em: 25/10/2011.

BOSCH, Robert. **Manual de Tecnologia Automotiva**. 25. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. [1232 p.]

BP STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY 2010. London: Quoting do Review Publishers, 2010-. 50 p. Annual.

BRASIL. Relatório final do grupo de trabalho interministerial encarregado de apresentar estudos sobre a viabilidade de utilização de óleo vegetal: biodiesel como fonte alternativa de energia. Brasília: 2003. 15 p.

BRASIL. Resolução nº 6/2009. Estabelece a obrigatoriedade da adição de cinco por cento de biodiesel ao óleo diesel, a partir de 1º de janeiro de 2010. Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), DOU, dez. 2009.

BRASIL. Lei no 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. 2005

BUENO, André Valente. **Análise da operação de motores diesel com misturas parciais de biodiesel**, Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2006. 120 f. Dissertação.

BUENO, Luciano de Souza Ribeiro. **Estudo da influência do óleo vegetal sobre algumas propriedades do biodiesel**. Curitiba: Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Pontifícia Universidade Católica, 2007. 103 f. Dissertação.

BUHAUG, Oyvind, CORBETT, James J., ENDRESEN, Oyvind, EYRING, Veronika, FABER, Jasper, HANAYAMA, Shinichi, LEE, David S., LEE, Donchool, LINDSTAD, Hakon, MARKOWSKA, Agnieszka Z., MJELDE, Alvar, NELISSEN, Dagmar, NILSEN, Jorgen, PALSSON, Christopher, WINEBRAKE, James J., WU, Wanqing, YOSHIDA, Koichi. **Second IMO GHG Study 2009**, International Maritime Organization (IMO), Londres, Inglaterra, Abril 2009.

CAMPOS, Arnoldo; CARMELIO, Edna de Cássia. Biodiesel e agricultura familiar no Brasil: resultados socioeconômicos e expectativa futura. In.: FERREIRA, José Ricon (Coor.); CRISTO, Carlos Manuel Pedroso Neves (Coor.). **O futuro da Indústria: biodiesel: coletânea de artigos**. Brasília: MDIC-STI/IEL, 2006. 145 p. (Série Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior, 14).

CASSIOLATO, José Eduardo; LASTRES, Helena Maria Martins. Sistemas de Inovação e desenvolvimento: as implicações de política. **Em Perspectiva**, São Paulo, v. 19, n.1, p. 34-45, jan./mar., 2005.

CASTELLANELLI, Márcio. Desempenho de motor ciclo diesel em bancada dinâmométrica utilizando biodiesel etílico de soja. Cascavel: Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2006. 98 f. Dissertação.

CHALLEN, Bernard; BARANESCU, Rodica. **Diesel engine reference book**. 2. ed. [s.l]: Society of Automotive Engineers, 1999. 682 p.

CORBETT, J. J.; WANG, C.; WINEBRAKE, J. J.; GREEN, E. Allocation and forecasting of global ship emissions, **Clean air task force and friends of the earth International**: Boston, 2007.

CORONADO Christian Rodriguez; CARVALHO JUNIOR, João Andrade de; YOSHIOKA, Juliana Tiyoko; SILVEIRA, José Luz. Determination of ecological efficiency in internal combustion engines: the use of biodiesel. **Applied Thermal Engineering**, p. 1887-1892, 2009.

CORRÊA, Othon, Luiz Silva. **Petróleo**: noções sobre exploração, perfuração, produção e microbiologia. Rio de Janeiro. Interciência, 2003. 86p.

DNC. Departamento Nacional de Combustíveis. Portaria nº 032, de 04 de agosto de 1997.

EYRING, V., KÖHLER, H. W., LAUER, A., LAMPER, B. Emissions from international shipping: impact of future technologies on scenarios until 2050. **J. Geophys.**, 2005.

FERRARI, Roseli Aparecida; OLIVEIRA, Vanessa da Silva, SCABIO, Ardalla. Oxidative stability of biodiesel from soybean oil fatty acid ethyl esters. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 62, n. 3, p. 291-295, 2005.

FERREIRA, Sérgio. L., SANTOS, Antônio. M. dos, SOUZA, Gustavo. R. de, POLITO, Wagner L., MÓDOLO, Délson L., Análise por cromatografia gasosa de btex nas emissões de motor de combustão interna alimentado com diesel e mistura diesel-biodiesel (B10). *Quim. Nova*, Vol. 31, Nº. 3, p. 539-545, 2008.

GÖKALP, Burak; SOYHAN, Hakan S.; SARAÇ, Halil I, BOSTAN Dilek, SENGUN Yonca. Biodiesel addition to standard diesel fuels and marine fuels used in a diesel engine: effects on emission characteristics and firstand. **Energy and Fuel**, v, 23, n. 4, Publisher: American Chemical Society, p. 1849-1857. 2009.

GOMES, Helineia Oliveira; MASSA, Carlos Vinicius Costa; SILVA, Raissa Maria Cotta da. Óleo diesel com baixo enxofre e as emissões em motores com tecnologia conama P5. In.: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA, 19., 2011, São Paulo. São Paulo: SIMEA, 2011.

GUARIEIRO, Lílian Lefol Nani. **Metodologia analítica para quantificar o teor de biodiesel na mistura biodiesel**: diesel utilizando espectroscopia na região do

Infravermelho, 2006. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006. Dissertação.

GUARIEIRO, L. L. N.; PEREIRA, P. A. P.; TORRES, E. A.; ROCHA, G. O. da; ANDRADE, J. B. de. Carbonyl compounds emitted by a diesel engine fuelled with diesel and biodiesel–diesel blends: sampling optimization and emissions profile. **Atmospheric Environment**, v. 42, p. 8211-8218, 2008.

GUARIEIRO, Lílian Lefol Nani; SOUZA, Amanda Figueiredo de; TORRES, Ednildo Andrade; ANDRADE, Jailson B. de. Emission profile of 18 carbonyl compounds, CO, CO₂, and NO_x emitted by a diesel engine fuelled with diesel and ternary blends containing diesel, ethanol and biodiesel or vegetable oils. **Atmospheric Environment**, v. 43, p. 2754-2761, 2009.

GUARIEIRO, L. L. N.; TORRES, E. A.; ANDRADE, J. B. de. Energia Verde. **Revista Ciência Hoje**. v. 48. set. 2011.

HARVEY, Mark. PILGRIM, Sarah. The new competition for land: food, energy, and climate change, **Food Policy**: v. 36, jan. 2011, p. S40-S51. Supplement 1.

HOLANDA, Ariosto. **Biodiesel e Inclusão Social**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2004. (Caderno de Altos Estudos, n.1).

IBP. INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS. Disponível em http://200.189.96.211/siee/Relatorios_VolumeDeImportacaoEExportacao. Acesso em 12/06/2011.

INOVABRASIL. **Primeiro motor diesel**, 2011. Disponível em: <http://inovabrasil.blogspot.com/2010/02/motor-diesel-fo-patenteado-em-1893.html>. Acesso em: 12/06/2011.

JÓVAJ, M.S. Motores de automóvel. Editora MIR. Moscou, 1977.

JULIATO, Angelo. **Análise da influência de diferentes misturas de biodiesel no desempenho e emissões de poluentes de um motor diesel agrícola**. 2006. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

KALLIGEROS, S. et. al. An investigation of using biodiesel/ marine diesel blends on the performance of a stationary diesel engine. Elsevier Science, **Biomass and Bioenergy**. 2003.

KNOTHE, Gerhard; STEIDLEY, Kevin R. Lubricity of Components of Biodiesel and Petrodiesel: the Origin of Biodiesel Lubricity. **Energy & Fuels**. n. 19, p. 1192-1200, 2005.

KNOTHE, Gerhard, et. al. **Manual de Biodiesel**. São Paulo. Editora Edgard Blücher, 340 p. 2007.

LANG, X, DALAI, A.K, BAKHSHI, N.N, REANEY, M.J, HERTZ, P.B. Preparation and characterization of bio-diesels from various bio-oils. **Bioresource Technology**. Lincon, v. 80, p. 53-62, 2001.

LANGROCK, U; STEIN, R. Origin of marine petroleum source rocks from the Late Jurassic to Early Cretaceous Norwegian Greenland Seaway—evidence for stagnation and upwelling. **Marine and Petroleum Geology**. N. 21, pag. 157–176, 2004.

LIN, Chermg-Yuan, HUANG, J. C. An oxygenating additive improving the performance and emission characteristics of marine diesel engines. *Ocean Engineering*, v 30, p. 1699-1715, 2003.

LIN, Chermg-Yuan., HUANG, Tsan-Huang. Cost-benefit evaluation of using biodiesel as an alternative fuel for fishing boats in Taiwan. *Marine Policy*, p. 103-107, vol. 36, 2011.

MA, Fangrui; HANNA, Milford A. Biodiesel production: a review. **Bioresource Technology**, Barking, v. 70, p. 1-15, 1999.

