

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
MARGARETH JUDITH SOUZA DE CARVALHO

EFEITOS DO LUBRIFICANTE E ADITIVOS
NA ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL DIESEL

RIO DE JANEIRO

2010

Margareth Judith Souza de Carvalho

EFEITOS DO LUBRIFICANTE E ADITIVOS
NA ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL DIESEL

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de
Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de
Química, da Universidade Federal do Rio de
Janeiro, como parte dos requisitos necessários
à obtenção do título de Mestre em Ciências
(M.Sc.).

Orientador: Peter Rudolf Seidl, Ph.D.

Co-orientador: Carlos Rodrigues Pereira Belchior, D.Sc.

Rio de Janeiro

2010

C331e Carvalho, Margareth Judith Souza de.

Efeitos do Lubrificante e Aditivos na Economia de Combustível Diesel / Margareth Judith Souza de Carvalho. -- 2010.
70 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2010.

Orientador: Peter Rudolf Seidl

Co-orientador: Carlos Rodrigues Pereira Belchior

1. Óleo lubrificante. 2. Aditivo. 3. Viscosidade. 4. Economia de combustível. 5. Motor diesel – Dissertação. I. Seidl, Peter Rudolf (Orient.) II. Belchior, Carlos Rodrigues Pereira (Co-orient.). III. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química. IV. Título.

CDD: 665.5385

Margareth Judith Souza de Carvalho

EFEITOS DO LUBRIFICANTE E ADITIVOS
NA ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL DIESEL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências (M.Sc.).

Aprovada em

(Peter Rudolf Seidl, Ph.D. , Escola de Química/UFRJ)

(Carlos Rodrigues Belchior, D.Sc., COPPE/UFRJ)

(Donato Alexandre Gomes Aranda, Ph.D., Escola de Química/UFRJ)

(José Ricardo Sodré, Ph.D., Engenharia Mecânica/PUC-MG)

(Sylvio José Ribeiro de Oliveira, D.Sc., COPPE/UFRJ)

A Deus,
ao meu marido Humberto,
aos meus pais, Alvaro e Cristina,
a minha irmã Michelle
e a minha avó Luiza.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Peter por ter apostado em mim desde o primeiro momento.

Ao Prof. Belchior que me mostrou a luz no fim do túnel.

Ao Prof. José Ricardo que foi como um anjo em meu caminho.

Ao Prof. Sylvio José por ter me incentivado a seguir este trajeto.

À Profa. Érica pela paciência e colaboração nos momentos mais difíceis.

À Profa. Verônica pelo suporte nas análises de estatística.

Aos amigos do LMT: Prof. Albino, Eng. Nauberto, Eng. Pedro e Marcos, que tornaram este sonho realidade.

Aos amigos da secretaria, em especial Roselee e Júlio.

Aos amigos Jonas, Rodrigo e Wellington da Eletrobrás pelos ensinamentos e amizade.

Ao Luiz Fernando Lastres do CENPES pelas valiosas discussões.

Ao Marco Antônio de Almeida da Petrobras Distribuidora pelas ricas sugestões.

Ao Wilson Siqueira da ExxonMobil pelas valorosas opiniões.

Ao Eduardo Tomanik da Mahle pelas suas conferências telefônicas que muito me orientaram.

À Infineum, em especial, ao Jorge Manes e Jai Bansal pelo inestimável suporte técnico.

E a todos os profissionais, familiares e amigos que, de alguma forma, contribuíram e torceram pela conclusão deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

"Nunca digas é impossível. Diz: ainda não fiz"

Provérbio Japonês

RESUMO

Carvalho, Margareth Judith Souza de. **Efeitos do Lubrificante e Aditivos na Economia de Combustível Diesel**. Rio de Janeiro, 2010. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos)– Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