MACHADO, Paulo Romeu Moreira. **Ésteres Combustíveis em Motor do ciclo diesel sob Condições de Pré-Aquecimento e Variação no Avanço de Injeção**. 2007. 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria RS, 2008.

MACDONALD JF, PURCELL, DL, MCCLURE, BT, KITTELSON, DB.. Emissions characteristics of soy methyl ester fuels in an IDI compression ignition engine. Society of Automotive Engineers Paper. No. 950400. **SAE**, Warrendale, PA, 1995.

MARTINS, Leila Droprinchinski; SILVA JÚNIOR, Carlos Roberto da; SOLCI, Maria Cristina; PINTO, Jurandir Pereira; SOUZA, Davi Zacarias; VASCONCELLOS, Pérola; GUARIEIRO, Aline Lefol Nani; GUARIEIRO, Lílian Lefol Nani; SOUSA, Eliane Teixeira; ANDRADE, Jailson B. de. Particle emission from heavy-duty engine fuelled with blends diesel and biodiesel. *Environ Monit Assess*, DOI. **Springer Science, Business Media**, 2011.

MASJUKI H, SOHIF M. Performance evaluation of palm oil diesel blends on small engine. *J Energy, Heat Mass Transfer* 1991;13:125–33.

MASIEIRO, Gilmar, LOPES, Heloisa. Etanol e biodiesel como recursos energéticos alternativos: perspectivas da América Latina e da Ásia. **Rev. Bras. Polít. Int.**, p. 60 – 79, 2008.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 8, de 31 de agosto de 1993.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/sitio>>. Acesso em: 18/06/2011.

MONYEM, Abdul, VAN GERPEN, Jon H. The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions. **Biomass and Bioenergy**. 20 p. 317–325, 2001.

MRE. Ministério das Relações Exteriores. Itamaraty. Disponível em: <<http://www.itamaraty.gov.br/temas/energia-e-biocombustiveis/recursos-renovaveis>> Acesso em: 09/05/2011.

MWM-INTERNATIONAL. Disponível em: <http://www.mwm.com.br/pages/produtos/popSubSeriesFicha.asp?idSubSerie=8>. Acessado em 21 set 2011.

NAE. NÚCLEO DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DA PRESIDENCIA DA REPÚBLICA DO BRASIL, Biocombustíveis – Processos Estratégicos de Longo Prazo. **Cadernos NAE**, n. 2, 2005.

NEIVA, Jucy. **Conheça o petróleo**. 6 ed. Rio de Janeiro. Expressão e Cultura. 175 p., 1993.

NREL. NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. Biodiesel Handling and Use Guide. 4. Ed. 2008.

OBREGON, Vara Rosa Maribel. **Hidrodinâmica do Escoamento bifásico óleo pesado – água em um tubo horizontal**. 2001. 140f. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo, 2001.

OLIVEIRA, Flavia C. C., SUAREZ, Paulo A. Z., SANTOS, Wildson L. P. dos. Biodiesel: Possibilidades e Desafios. *Química Nova na Escola*, n. 28, maio, 2008.

ONG, A.S.H; CHOO, Y.M.; HOTAM, A.H; HOCK, G.S. Palm oil as alternative renewable energy. Proceedings of the Third ASCOPE Conference, Kuala Lumpur, Malaysia. Dezembro, 1985.

PARENTE, Expedito José de Sá. **Biodiesel**: Uma aventura tecnológica num país engraçado. Fortaleza: {s.n.}, 2003.

PINTO, Angelo C.; GUARIEIRO, Lilian L. N.; REZENDE, Michelle J. C.; RIBEIRO, Núbia M.; TORRES, Ednildo A.; LOPES, Wilson A.; PEREIRA, Pedro A. de P.; ANDRADE, Jailson B. de. Biodiesel: An Overview. **J. Braz. Chem. Soc.**, v. 16, n. 6B, p. 1313-1330, 2005.

QUINTELLA C. M., MEIRA M., GUIMARÃES A. K., TANAJURA A. S., da SILVA H. R. G. Prospecção Tecnológica como uma Ferramenta Aplicada em Ciência e Tecnologia para se Chegar à Inovação. *Revista Virtual de Química* 2011; v. 3, p. 406–415.

RAMAPRABHU, R.; BHARDWAJ, Omprakash; ABRAHAM, Mathew. Comparative study of engine oil characteristics in utility vehicles powered by turbo-charged with bio diesel blend and diesel fuel, **SAE**, Índia, 2008.

RESNAUER, Luis Carlos; SPECHT, Stefan. **Efeito dos produtos de oxidação do biodiesel sobre a tubulação de transporte de combustíveis**. Disponível em:

<http://74.125.155.132/scholar?q=cache:MUI1kU6YigcJ:scholar.google.com/+Resnauer&hl=pt-BR&as_sdt=2000>. Acesso em: 10 maio 2010.

ROSKILLY, A. P.; NANDA, S. K.; WANG, Y. D.; CHIRKOWSKI, J. The performance and the gaseous emissions of two small marine craft diesel engines fuelled with biodiesel. **Applied Thermal Engineering**, 28 (2008) p. 872–880.

SILVA, Katia Cristine da Costa; DAEMME, Luiz Carlos; PENTEADO NETO, Renato. Estudo comparativo de emissões em veículo automotor leve do ciclo diesel, abastecido com combustíveis contendo diferentes teores de enxofre. . In.: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA, 19., 2011, São Paulo. São Paulo: SIMEA, 2011.

SRIVASTAVA, A.; PRASAD, R. **Renewable and sustainable reviews 2000**, 4, ed. Elsevier: [s.n.]. p. 111-133. 2000,

STONE, Richard. **Introduction to internal combust engines**. 3. ed. Society of Automotive Engineers, Inc., 641 p. 1999.

SULEK, M.W., KULCZYCKI, A., MALYSA, A. Assessment of lubricity of compositions of fuel oil with biocomponents derived from rape-seed, **Elsevier**, n. 268, p. 104-108, 2010.

TOLMASQUIM, M.T. **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência. 2003.

VAN GERPEN, Jon. Biodiesel processing and production, **Fuel Processing Technology**, n. 86, p. 1097-1107, 2005.

VAN GERPEN, Jon. Conceitos básicos sobre motores diesel e seus combustíveis. In: KNOTHE, G. (Org.); VAN GERPEN, J.; KRAHL, J. **Manual de biodiesel**. Tradução: Luiz Pereira Ramos. São Paulo: Editora Blücher, 2006. p. 19-28.

VENTURA, Luso Martorano. Ações para atendimento aos novos limites do Proconve: Fase 7: as tecnologias necessárias. In.: SEMINÁRIO SOBRE EMISSÕES DE VEÍCULOS, 2009.

WANG, W. G.; LYONS, D. W.; CLARK, N. N.; GAUTAN, M.; NORTON, P. M. Emissions from nine heavy trucks fueled by diesel and biodiesel blend without engine modifications. **Environ Sci. Technol.**, v.34, p.933–939, 2000.

WIKIPÉDIA. **Rudolf Diesel**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Rudolf_Diesel>. Acesso em: 12/06/2011.

YÜKSEK, Levent; KALELI, Hakan; ÖZENER, Orkun; ÖZOĞUZ, Berk. The effect and comparison of biodiesel-diesel fuel on crankcase oil diesel engine performance and emissions. **FME Transactions**, n. 37, p. 91-97, 2009.

ANEXOS

ANEXO I

Certificados de Ensaio do Diesel Marítimo e Boletim de Conformidade do Biodiesel Puro (B100) e Diesel Marítimo (DM)

CERTIFICADO DE ENSAIO

Produto: O.DIESEL MARITIMO

Código: 650

Local de Amostragem: TQ 210121C
Data/ hora Amostragem: 04/08/09 17:30
Data/ hora Recebimento: 04/08/09 18:30

Laboratório: RPBC/OT/DP
Endereço: Pça:Stênio Caio de A.Lima nº1
Cubatão-S.P.
Telefone:SAC-0800-789001 Fax: (0XX13) 3362-4221

Característica	Método	Especificação	Resultado	Unidade
ASPECTO	VIS 000	PASS (1)	PASS	N/A
COR ASTM	D 1500	3,0 max	2,0	N/A
CINZAS	D 482	0,010 max	<0,0010	% massa
INDICE DE CETANO CALCULADO	D 4737	40,0 min	49,2	N/A
RÇR NOS 10% FINAIS DA DESTILACAO	D 524	0,25 max	0,18	% massa
ENXOFRE TOTAL	D 4294	0,50 max	0,231	% massa
AGUA E SEDIMENTOS	D 1796	0,05 max	0,000	% volume
PONTO DE ENTUPIMENTO	D 6371	3 max	4	grau C
VISCOSIDADE CINEMATICA A 40 GC	D 445	1,500 a 6,000	3,850	cSt
PONTO DE FLUIDEZ	D 97	0 max	-3	grau C
MASSA ESPECIFICA A 20 GC	D 4052	880,0 max	851,9	kg/m3
PONTO DE FULGOR	D 93	60,0 min	73,0	grau C

Notas:

- Todos os limites especificados sao valores absolutos de acordo com a norma ASTM E 29.
- Atende a Resolucao ANP nº 49 de 28 de dezembro; Regulamento tecnico ANP nº 11/2007.
- (1) PASS (PASSA) = Limpido e isento de impurezas.
- - Produto liberado pela programação.
- Destino Rio de Janeiro, Pto de Entupimento máx.8°C, conforme Memorando do dia 05/08/2009.

Data de Emissão: 05/08/2009 10:24:26

Página: 1 de 1

Os resultados deste Certificado de Ensaio referem-se à amostra acima especificada.
Este certificado só pode ser reproduzido integralmente com a autorização do responsável pelo seu conteúdo.

Original Assinado Por:

Responsável:
Sônia Maria A. C. Lobo
CRQ: 04 415 520

CERTIFICADO DE ENSAIO

Produto: O.DIESEL MARITIMO

Código: 650

Local de Amostragem: TQ 210121A
Data/ hora Amostragem: 09/08/09 03:20
Data/ hora Recebimento: 09/08/09 04:30

Laboratório: RPBC/OT/DP
Endereço: Pça:Stênio Caio de A.Lima nº1
Cubatão-S.P.
Telefone:SAC-0800-789001 Fax: (0XX13) 3362-4221

Característica	Método	Especificação	Resultado	Unidade
ASPECTO	VIS 000	PASS (1)	PASS	N/A
COR ASTM	D 1500	3,0 max	L1,5	N/A
CINZAS	D 482	0,010 max	0,003	% massa
INDICE DE CETANO CALCULADO	D 4737	40,0 min	46,1	N/A
ROR NOS 10% FINAIS DA DESTILACAO	D 524	0,25 max	0,18	% massa
ENXOFRE TOTAL	D 4294	0,50 max	0,3211	% massa
AGUA E SEDIMENTOS	D 1796	0,05 max	0,000	% volume
PONTO DE ENTUPIMENTO	D 6371	3 max	2	grau C
VISCOSIDADE CINEMATICA A 40 GC	D 445	1,500 a 6,000	4,511	cSt
PONTO DE FLUIDEZ	D 97	0 max	-6	grau C
MASSA ESPECIFICA A 20 GC	D 4052	880,0 max	862,4	kg/m3
PONTO DE FULGOR	D 93	60,0 min	71,0	grau C

Notas:

- Todos os limites especificados sao valores absolutos de acordo com a norma ASTM E 29.
- Atende a Resolucao ANP nº 49 de 28 de dezembro; Regulamento tecnico ANP nº 11/2007.
- (1) PASS (PASSA) = Limpido e isento de impurezas.

Data de Emissão: 09/08/2009 10:32:15

Página: 1 de 1

Os resultados deste Certificado de Ensaio referem-se à amostra acima especificada.
Este certificado só pode ser reproduzido integralmente com a autorização do responsável pelo seu conteúdo.

Original Assinado Por:

Responsável:
Sônia Maria A. C. Lobo
CRQ: 04 415 520

CERTIFICADO DE ENSAIO

Produto: O.DIESEL MARITIMO

Código: 650

Local de Amostragem: TQ 210121A
Data/ hora Amostragem: 09/08/09 03:20
Data/ hora Recebimento: 09/08/09 04:30

Laboratório: RPBC/OT/DP
Endereço: Pça:Stênio Caio de A.Lima nº1
Cubatão-S.P.
Telefone:SAC-0800-789001 Fax: (0XX13) 3362-4221

Característica	Método	Especificação	Resultado	Unidade
ASPECTO	VIS 000	PASS (1)	PASS	N/A
COR ASTM	D 1500	3,0 max	L1,5	N/A
CINZAS	D 482	0,010 max	0,003	% massa
INDICE DE CETANO CALCULADO	D 4737	40,0 min	46,1	N/A
ROR NOS 10% FINAIS DA DESTILACAO	D 524	0,25 max	0,18	% massa
ENXOFRE TOTAL	D 4294	0,50 max	0,3211	% massa
AGUA E SEDIMENTOS	D 1796	0,05 max	0,000	% volume
PONTO DE ENTUPIMENTO	D 6371	3 max	2	grau C
VISCOSIDADE CINEMATICA A 40 GC	D 445	1,500 a 6,000	4,511	cSt
PONTO DE FLUIDEZ	D 97	0 max	-6	grau C
MASSA ESPECIFICA A 20 GC	D 4052	880,0 max	862,4	kg/m3
PONTO DE FULGOR	D 93	60,0 min	71,0	grau C

Notas:

- Todos os limites especificados sao valores absolutos de acordo com a norma ASTM E 29.
- Atende a Resolucao ANP nº 49 de 28 de dezembro; Regulamento tecnico ANP nº 11/2007.
- (1) PASS (PASSA) = Limpido e isento de impurezas.

Data de Emissão: 09/08/2009 10:32:15

Página: 1 de 1

Os resultados deste Certificado de Ensaio referem-se à amostra acima especificada.
Este certificado só pode ser reproduzido integralmente com a autorização do responsável pelo seu conteúdo.

Original Assinado Por:

Responsável:
Sônia Maria A. C. Lobo
CRQ: 04 415 520

CÓPIA DO LAUDO DO BIODIESEL



PETROBRAS
DISTRIBUIDORA S.A.

BOLETIM DE CONFORMIDADE

Centro: 5059 - TESP A Terminal de São Paulo Doc.Ref.: 111437766

1 - Parâmetros do Caminhão

Cód.produto: 01.008.166	Nome produto: BIODIESEL B100 (MATERIA PRIMA) - LI				
Informação sobre a amostra: Nº Lote controle 050000497849	Cliente INSTITUTO MAUA DE TECNOLOGIA - IMT				
Característica	Unidade	Especificação Lim. Inf.	Lim. Sup	Resultado	Método
Aspecto visual	-	-	360	Corresponde 346	VISUAL NBR 9619
Destilação 85%	°C	245	310	265	NBR 9619
Destilação: 50%	kg/m3	820,0	900,0	879,0	NBR7148
Massa Específica a 20/4°C	°C	100	-	110	D 93
Ponto de Fulgor PM					

DECISÃO DE UTILIZAÇÃO: APROVADO

OBS: Recertificação tq 1450

Data de emissão: 13.08.2009

1) Os resultados deste boletim referem-se somente à amostra acima identificada.

2) Este documento só pode ser reproduzido integralmente e com autorização da PETROBRAS Distribuidora.

3) Está arquivado na base expedidora o boletim original, assinado pelo responsável pelas análises efetuadas, com indicação de seu nome e número de inscrição no órgão de classe.

4) A responsabilidade do profissional indicado não abrange os parâmetros de carregamento.

Responsável Técnico:
Maurina Alves Brandão
CRQ 04453223

Pág.: / 1



PETROBRAS
DISTRIBUIDORA S.A.

BOLETIM DE CONFORMIDADE

Centro: 5059 - TESP A Terminal de São Paulo Doc.Ref.: 111437766

1 - Parâmetros do Caminhão

Cód.produto: 01.008.166	Nome produto: BIODIESEL B100 (MATERIA PRIMA) - LI				
Informação sobre a amostra: Nº Lote controle 050000497849	Cliente INSTITUTO MAUA DE TECNOLOGIA - IMT				
Característica	Unidade	Especificação Lim. Inf.	Lim. Sup	Resultado	Método
Aspecto visual	-	-	360	Corresponde 346	VISUAL NBR 9619
Destilação 85%	°C	245	310	265	NBR 9619
Destilação: 50%	kg/m3	820,0	900,0	879,0	NBR7148
Massa Específica a 20/4°C	°C	100	-	110	D 93
Ponto de Fulgor PM					

DECISÃO DE UTILIZAÇÃO: APROVADO

APROVADO

13/08/09

OBS: Recertificação tq 1450

Data de emissão: 13.08.2009

1) Os resultados deste boletim referem-se somente à amostra acima identificada.

2) Este documento só pode ser reproduzido integralmente e com autorização da PETROBRAS Distribuidora.

3) Está arquivado na base expedidora o boletim original, assinado pelo responsável pelas análises efetuadas, com indicação de seu nome e número de inscrição no órgão de classe.

4) A responsabilidade do profissional indicado não abrange os parâmetros de carregamento.