Este trabalho verifica o impacto da viscosidade do óleo lubrificante no consumo de combustível de um motor diesel. As amostras de óleo lubrificante foram testadas em um motor monocilíndrico de quatro tempos e injeção direta de combustível acoplado a um dinamômetro eletro-magnético, sob diferentes condições de carga e rotação. O motor foi alimentado com óleo diesel metropolitano comercial S500 (500 ppm de enxofre) contendo 4% de biodiesel (B4). As formulações dos óleos lubrificantes e a metodologia dos testes foram desenvolvidas para medir o consumo de combustível decorrente do uso de lubrificantes automotivos mono e multiviscosos, sob condições de operação próximas às de uso real. Os resultados demonstram que a economia de combustível obtida com as amostras de óleos multiviscosos é maior que aquela obtida com óleos monoviscosos. Buscou-se a confirmação dos resultados investigando-se o atrito no motor utilizando o método da linha de Willans nas amostras de óleo lubrificante que proporcionaram o menor e maior consumo de combustível.

Palavras-chaves: Óleo lubrificante. Aditivo. Viscosidade. Economia de combustível. Motor diesel.

ABSTRACT

Carvalho, Margareth Judith Souza de. **Efeitos do Lubrificante e Aditivos na Economia de Combustível Diesel**. Rio de Janeiro, 2010. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos)– Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

This work verifies the impact of lubricating oil viscosity on fuel consumption of a diesel engine tested. The lubricating oil samples were tested in a single-cylinder, four-stroke, direct injection engine mounted in an electric-magnetic dynamometer, under different load and speed conditions. The engine was fuelled by commercial S500 (500 ppm sulfur content) diesel oil with 4% biodiesel (B4). The formulations of the lubricating oils and test methodology were developed to measure fuel consumption from the use of mono and multigrade viscosity automotive lubricants, under operating conditions close to real operation. The results demonstrate that fuel economy obtained from the multigrade viscosity oils is higher than that obtained from monograde viscosity oils. To confirm these results engine friction was investigated using the Willans' Line method in the lubricating oil samples that showed the lowest and highest fuel consumption.

Keywords: Lubricating oil. Additive. Viscosity. Fuel economy. Diesel engine.

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
API	<i>American Petroleum Institute</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ATIEL	<i>Association Technique de L'Industrie Européenne des Lubrifiants</i>
CARB	<i>California Air Resource Board</i>
CCS	<i>Cold Cranking Simulator</i>
CONPET	Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
ETC	<i>European Transient Cycle</i>
FTP	<i>Federal Test Procedure</i>
HFET	<i>High Fuel Economy Test</i>
HTHS	<i>High Temperature High Shear</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IV	Índice de Viscosidade
LMT	Laboratório de Máquinas Térmicas
MIV	Melhorador do Índice de Viscosidade
MRV	<i>Mini Rotary Viscometer</i>
NBR	Norma Brasileira
PAO	Polialfaolefina
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
SFC	<i>Specific Fuel Consumption</i>
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1	Preço médio do óleo diesel por região	19
Tabela 3.1	Principais propriedades dos três tipos de óleos básicos	27
Tabela 3.2	Índice de viscosidade e a natureza dos óleos básicos	31
Tabela 3.3	Classificação dos óleos básicos	32
Tabela 3.4	Métodos analíticos usados para definição dos grupos	32
Tabela 3.5	Denominação dos óleos básicos comercializados no Brasil	34
Tabela 3.6	Classificação de viscosidade SAE para óleos de motor – SAE J300	38
Tabela 4.1	Matriz da composição dos óleos lubrificantes testados	41
Tabela 4.2	Especificação da viscosidade dos óleos lubrificantes testados	42
Tabela 4.3	Especificações do motor utilizado nos experimentos	44
Tabela A.1	Resultados das análises viscométricas das amostras	62
Tabela A.2	Consumo específico de diesel por amostra e por torque	62
Tabela A.3	Tratamento estatístico das amostras da família 1	63
Tabela A.4	Tratamento estatístico das amostras da família 2	63
Tabela A.5	Método da Linha de Willans para a amostra SAE 50	63
Tabela A.6	Método da Linha de Willans para a amostra SAE 5W-30	63