Responsável Técnico:
Maurina Alves Brandão
CRQ 04453223

Pág.: / 1

CÓPIA DO LAUDO DO DIESEL MARÍTIMO - CARREGAMENTO 1



BOLETIM DE CONFORMIDADE

Centro: 5101 - TECUB Terminal de Cubatão

Doc.Ref.: 111413400

I - Parâmetros do Caminhão

Cód.produto: 01.000.109	Nome produto: OLEO DIESEL MARITIMO - LI				
Informação sobre a amostra: Nº Lote controle 050000496808	Cliente INSTITUTO MAUA DE TECNOLOGIA - IMT				
Característica	Unidade	Especificação Lim.Inf. Lim.Sup		Resultado	Método
Aspecto visual	-	-	-	Corresponde	VISUAL
Cor ASTM	-	-	-	2	VISUAL
Destilação 85%	°C	-	370	352	D 86
Destilação: 50%	°C	245	310	289	D 86
Massa Específica a 20/4°C	kg/m ³	820,0	880,0	860,6	ASTM D4052
Ponto de Fulgor PM	°C	-	-	70	D 93

DECISÃO DE UTILIZAÇÃO: APROVADO

OBS: CE 144209 de 11/08/09 viscosidade=4,511

Data de emissão: 12.08.2009

Responsável Técnico:

- 1) Os resultados deste boletim referem-se somente à amostra acima identificada.
- 2) Este documento só pode ser reproduzido integralmente e com autorização da PETROBRAS Distribuidora.
- 3) Está arquivado na base expedidora o boletim original, assinado pelo responsável pelas análises efetuadas, com indicação de seu nome e número de inscrição no órgão de classe.
- 4) A responsabilidade do profissional indicado não abrange os parâmetros de carregamento.

Antonio Carlos Gomes dos Santos
CRQ nº 04303639 IV Região

Pág.: / 1



BOLETIM DE CONFORMIDADE

Centro: 5101 - TECUB Terminal de Cubatão

Doc.Ref.: 111413400

I - Parâmetros do Caminhão

Cód.produto: 01.000.109	Nome produto: OLEO DIESEL MARITIMO - LI				
Informação sobre a amostra: Nº Lote controle 050000496808	Cliente INSTITUTO MAUA DE TECNOLOGIA - IMT				
Característica	Unidade	Especificação Lim.Inf. Lim.Sup		Resultado	Método
Aspecto visual	-	-	-	Corresponde	VISUAL
Cor ASTM	-	-	-	2	VISUAL
Destilação 85%	°C	-	370	352	D 86
Destilação: 50%	°C	245	310	289	D 86
Massa Específica a 20/4°C	kg/m ³	820,0	880,0	860,6	ASTM D4052
Ponto de Fulgor PM	°C	-	-	70	D 93

DECISÃO DE UTILIZAÇÃO: APROVADO

OBS: CE 144209 de 11/08/09 viscosidade=4,511

APROVADO
12/08/09

Data de emissão: 12.08.2009

Responsável Técnico:

- 1) Os resultados deste boletim referem-se somente à amostra acima identificada.
- 2) Este documento só pode ser reproduzido integralmente e com autorização da PETROBRAS Distribuidora.
- 3) Está arquivado na base expedidora o boletim original, assinado pelo responsável pelas análises efetuadas, com indicação de seu nome e número de inscrição no órgão de classe.
- 4) A responsabilidade do profissional indicado não abrange os parâmetros de carregamento.

Antonio Carlos Gomes dos Santos
CRQ nº 04303639 IV Região

Pág.: / 1

CÓPIA DO LAUDO DO DIESEL MARÍTIMO - CARREGAMENTO 2



BOLETIM DE CONFORMIDADE

Centro: 5101 - TECUB Terminal de Cubatão

Doc.Ref.: 111755910

I - Parâmetros do Caminhão

Cód.produto: 01.000.109		Nome produto: OLEO DIESEL MARITIMO - LI			
Informação sobre a amostra: Nº Lote controle 050000504297		Cliente INSTITUTO MAUA DE TECNOLOGIA - IMT			
Característica	Unidade	Especificação Lim.Inf.	Lim.Sup	Resultado	Método
Aspecto visual	-	-	-	Corresponde	VISUAL
Cor ASTM	-	-	-	0.5	VISUAL
Destilação 85%	°C	-	370	352	D 86
Destilação 50%	°C	245	310	287	D 86
Massa Específica a 20/4°C	kg/m ³	820,0	880,0	865,1	ASTM D4052
Ponto de Fulgor PM	°C	-	-	77	D 93

DECISÃO DE UTILIZAÇÃO: APROVADO

OBS: CE TECUB 162009

Data de emissão: 09.09.2009

Responsável Técnico:

- 1) Os resultados deste boletim referem-se somente à amostra acima identificada.
- 2) Este documento só pode ser reproduzido integralmente e com autorização da PETROBRAS Distribuidora.
- 3) Está arquivado na base expedidora o boletim original, assinado pelo responsável pelas análises efetuadas, com indicação de seu nome e número de inscrição no órgão de classe.
- 4) A responsabilidade do profissional indicado não abrange os parâmetros de carregamento.

Antonio Carlos Gomes dos Santos
CRQ nº 04303639 IV Região

Pág.: / 1



BOLETIM DE CONFORMIDADE

Centro: 5101 - TECUB Terminal de Cubatão

Doc.Ref.: 111755910

I - Parâmetros do Caminhão

Cód.produto: 01.000.109		Nome produto: OLEO DIESEL MARITIMO - LI			
Informação sobre a amostra: Nº Lote controle 050000504297		Cliente INSTITUTO MAUA DE TECNOLOGIA - IMT			
Característica	Unidade	Especificação Lim.Inf.	Lim.Sup	Resultado	Método
Aspecto visual	-	-	-	Corresponde	VISUAL
Cor ASTM	-	-	-	0.5	VISUAL
Destilação 85%	°C	-	370	352	D 86
Destilação 50%	°C	245	310	287	D 86
Massa Específica a 20/4°C	kg/m ³	820,0	880,0	865,1	ASTM D4052
Ponto de Fulgor PM	°C	-	-	77	D 93

DECISÃO DE UTILIZAÇÃO: APROVADO

APROVADO

Antonio Carlos Gomes dos Santos

OBS: CE TECUB 162009

Data de emissão: 09.09.2009

Responsável Técnico:

- 1) Os resultados deste boletim referem-se somente à amostra acima identificada.
- 2) Este documento só pode ser reproduzido integralmente e com autorização da PETROBRAS Distribuidora.
- 3) Está arquivado na base expedidora o boletim original, assinado pelo responsável pelas análises efetuadas, com indicação de seu nome e número de inscrição no órgão de classe.
- 4) A responsabilidade do profissional indicado não abrange os parâmetros de carregamento.

Antonio Carlos Gomes dos Santos
CRQ nº 04303639 IV Região

Pág.: / 1

ANEXO II

Resultados das análises dos combustíveis



RELATÓRIO DE ENSAIO

INTERESSADO: INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA
Praça Mauá, 01 - Mauá
CEP: 09.580-900 - São Caetano do Sul/SP
Tel (11) 4239-3184

LABORATÓRIO CONTRATADO: Analytical Technology Serviços
Analíticos e Ambientais Ltda.

PROJETO: ANÁLISE DE % DE BIODIESEL
IDENTIFICAÇÃO AT: LOG nº 3857/2009



Dados referentes ao Projeto

1. Identificação da amostra

ID AT	IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO
34775/2009-1.0	AMOSTRA: 0810A-B10 / DATA: 08/10/2009 / HORA: NAO INFORMADO / MATRIZ: DIESEL / PROJETO: ANÁLISE DE % DE BIODIESEL

2. Custódia da amostra

Data de recebimento de amostra: 09/10/2009

Data de emissão do relatório eletrônico: 16/10/2009

Período de retenção das amostras: até 30 dias após a publicação (até essa data as amostras estarão disponíveis para devolução e/ou checagem)



Rua Bilkensvart S/empalé, 125 N. Marfona CA-128-063 São Paulo - SP - Tel: 81 5004 8536 Fax: 81 9034 8631
www.analyticaltechnology.com.br

3. Resultados de análises

PROJETO: ANÁLISE DE % DE BIODIESEL

ENSAIO: FÍSICO-QUÍMICO

LOGIN: 34775/2009-1.0	PONTO: 0810A-B10
------------------------------	-------------------------

MATRIZ: DIESEL	DATA: 08/10/2009	HORA: NÃO INFORMADO
-----------------------	-------------------------	----------------------------

Ensaio	Unidade	Especificação	Resultados	Referência	Data de análise
% de Biodiesel	%	-	10,4	I.R - Wilks	08/10/2009



Date: 9/10/2009
Time: 13.42:00

InfraSpec Report

Spectrometer Details:

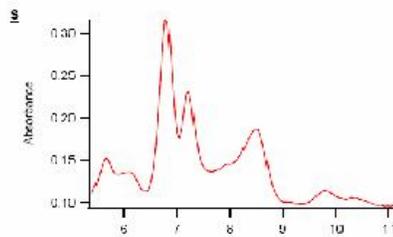
Serial Number: 301
Number of Scans: 60
Wavelength Range (μm): 5.4 - 11.08
Crosshair Correction: off

Sample Information:

Operator:
Sample ID: Maus - 1310
Notes: Maus - Diesel 1310

Sample Details:

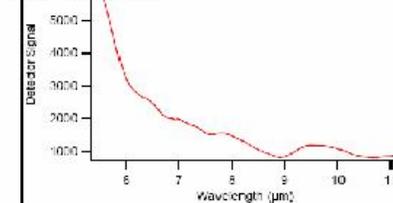
Calibration: BARKER S11
Concentration: 10.4 %



Background Details:

Date: 10/09/2009
Time: 13.33:28

Background Spectrum:





Date: 8/10/2009
Time: 14:40:48

InfraSpec Report

Spectrometer Details:

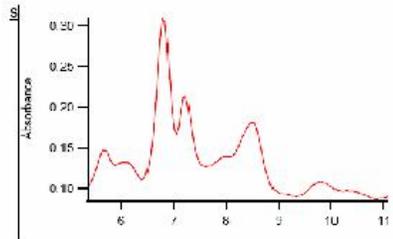
Serial Number: 3501
Number of Scans: 60
Wavelength Range (μm): 5.4 - 11.08
Crosstalk Correction: off

Sample Information:

Operator:
Sample ID: 11511 - PADRÃO - 10%
Notes: PADRÃO - 10% - B10

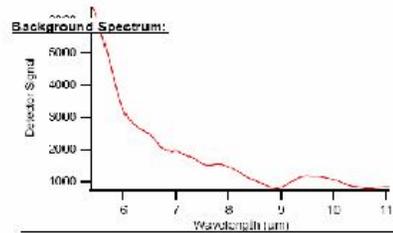
Sample Details:

Calibration: 1 - B100001501
Concentration: 9.9 %



Background Details:

Date: 8/10/2009
Time: 14:38:44





4. Responsabilidade técnica

Ana Paula Ahualli	CRQ 4ª Região nº 04121814
-------------------	---------------------------

5. Informações Adicionais

- Procedimento e plano de amostragem foram definidos pelo cliente de acordo com o Projeto: ANÁLISE DE % DE BIODIESEL
- Os resultados aqui apresentados referem-se exclusivamente às amostras enviadas pelo interessado.
- O relatório de ensaio só deve ser reproduzido por completo. A reprodução parcial requer aprovação por escrita deste laboratório.
- As referências internas foram baseadas e validadas a partir das referências externas.

6. Anexos

- Cadeia de Custódia.

7. Aprovação do relatório

Relatório aprovado segundo especificações comerciais (proposta 1145-00) e com base nos documentos do Sistema da Qualidade Analytical Technology.

Milton Rodrigues Pereira
CRQ 4ª Região nº 04411521
Coordenador de Laboratório



RELATÓRIO DE ENSAIO

INTERESSADO: INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA
Praça Mauá, 01 - Mauá
CEP: 09.580-900 - São Caetano do Sul/SP
Tel (11) 4239-3184

LABORATÓRIO CONTRATADO: Analytical Technology Serviços
Analíticos e Ambientais Ltda.

PROJETO: ANÁLISE DE % DE BIODIESEL
IDENTIFICAÇÃO AT: LOG nº 3858/2009



Analytical
Technology

Rua Bittencourt S/nº 105 - Morumbi - 04128-060 São Paulo - SP - Tel: 11 5004 8830 Fax: 11 804 8631
www.analyticaltechnology.com.br

Dados referentes ao Projeto

1. Identificação da amostra

ID AT	IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO
34774/2009-1.0	AMOSTRA: 0810B-B20 / DATA: 09/10/2009 / HORA: NÃO INFORMADO / MATRIZ: DIESEL / PROJETO: ANÁLISE DE % DE BIODIESEL

2. Custódia da amostra

Data de recebimento de amostra: 09/10/2009

Data de emissão do relatório eletrônico: 18/10/2009

Período de retenção das amostras: até 30 dias após a publicação (até essa data as amostras estarão disponíveis para devolução e/ou checagem)



Analytical
Technology

Rua Elkendorf S/nº - Jd. São Paulo - 135 - Morão - Caixa Postal 563 - São Paulo - SP - Tel.: (11) 504 8200 Fax: (11) 504 8531
www.analyticaltechnology.com.br

3. Resultados de análises

PROJETO: ANÁLISE DE % DE BIODIESEL					
ENSAIO: FÍSICO-QUÍMICO					
LOGIN: 34774/2009-1.0			PONTO: 08 10B-B20		
MATRIZ: DIESEL		DATA: 09/10/2009		HORA: NÃO INFORMADO	
Ensaio	Unidade	Especificação	Resultados	Referência	Data de análise
% de Biodiesel	%	-	20,5	I.R - Wilks	12/10/2009



Date: 30/09/2009
Time: 10:00:04

InfraSpec Report

Spectrometer Details:

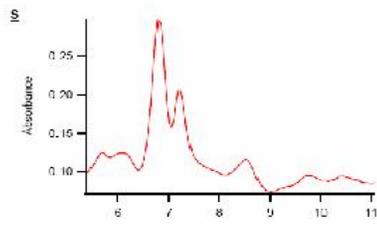
Serial Number: 301
Number of Rows: 60
Wavelength Range (nm): 5.4 - 11.00
CrossTalk Correction: off

Sample Information:

Operator:
Sample ID: MAJJA 1020 - 1 CC - 53843
Notes: Amostra diluída 5 vezes Resultado=20,5%

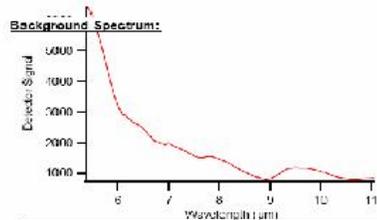
Sample Details:

Calibration 1: %HClO4 SE 1
Concentration: 4.1 %



Background Details:

Date: 30/09/2009
Time: 15:54:07





Date: 04/10/2009
Time: 14:46:45

InfraSpec Report

Spectrometer Details:

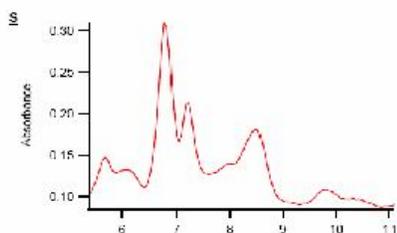
Serial Number: 701
Number of Scans: 80
Wavelength Range (um): 5.4 - 11.08
Crystalline Correction: off

Sample Information:

Operator:
Sample ID: 11.8111 (PADRÃO-10%)
Notes: PADRÃO 10%-B10

Sample Details:

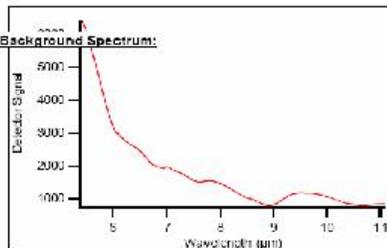
Calibration: 1 - 54300101 511
Concentration: 9.9 %



Background Details:

Date: 04/10/2009
Time: 14:38:44

Background Spectrum:





4. Responsabilidade técnica

Ana Paula Ahualli	CRQ 4ª Região nº 04121814
-------------------	---------------------------

5. Informações Adicionais

- Procedimento e plano de amostragem foram definidos pelo cliente de acordo com o Projeto: ANÁLISE DE % DE BIODIESEL
- Os resultados aqui apresentados referem-se exclusivamente às amostras enviadas pelo interessado.
- O relatório de ensaio só deve ser reproduzido por completo. A reprodução parcial requer aprovação por escrita deste laboratório.
- As referências internas foram baseadas e validadas a partir das referências externas.

6. Anexos

- Cadeia de Custódia.

7. Aprovação do relatório

Relatório aprovado segundo especificações comerciais (proposta 1145-09) e com base nos documentos do Sistema da Qualidade Analytical Technology.

Milton Rodrigues Pereira
CRQ 4ª Região nº 04411521
Coordenador de Laboratório



RELATÓRIO DE ENSAIO

INTERESSADO: INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA
Praça Mauá, 01 - Mauá
CEP: 09.580-900 - São Caetano do Sul/SP
Tel (11) 4239-3184

LABORATÓRIO CONTRATADO: Analytical Technology Serviços
Analíticos e Ambientais Ltda.