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1	Etiqueta nacional de conservação de energia para veículos	17
Figura 1.2	Percentual do preço do óleo diesel no custo total de uma empresa de transporte rodoviário de cargas	19
Figura 3.1	Distribuição do peso molecular dos óleos básicos minerais e sintéticos	27
Figura 3.2	Modelo das placas paralelas	28
Figura 3.3	Índice de viscosidade	31
Figura 3.4	Rota solvente para produção de óleos básicos lubrificantes	33
Figura 3.5	Comportamento do polímero Melhorador de Índice de Viscosidade	35
Figura 3.6	Complexidade do mercado brasileiro de óleo lubrificante	38
Figura 4.1	Misturador utilizado para homogeneização das amostras	40
Figura 4.2	Vista lateral do motor e dinamômetro	43
Figura 4.3	Vista frontal do motor	43
Figura 4.4	Interface do “software” usado para aquisição de dados	45
Figura 4.5	Mecanismo para medição do consumo de óleo diesel	46
Figura 4.6	Software de monitoramento contínuo da massa de óleo diesel sobre a balança	46
Figura 4.7	Linha de Willans	48
Figura 5.1	Curva de viscosidade versus temperatura das amostras formuladas	49
Figura 5.2	Consumo específico em 1500 rev/min e 10 N.m	50
Figura 5.3	Consumo específico em 2000 rev/min e 20 N.m	51
Figura 5.4	Consumo específico em 2500 rev/min e 30 N.m	51
Figura 5.5	Relação entre consumo específico e a viscosidade HTHS das amostras	52
Figura 5.6	Consumo específico das amostras de óleo lubrificante	53
Figura 5.7	Consumo específico das amostras de óleo monoviscosas	54
Figura 5.8	Consumo específico das amostras de óleo multiviscosas	54
Figura 5.9	Redução do consumo específico em relação a amostra SAE 50	55
Figura 5.10	Método da linha de Willans para as amostras SAE 50 e SAE 5W-30	56

LISTA DE SÍMBOLOS

η	Viscosidade, viscosidade dinâmica ou absoluta [Pa·s]
τ	Tensão de cisalhamento [Pa]
S	Grau de cisalhamento [s^{-1}]
ν	Viscosidade cinemática [m^2/s]
ρ	Massa específica [kg/m^3]
T	Temperatura [K]

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	A Eficiência Energética Veicular	16
1.2	Óleos Conservadores de Energia	17
1.3	Objetivo	18
1.4	Justificativa	18
1.5	Escopo	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	26
3.1	Óleos Lubrificantes Básicos	26
3.1.1	<i>Óleos Básicos Minerais</i>	26
3.1.2	<i>Óleos Básicos Sintéticos</i>	27
3.1.3	<i>Análise de Óleos Lubrificantes</i>	28
3.1.3.1	<u><i>Viscosidade</i></u>	28
3.1.3.2	<u><i>Índice de Viscosidade</i></u>	30
3.1.4	<i>Classificação dos Óleos Básicos</i>	32
3.1.5	<i>Rotas de Produção</i>	32
3.1.6	<i>Óleos Básicos Comercializados no Brasil</i>	34
3.2	Aditivos	35
3.3	Óleos Lubrificantes	36
3.3.1	<i>Classificação API</i>	36
3.3.2	<i>Classificação SAE</i>	37
3.3.3	<i>Cadeia de Valor da Produção de Óleo Lubrificante</i>	38
3.3.4	<i>Programa de Monitoramento da Qualidade de Lubrificantes</i>	39
4	METODOLOGIA EXPERIMENTAL	40
4.1	Formulação das Amostras	40
4.2	Aparato Experimental	42
4.2.1	<i>Especificação do Motor</i>	42
4.2.2	<i>Sistema de Aquisição de Dados do Motor</i>	44
4.2.3	<i>Aparato para Medição do Consumo de Combustível</i>	45
4.3	Metodologia	47
4.3.1	<i>Medição do Consumo de Combustível</i>	47
4.3.2	<i>Medição da Potência de Atrito</i>	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
5.1	Viscosidade Cinemática	49
5.2	Consumo Específico de Combustível	50

5.3	Potência de Atrito	55
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	57
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
	APÊNDICE A – DADOS EXPERIMENTAIS E ANÁLISE DE INCERTEZA	62
	ANEXO A – PORTARIA 129 DA ANP	64

1. INTRODUÇÃO

1.1 A Eficiência Energética Veicular

Iniciativas têm sido tomadas em todo o mundo com o objetivo de aumentar a eficiência energética dos veículos automotores. Diversos países implantaram programas de aferição do consumo de combustíveis que permitem a comparação entre os veículos de uma mesma categoria. Além de estimularem uma escolha consciente por parte do consumidor, a experiência mundial mostra que esses programas, sejam eles implementados de forma voluntária ou compulsória, induzem à fabricação de veículos mais econômicos e com menor emissão de poluentes, beneficiando os consumidores locais e o meio ambiente (CONPET, 2009).

O Brasil, que já tem consolidado um programa de controle de emissões veiculares, lançou, em novembro de 2008, o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBE), fruto de uma parceria entre o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) e o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET), seguindo uma tendência mundial. Ao aderir à certificação veicular, o Brasil é o primeiro país da América Latina a desenvolver programas de eficiência energética neste setor.

A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) informa ao consumidor:

- (i) A classificação do veículo quanto à eficiência energética em sua categoria por meio de um selo com escala de A (mais econômico) até E (menos econômico) (Fig. 1.1); e
- (ii) Os valores de referência da quilometragem por litro, na cidade e na estrada, com diferentes combustíveis.

Esses valores são obtidos a partir de medições de consumo efetuadas em laboratório, de acordo com os padrões ABNT NBR 7024. Para tanto, combustíveis-padrão brasileiros e ciclos de condução pré-estabelecidos são utilizados.

A adesão ao programa é voluntária e pode ser renovada anualmente, mas Chevrolet, Fiat, Honda, Kia Motors e Volkswagen já se inscreveram no programa. Juntas, essas empresas detêm 50% das vendas brasileiras. Esse recém-criado projeto mostra o interesse dos órgãos governamentais, montadoras e sociedade brasileira sobre a questão da economia de combustível.

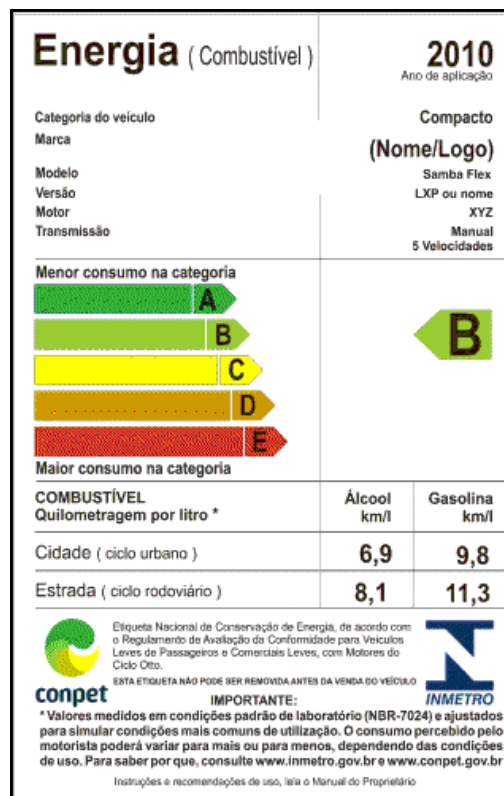


Figura 1.1: Etiqueta nacional de conservação de energia para veículos (CONPET, 2009).

1.2 Óleos Conservadores de Energia

Em 1973, após a crise do petróleo, o mercado americano passou a exigir maior eficiência do combustível utilizado em seus veículos. Em resposta a isso, fabricantes de carros de passeio e produtores de lubrificantes se uniram para desenvolver um teste capaz de medir as propriedades de conservação de energia de um lubrificante em um motor a gasolina. Dessa forma, os óleos que apresentam uma economia de combustível superior à de um óleo de referência passaram a ser identificados pelo *American Petroleum Institute* (API) com a classificação de conservadores de energia (*Energy Conserving*) (COMFORT, 2003).