PROJETO: ANALISE DE DIESEL
IDENTIFICAÇÃO AT: LOG nº 3420/2009_REV.01_1



Dados referentes ao Projeto

1. Identificação da amostra

ID AT	IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO
30586/2009-1.0	AMOSTRA: 11.09.09 / DATA: 11/09/2009 / HORA:NÃO INFORMADO / MATRIZ: DIESEL / PROJETO: ANALISE DE DIESEL

2. Custódia da amostra

Data de recebimento de amostra: 11/09/2009

Data de emissão do relatório eletrônico: 17/09/2009

Data de reemissão do relatório eletrônico: 02/10/2009

Período de retenção das amostras: até 30 dias após a publicação (até essa data as amostras estarão disponíveis para devolução e/ou checagem)



3. Resultados de análises

PROJETO: ANALISE DE DIESEL			
ENSAIO: FÍSICO-QUÍMICO			
LOGIN: 30566/2009-1.0		PONTO: 11.09.09	
MATRIZ: DIESEL		DATA: 11/09/2009	HORA: NÃO INFORMADO
MATRIZ: DIESEL B5	DATA ANALISE: 14/09/2009	ID Amostra: 11.09.09	
Ensaio	Unidade	Resultados	Método
% de Biodiesel	%	5,7	IR - Wilks



Date: 14/9/2009
Time: 14:11:21

InfraSpec Report

Spectrometer Details:

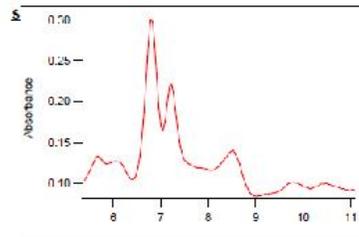
Serial Number: 301
Number of Scans: 60
Wavelength Range (μm): 5.4 - 11.08
Crosstalk Correction: off

Sample Information:

Operator:
Sample ID: C1421018-43345
Notes: DIESEL B5 - MAJJA T1

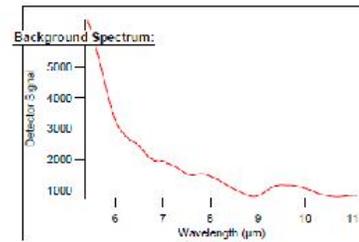
Sample Details:

Calibration: 1 - 948C1011 33.1
Concentration: 5.7 %



Background Details:

Date: 09/14/2009
Time: 14:05:20



Wilks Enterprise, Inc. - www.wilksIR.com



Date: 14/07/2009
Time: 14:27:39

InfraSpec Report

Spectrometer Details:

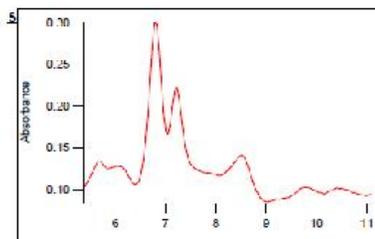
Serial Number: 301
Number of Scans: 60
Wavelength Range (μm): 5.4 - 11.05
Crosstalk Correction: off

Sample Information:

Operator:
Sample ID: LC03420/09 - 49346 T2
Notes: DIESEL B5 - MAUA - T2

Sample Details:

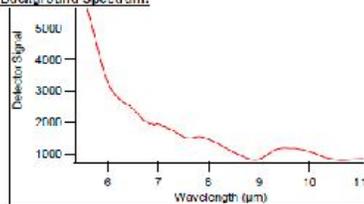
Calibration: 1% (H2O) III 31.1
Concentration: 5.8 %



Background Details:

Date: 05/14/2009
Time: 14:05:20

Background Spectrum:



Wilks Enterprise, Inc. — www.wilksIR.com



Date: 14/09/2009
Time: 15:04:50

InfraSpec Report

Spectrometer Details:

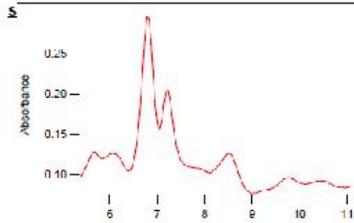
Serial Number: 301
Number of Scans: 60
Wavelength Range (µm): 5.4 - 11.08
Crosstalk Correction: off

Sample Information:

Operator:
Sample: (F 01) 511115 - (A) 11660
Notes: DIESEL B5 - PADRÃO

Sample Details:

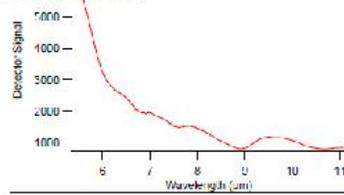
Calibration: 1 - 94803111 511
Concentration: 4.9%



Background Details:

Date: 09/14/2009
Time: 14:41:49

Background Spectrum:



Wilks Enterprise, Inc. www.wilksir.com



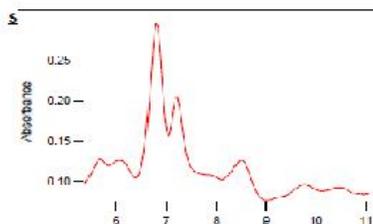
Date: 14/01/2009
Time: 15:04:55

InfraSpec Report

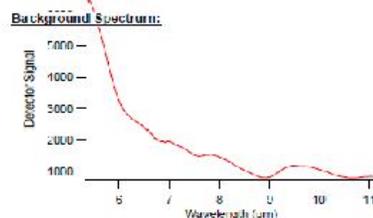
Spectrometer Details:
Serial Number: 301
Number of Scans: 60
Wavelength Range (µm): 5.4 - 11.06
Crossstalk Correction: off

Sample Information:
Operator:
Sample ID: DIESEL - PADRÃO
Notes: DIESEL B5 - PADRÃO

Sample Details:
Calibration: 194801010101
Concentration: 4.9 %



Background Details:
Date: 13/14/2009
Time: 14:41:49





4. Responsabilidade técnica

Ana Paula Ahualli	CRQ 4ª Região nº 04121814
-------------------	---------------------------

5. Informações Adicionais

- Procedimento e plano de amostragem foram definidos pelo cliente de acordo com o Projeto: ANALISE DE DIESEL
- Os resultados aqui apresentados referem-se exclusivamente às amostras enviadas pelo interessado.
- O relatório de ensaio só deve ser reproduzido por completo. A reprodução parcial requer aprovação por escrita deste laboratório.
- As referências internas foram baseadas e validadas a partir das referências externas.
- Este relatório cancela e substitui o relatório emitido em: 17/09/2009

6. Anexos

- Cadeia de Custódia.

7. Aprovação do relatório

Relatório aprovado segundo especificações comerciais (proposta 1145.09) e com base nos documentos do Sistema da Qualidade Analytical Technology.

Milton Rodrigues Pereira
CRQ 4ª Região nº 04411521
Coordenador de Laboratório



RELATÓRIO DE ENSAIO

INTERESSADO: INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA
Praça Mauá, 01 - Mauá
CEP: 09.580-900 - São Caetano do Sul/SP
Tel (11) 4239-3184

LABORATÓRIO CONTRATADO: Analytical Technology Serviços
Analíticos e Ambientais Ltda.

PROJETO: Análise de % de Biodiesel
IDENTIFICAÇÃO AT: LOG nº 3932/2009



Dados referentes ao Projeto

1. Identificação da amostra

ID AT	IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO
35445/2009-1.0	AMOSTRA: 13-10 - B60 / DATA: 14/10/2009 / HORA:NÃO INFORMADO / MATRIZ: DIESEL / PROJETO: ANÁLISE DE % DE BIODIESEL

2. Custódia da amostra

Data de recebimento de amostra: 14/10/2009

Data de emissão do relatório eletrônico: 21/10/2009

Período de retenção das amostras: até 30 dias após a publicação (até essa data as amostras estarão disponíveis para devolução e/ou checagem)



3. Resultados de análises

PROJETO: ANÁLISE DE % DE BIODIESEL

ENSAIO: FÍSICO-QUÍMICO		
LOGIN: 35445/2009-1.0	PONTO: 13-10 - B60	
MATRIZ: DIESEL	DATA: 14/10/2009	HORA: NÃO INFORMADO

Ensaio	Unidade	Especificação	Resultados	Referência	Data de análise
% de Biodiesel	%	-	61,0	I.R - Wilks	14/10/2009



Date: 15/10/2009
Time: 08:19:43

InfraSpec Report

Spectrometer Details:

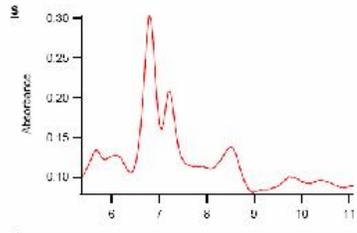
Serial Number: 303
Number of Scans: 80
Wavelength Range (µm): 5.4 - 11.08
Crosstalk Correction: off

Sample Information:

Operator:
Sample ID: BR0 MAJAJ OC2 35445 AMOHT134 13-
Notes: AM - DILUIDA 10 VEZES-13 ID-13-10

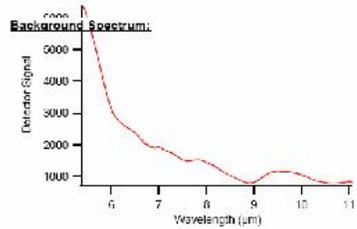
Sample Details:

Calibration 1: 418000 51.1
Concentration: 0.1 %



Background Details:

Date: 15/10/2009
Time: 08:40:30





4. Responsabilidade técnica

Ana Paula Ahualli	CRQ 4ª Região nº 04121814
-------------------	---------------------------

5. Informações Adicionais

- Procedimento e plano de amostragem foram definidos pelo cliente de acordo com o Projeto: Análise de % de Biodiesel
- Os resultados aqui apresentados referem-se exclusivamente às amostras enviadas pelo interessado.
- O relatório de ensaio só deve ser reproduzido por completo. A reprodução parcial requer aprovação por escrita deste laboratório.
- As referências internas foram baseadas e validadas a partir das referências externas.