Entretanto, o mesmo esforço nunca foi feito para os lubrificantes de motores a diesel, deixando a indústria, os caminhoneiros e donos de frota sem alternativas, a não ser confiar em especificações isoladas ou em resultados imprecisos de testes de campo. A existência de um método padronizado para se medir a economia de combustível em motores a diesel poderia proporcionar até 4% de redução no consumo de combustível, em comparação com um óleo SAE 15W-40 convencional (KENNEDY et al, 1995 apud COMFORT, 2003).

1.3 Objetivo

O objetivo geral dessa dissertação é verificar o impacto da viscosidade do óleo lubrificante no consumo de combustível em um motor de combustão interna do ciclo diesel sob diferentes condições de carga e rotação. As formulações dos óleos lubrificantes e o roteiro dos testes de motor foram desenvolvidos de forma a se atingir os seguintes objetivos específicos:

- verificar a diferença entre o consumo de combustível decorrente do uso de um lubrificante automotivo mono ou multiviscoso;
- caracterizar a influência do aditivo melhorador de índice de viscosidade na economia de combustível;
- comparar a resposta de dois polímeros melhoradores do índice de viscosidade, com diferentes índices de estabilidade ao cisalhamento, em relação ao consumo de combustível; e
- verificar o impacto dos óleos básicos sobre o consumo de combustível.

1.4 Justificativa

A crescente demanda somada à instabilidade do preço do óleo cru corroboraram para o forte aumento do preço do óleo diesel nos últimos anos, conforme ilustra a Tabela 1.1, que apresenta o preço médio do óleo diesel ao consumidor no período de 2001 a 2008, em distintas regiões do Brasil. Nesse intervalo, foi registrado um aumento de aproximadamente 230% no preço do combustível.

Estima-se que 30% dos custos operacionais de uma frota típica de caminhões sejam com a compra de combustível (TAYLOR, 2000 apud COMFORT, 2003). Para conhecer esse percentual no Brasil, duas grandes empresas atuantes no setor de transporte rodoviário de cargas, foram entrevistadas. Segundo uma delas, o preço do óleo diesel vem ganhando um peso cada vez maior no custo total de operação do veículo, conforme pode ser constatado na Figura 1.2.

Tabela 1.1: Preço médio do óleo diesel por região (ANP, 2009).

PAÍS E REGIÕES	PREÇO MÉDIO ANUAL DO ÓLEO DIESEL AO CONSUMIDOR (R\$/L)							
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Brasil	0,876	1,041	1,452	1,471	1,731	1,864	1,858	2,018
Norte	0,927	1,094	1,540	1,570	1,820	1,995	1,985	2,140
Nordeste	0,917	1,052	1,446	1,447	1,709	1,856	1,850	2,009
Sudeste	0,857	1,025	1,430	1,450	1,722	1,853	1,849	2,008
Sul	0,844	1,038	1,457	1,492	1,770	1,893	1,880	2,040
Centro-Oeste	0,920	1,087	1,530	1,564	1,832	1,959	1,967	2,110