6. Anexos

- Cadeia de Custódia.

7. Aprovação do relatório

Relatório aprovado segundo especificações comerciais (proposta 1145.00) e com base nos documentos do Sistema da Qualidade Analytical Technology.

Milton Rodrigues Pereira
CRQ 4ª Região nº 04411521
Coordenador de Laboratório



RELATÓRIO DE ENSAIO

INTERESSADO: INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA
Praça Mauá, 01 - Mauá
CEP: 09.580-900 - São Caetano do Sul/SP
Tel (11) 4239-3184

LABORATÓRIO CONTRATADO: Analytical Technology Serviços
Analíticos e Ambientais Ltda.

PROJETO: ANÁLISE DE % DE BIODIESEL
IDENTIFICAÇÃO AT: LOG nº 3859/2009



Dados referentes ao Projeto

1. Identificação da amostra

ID AT	IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO
34761/2009-1.0	AMOSTRA: 0810C-B40 / DATA: 08/10/2009 / HORA: NAO INFORMADO / MATRIZ: DIESEL / PROJETO: ANÁLISE DE % DE BIODIESEL

2. Custódia da amostra

Data de recebimento de amostra: 09/10/2009

Data de emissão do relatório eletrônico: 18/10/2009

Período de retenção das amostras: até 30 dias após a publicação (até essa data as amostras estarão disponíveis para devolução e/ou checagem)



3. Resultados de análises

PROJETO: ANÁLISE DE % DE BIODIESEL

ENSAIO: FÍSICO-QUÍMICO

LOGIN: 34761/2009-1.0	PONTO: 0810C-B40
------------------------------	-------------------------

MATRIZ: DIESEL	DATA: 08/10/2009	HORA: NAO INFORMADO
-----------------------	-------------------------	----------------------------

Ensaio	Unidade	Especificação	Resultados	Referência	Data de análise
% de Biodiesel	%	-	40,0	I.R - Wilks	12/10/2009



Date: 12/10/2009
Time: 08:18:57

InfraSpec Report

Spectrometer Details:

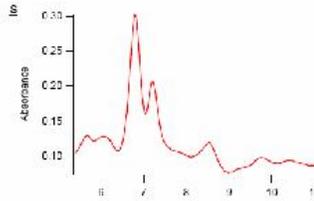
Serial Number: 301
Number of Scans: 60
Wavelength Range (µm): 5.4 - 11.00
Crosstalk Correction: off

Sample Information:

Operator:
Sample ID: MAUA_E40_LOS_03684
Notes: Análise diluída 10 vezes-Result =10%

Sample Details:

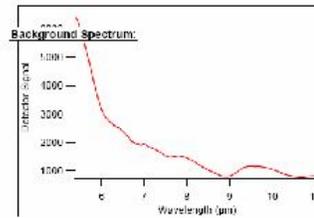
Calibration: 1, %SiO₂/LSE/L
Concentration: 4.0 %



Background Details:

Date: 10-12-2009
Time: 08:08:14

Background Spectrum:





Date: 0/10/2009
Time: 14:28:44

InfraSpec Report

Spectrometer Details:

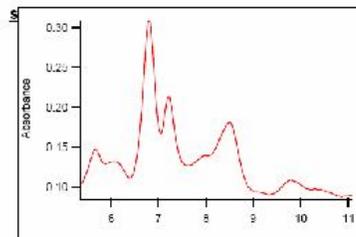
Serial Number: 301
Number of Scans: 60
Wavelength Range (μm): 6.4 - 11.09
Crosstalk Correction: off

Sample Information:

Operator:
Sample ID: TESTE FADRÃO- 10%
Notes: FADRÃO 10%#B10

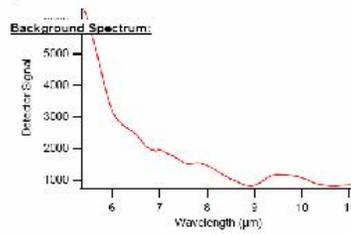
Sample Details:

Calibration 1: %BIO DIESEL
Concentration: 9.9%



Background Details:

Date: 10/09/2009
Time: 14:36:44





4. Responsabilidade técnica

Ana Paula Ahualli	CRQ 4ª Região nº 04121814
-------------------	---------------------------

5. Informações Adicionais

- Procedimento e plano de amostragem foram definidos pelo cliente de acordo com o Projeto: ANÁLISE DE % DE BIODIESEL.
- Os resultados aqui apresentados referem-se exclusivamente às amostras enviadas pelo interessado.
- O relatório de ensaio só deve ser reproduzido por completo. A reprodução parcial requer aprovação por escrita deste laboratório.
- As referências internas foram baseadas e validadas a partir das referências externas.

6. Anexos

- Cadeia de Custódia.

7. Aprovação do relatório

Relatório aprovado segundo especificações comerciais (proposta 1145-09) e com base nos documentos do Sistema da Qualidade Analytical Technology.

Milton Rodrigues Pereira
CRQ 4ª Região nº 04411521
Coordenador de Laboratório

ANEXO III

Condições de Amaciamento e Durabilidade

Condições utilizadas para Amaciamento e para Durabilidade

Amaciamento					
Passo	Tempo (h)	Tempo(s)	Tempo total (h)	Rotação (rpm)	Carga (Nm)
1	3	10800	3	Marcha Lenta	0
2	1	3600	4	1875	85
3	1	3600	5	1875	170
4	1	3600	6	1875	255
5	1	3600	7	1875	85
6	1	3600	8	1875	170
7	1	3600	9	1875	255
8	1	3600	10	1875	85
9	1	3600	11	1875	170
10	1	3600	12	1875	255
11	1	3600	13	1875	85
12	1	3600	14	1875	170
13	1	3600	15	1875	255
14	1	3600	16	1875	85
15	1	3600	17	1875	170
16	1	3600	18	1875	255
17	1	3600	19	1875	85
18	1	3600	20	1875	170
19	1	3600	21	2500	170
20	1	3600	22	2500	Plena Carga
21	1	3600	23	2500	170
22	1	3600	24	2500	Plena Carga
23	1	3600	25	2500	170
24	1	3600	26	2500	Plena Carga
25	1	3600	27	2500	170
26	1	3600	28	2500	Plena Carga
27	1	3600	29	2500	170
28	1	3600	30	2500	Plena Carga

Durabilidade					
Passo	Tempo (h)	Tempo(s)	Tempo total (h)	Rotação (rpm)	Carga (Nm)
-	300	1080000	300	2500	Plena Carga

ANEXO IV

Ocorrências nos Ensaios dos Motores

Teste:	Durabilidade	SE:	049/09
Motor:	MWM D229-6	Banco:	IMT 08B
Numero:	C1N203569 / C1N203427	Duração:	330h
Combustível:	Diesel Marítimo / Diesel B5	Contato:	Mauricio Bonifati
Lubrificante:	Ultramo Turbo - Ipiranga	Responsável:	Luciano Caldeira
Arrefecimento:	-	Operador:	RM