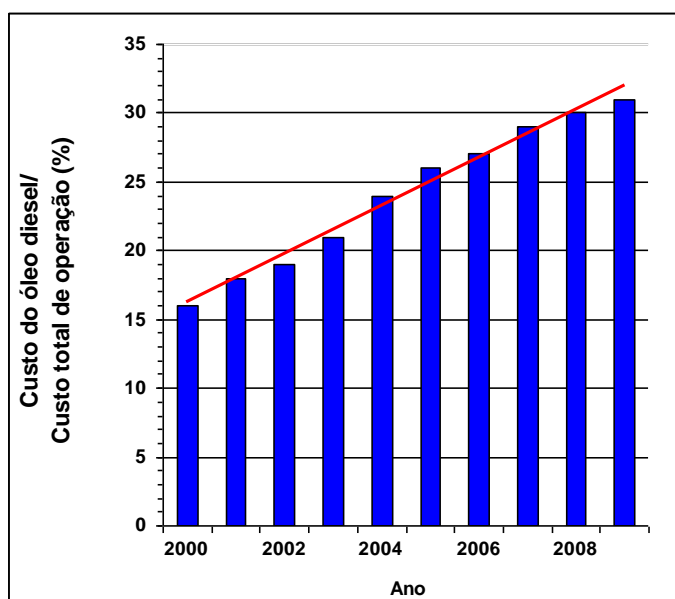


Figura 1.2: Percentual do preço do óleo diesel no custo total de uma empresa de transporte rodoviário de cargas (FERREIRA, 2009).

1.5 Escopo

O Capítulo 2 apresenta estudos anteriores realizados por outros autores na temática deste trabalho. Foi realizada uma revisão dos artigos científicos relevantes e relacionados a óleos básicos, aditivos e lubrificantes, no que se refere à redução de atrito, economia de combustível e emissão de poluentes.

O Capítulo 3 trata da fundamentação teórica. São abordados conceitos, classificações, equações e estudos de mercado sobre óleos lubrificantes.

O Capítulo 4 descreve a metodologia experimental: a formulação das amostras, os testes em motor e os equipamentos e procedimentos adotados.

Os resultados obtidos nos experimentos juntamente com a análise comparativa e discussões pertinentes são apresentadas no Capítulo 5.

No Capítulo 6 são apresentadas as conclusões relativas aos resultados oriundos desse estudo, assim como sugestões para trabalhos futuros.

O Apêndice A apresenta as análises de incerteza e o tratamento estatístico associado aos parâmetros medidos nos testes.

E, por fim, o anexo A traz uma cópia da portaria nº 129/99 da ANP.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As características físico-químicas dos óleos lubrificantes podem afetar o desempenho do motor de combustão interna, em especial a quantidade de combustível consumido. As emissões, por sua vez, podem ser afetadas tanto pelo combustível quanto pelo óleo lubrificante. A seguir são descritas as revisões dos trabalhos que norteiam estas afirmações.

Manni *et al* (1995) estudaram o efeito das características físicas dos óleos lubrificantes em relação às emissões, à economia de combustível e ao consumo de óleo de um motor a diesel. O resultado de seus testes mostrou o importante papel da viscosidade do óleo na economia de combustível: uma redução significativa foi percebida no trecho urbano com óleos de baixa viscosidade. Essa redução acarretou em uma correspondente redução nas emissões de dióxido de carbono.

Inoue *et al* (1995) desenvolveram um banco de provas para avaliar a economia de combustível proporcionada pelo uso de óleos lubrificantes. Os autores verificaram que o uso de óleos de baixa viscosidade foi eficaz no aumento da economia de combustível. A adição de ditiocarbamato de molibdênio contribuiu para a redução do consumo a altas temperaturas. A combinação de óleos de baixa viscosidade (SAE 5W-20) com a adição de ditiocarbamato de molibdênio em um motor operando a 1500 rev/min e 37,2 N.m de torque resultou em uma eficiência energética 2,7% maior do que a conseguida com o uso de um lubrificante convencional (SAE 10W-30). Além disso, foi mostrado que uma variação de até 10% da velocidade, da temperatura do óleo e do líquido de arrefecimento não afetou significativamente o consumo específico de combustível (SFC). Entretanto, uma variação de apenas 5% no torque resultou em uma mudança de 4% no SFC. Por esse motivo, os autores recomendam que o torque seja rigorosamente controlado nas medições de SFC.

No experimento de Gonsel *et al* (1996), os lubrificantes formulados com básicos do grupo III não apresentaram uma economia de combustível maior do que os lubrificantes formulados com básicos do grupo I. Entretanto, como os próprios autores mencionam, outros pesquisadores encontraram resultados diferentes. Segundo os autores, essa divergência de resultados enfatiza o fato de que a formulação do óleo lubrificante deve ser cuidadosamente balanceada quando se deseja aumentar a economia de combustível. Ainda de acordo com Gonsel *et al* (1996), o melhorador de índice de viscosidade pode influenciar o atrito devido à formação de um filme viscoso na superfície, facilitando a transição do regime de lubrificação limítrofe para o elastohidrodinâmico.