Data	Hora	Hora total	Hora ciclo	Ocorrência:	
11/08/09	9:00	0:00:00	0:00:00	Preparação para instalação do motor no banco de provas.	
	22:00			Início da instalação do motor C1N203569.	
12/08/09	3:30	0:00:00	0:00:00	Motor alinhado.	
13/08/09	5:00	0:00:00	0:00:00	Dando continuidade na instalação do motor no banco de provas.	
14/08/09	15:30	0:00:00	0:00:00	Aguardando eixo cardan, óleo lubrificante e filtro de óleo lubrificante.	
15/08/09	7:20	0:00:00	0:00:00	Dando continuidade na instalação do motor no banco de provas.	
17/08/09	10:00	0:00:00	0:00:00	Recebido eixo cardan.	
	19:15			Necessária correção no alinhamento o motor.	
18/08/09	6:00	0:00:00	0:00:00	Motor ligado para verificações.	
	6:04			Desligado motor.	
	11:01	0:04:00		Calibrado o medidor de torque.	
	11:05			Trocado o óleo e o filtro de óleo.	
	12:20	0:09:00		Motor ligado para verificações.	
	12:25			Desligado motor.	
	12:40	Completado o nível do óleo lubrificante.			
	12:44	Configurado software para realizar amaciamento.			
	13:10	0:12:00		Início do amaciamento. Será utilizado Diesel Marítimo.	
	16:49	3:20:00		Realizada a manutenção no acelerador, motor ligado.	
19/08/09	20:13	30:35:00	30:00:00	Pausa no ciclador, fim do amaciamento. Motor em marcha lenta.	
	21:32	31:14:00		Instalado medidor de fumaça MF-01 e aparelho de blowby MB-02.	
	22:06			Motor ligado.	
	22:40	31:48:00		Início da curva de desempenho NBR ISO 1585.	
20/08/09	0:04	33:10:00	30:00:00	Fim da curva de desempenho.	
	0:44	33:18:00		Determinada massa inicial de óleo lubrificante.	
	1:14	33:31:00	0:00:00	Início do ciclo de durabilidade com Diesel Marítimo.	
	9:55	42:10:00	8:34:00	Desligado motor para verificar medidor de torque.	
	10:32	42:20:00		Motor retorna ao ensaio.	
	20:10	46:23:00	12:23:00	Realizadas diversas verificações para averiguar o baixo desempenho.	
	20:20			Estrangulador da bomba injetora estava parcialmente acionado, diminuindo o débito.	
23:48	46:54:00	Potência a 2500 rpm = 89kW. Torque em 1600 rpm = 370Nm, motor desligado.			
21/08/09	0:22	47:30:00	12:23:00	Motor ligado.	
	7:09	52:36:00		Motor retorna ao ensaio.	
	7:14	52:42:00		Realizada revisão de 50 horas.	
24/08/09	20:00	102:48:00	61:31:00	Motor retorna ao ensaio.	
	20:04	102:52:00		Realizada revisão de 100 horas.	
	20:04	102:52:00		Motor retorna ao ensaio.	
26/08/09	23:55	151:53:00	108:59:00	Notado que a contra pressão de escape está baixa, motor em marcha lenta.	
27/08/09	0:04	152:02:00	108:59:00	Realizada limpeza na mangueira de transdutor da contra pressão de escape. Motor retorna ao ensaio.	
29/08/09	13:50	203:08:00	155:18:00	Realizada revisão de 200 horas.	
	13:56	203:14:00		Motor retorna ao ensaio.	
31/08/09	9:40	215:04:00	166:41:00	Motor não funciona. Carregador de bateria com problema.	
	10:00			Substituído o carregador de bateria.	
	10:12	215:13:00		Motor retorna ao ensaio.	
	19:45	224:42:00		Realizada limpeza na região do 4º bico injetor, há vestígio de vazamento de óleo diesel.	
	19:49	224:46:00		Motor retorna ao ensaio.	
01/09/09	7:50	236:47:00	188:06:00	Realizado aperto na porca do tubo de alta pressão e no parafuso de retorno do bico injetor do 4º cilindro.	
04/09/09	2:29	302:05:00	249:39:00	Realizada revisão de 300 horas.	
	2:37	302:14:00		Motor retorna ao ensaio.	
05/09/09	7:52	330:00:00	276:55:00	Fim do ensaio.	
	20:33	332:19:00		Realizada revisão final.	
08/09/09	13:50	332:37:00	276:55:00	Removido o motor C1N203569 do banco de provas.	
	14:20			Preparação para instalação do motor no banco de provas.	
	15:00	0:00:00		Início da instalação do motor C1N203427 no banco de provas.	
	23:20			Concluída a instalação do motor no banco de provas.	
09/09/09	15:30	0:00:00	0:00:00	Misturado 5% de Biodiesel (B100) ao Diesel Marítimo. Foi enviada amostra da mistura B5 para análise.	
10/09/09	9:47	0:00:00	0:00:00	Adicionado líquido de arrefecimento. Aguardando análise da mistura de combustível (B5).	
11/09/09	9:47	0:00:00	0:00:00	Realizada a calibração no medidor de torque.	
11/09/09	7:30	0:00:00	0:00:00	Aguardando análise da mistura de combustível (B5).	
12/09/09	7:30	0:00:00	0:00:00	Aguardando análise da mistura de combustível (B5).	
14/09/09	6:00	0:00:00	0:00:00	Aguardando análise da mistura de combustível (B5).	
15/09/09	7:30	0:00:00	0:00:00	Aguardando análise da mistura de combustível (B5).	
	10:00			Chegada do pessoal do SENAI/BA.	
	14:17			Início do amaciamento.	
16/09/09	20:36	30:20:00	30:00:00	Fim do ciclo de amaciamento.	
17/09/09	8:00	30:20:00	30:00:00	Instalado aparelho de blowby MB-01 e aparelho de fumaça MF-01.	
	9:28			30:50:00	Início da curva de desempenho NBR ISO 1585 com combustível B5.
	10:40			Fim da curva de desempenho.	
	11:38	32:11:00		Determinada massa inicial de óleo lubrificante.	
	12:40			As primeiras 46 horas de ensaio serão ensaiadas com o mesmo débito das primeiras 46 horas do motor C1N203596. Após 46 horas, o débito será mantido em plena carga.	
	13:06	32:58:00		0:00:00	Início do ciclo de Durabilidade com Diesel B5.

Teste:	Durabilidade	SE:	049/09
Motor:	MWM D229-6	Banco:	IMT 08B
Numero:	C1N203569 / C1N203427	Duração:	330h
Combustível:	Diesel Marítimo / Diesel B5	Contato:	Mauricio Bonifati
Lubrificante:	Ultramo Turbo - Ipiranga	Responsável:	Luciano Caldeira
Arrefecimento:	-	Operador:	RM

Data	Hora	Hora total	Hora ciclo	Ocorrência:
18/09/09	8:14	51:34:00	16:51:00	Realizada revisão de 50 horas.
	8:26	51:47:00		Motor retorna ao ensaio.
19/09/09	20:33	85:21:00	50:02:00	Motor desligado.
	21:25			Substituído o motor de partida e o carregador de bateria.
	21:28	85:27:00		Motor retorna ao ensaio.
21/09/09	6:20	86:32:00	51:06:00	Eliminado vazamento de óleo diesel pelo tubo de alta pressão do injetor 6º cilindro.
	6:48	87:00:00		Motor retorna ao ensaio.
	19:51	100:01:00	64:00:00	Motor parado. Determinada massa final de óleo lubrificante.
	20:40	100:14:00		Aguardando Sr. Mauricio Bonifati para acompanhar a revisão.
22/09/09	10:30	102:22:00	64:00:00	Realizada revisão de 100 horas.
	10:34	102:26:00		Motor retorna ao ensaio.
26/09/09	13:29	200:00:00	160:44:00	Motor parado. Determinada massa final de óleo lubrificante.
	13:43	200:14:00		Aguardando Sr. Mauricio Bonifati para acompanhar a revisão.
28/09/09	6:00	200:14:00	160:44:00	Aguardando cliente para acompanhar a revisão.
	11:05			A pedido do Sr. Mauricio foram fotografados balancins, tampas de válvulas e instrumentações do motor.
	23:08	202:26:00		Realizada revisão de 200 horas.
	23:16			Motor retorna ao ensaio.
03/10/09	20:16	315:29:00	269:37:00	Motor ligado.
	20:17			Motor retorna ao ensaio.
	22:50	318:03:00		Realizada revisão de 300 horas.
05/10/09	6:43	318:31:00	283:22:00	Motor retorna ao ensaio.
	19:10	330:00:00		Fim do ensaio. aguardando cliente para acompanhar a medição.
	21:30	331:28:00		Realizada revisão final.
	22:44			Aguardando Sr. Mauricio Bonifati para acompanhar as medições finais.
06/10/09	8:30	331:28:00	283:22:00	Chegada do pessoal do SENAI/BA. Início da medição das folgas de válvulas.
	15:10			Removido o motor C1N203427 do banco de provas. Serão realizadas medição dimensionais.
14/10/09	20:00	331:28:00	283:22:00	Início da instalação do motor C1N203427 no banco de provas.
15/10/09	11:01	331:37:00	283:22:00	Realizada a calibração no medidor de torque.
	11:40			Motor ligado.
	13:35	333:34:00		Realizada a curva de desempenho com B5.
	13:43	333:42:00		Desligado motor para troca de combustível.
	14:30			Motor ligado.
	16:18	335:30:00		Realizada a curva de desempenho com B10.
	16:21	335:33:00		Desligado motor para troca de combustível.
	17:46			Motor ligado.
	19:29	337:29:00		Realizada a curva de desempenho com B20.
19:39	337:34:00	Desligado motor para troca de combustível.		
16/10/09	21:30			Motor ligado.
	1:07	340:32:00	283:22:00	Realizada a curva de desempenho com B40.
	2:17			Desligado motor para troca de combustível.
	4:31	342:46:00		Motor ligado.
	4:33	342:48:00		Realizada a curva de desempenho com B60.
	5:46			Desligado motor para troca de combustível.
	7:57	344:48:00		Motor ligado.
	8:00			Realizada a curva de desempenho com B100.
9:45	344:50:00	Aguardando a liberação para remover o motor do banco de provas.		
21:00			Início da remoção do motor do banco de provas.	
				Finalizada a remoção do motor do banco de provas.