Devlin *et al* (1998) mediram a influência das propriedades físicas dos óleos lubrificantes na economia de combustível de veículos equipados com motores de produção. A redução da viscosidade *High Temperature High Shear* (HTHS), do coeficiente de atrito limítrofe e do coeficiente de pressão-viscosidade resultou na redução do consumo de combustível. O primeiro fator teve um maior impacto no limite urbano, e os demais fatores impactaram nas regiões extra-urbanas.

No trabalho de Tseregounis *et al* (1998), oito óleos lubrificantes foram testados em quatro veículos de prova para quantificar os efeitos da viscosidade do óleo lubrificante e do aditivo modificador de atrito na economia de combustível de motores a gasolina. Os testes foram conduzidos segundo o *U.S. 1975 Federal Test Procedure* (FTP-75), que simula um ciclo de direção urbano e extra-urbano. Em três motores (2,3, 3,1 e 3,8 litros de volume deslocado) observou-se uma maior economia de combustível com a redução da viscosidade do óleo. Esse efeito foi mais pronunciado no trecho dentro da cidade, quando o motor opera a temperaturas mais baixas devido à partida a frio. O motor de 5,7 litros, equipado com componentes sensíveis a lubrificação limítrofe, não apresentou significativa dependência da viscosidade do óleo. Todos os motores responderam positivamente aos aditivos modificadores de atrito em relação à economia de combustível. Os resultados mais representativos ocorreram no percurso fora da cidade. A atuação dos modificadores de atrito foi mais efetiva quando os motores operavam a altas temperaturas.

Taylor e Coy (2000) escreveram sobre o papel que os lubrificantes desempenham na redução do consumo de combustível dos veículos. O documento analisa os fatores do lubrificante que afetam o consumo de combustível, além das questões relacionadas com a durabilidade do motor *versus* lubrificantes de baixa viscosidade. A maior parte do trabalho aborda a economia de combustível em veículos a gasolina, mas também há considerações sobre veículos a diesel.

Fotheringham *et al* (2002) avaliaram as emissões e a economia de combustível proporcionada por óleos SAE 5W-30 em caminhões a diesel com motores de 12 litros, transitando conforme o *European Transient Cycle* (ETC), em condições de partida a frio e a quente. Os lubrificantes SAE 5W-30, formulados com polialfaolefinas (PAO), básicos minerais de índices de viscosidade muito altos e o mesmo pacote de aditivo, foram comparados a óleos SAE 15W-40 formulados com óleos básicos minerais comuns. Os resultados comparam o desempenho dos óleos nos trechos urbano, rural e estrada do ciclo padrão de ensaio ETC. As formulações contendo PAO apresentaram uma redução significativa na emissão de particulados em relação às formulações com óleos minerais

comuns e de alto índice de viscosidade. Em comparação com os óleos SAE 15W-40, os SAE 5W-30 demonstraram uma economia de combustível média de 2%.

An *et al* (2002) examinaram aplicações de tecnologias otimizadas julgadas economicamente viáveis para a redução do consumo de combustível. O trabalho avalia o potencial técnico, os custos e benefícios do aumento da economia de combustível em caminhões de serviço leve nos próximos 5 a 10 anos nos EUA. Os autores identificaram caminhos tecnológicos para melhorar significativamente a economia média de combustível da frota para 11,5 km/L ou mais. Suas análises também mostram que a economia de combustível pode ser ainda maior se tecnologias mais avançadas forem adotadas. Esses resultados são importantes para o controle da demanda de petróleo e do efeito estufa. Em todos os casos, os benefícios podem ser atingidos com um aumento mínimo no preço e mantendo-se a segurança e desempenho do veículo.

Tseregounis e McMillan (2002) usaram o *Federal Test Procedure* (FTP) da *Environmental Protection Agency* (EPA) para medir a taxa de deterioração da economia de combustível em dois veículos equipados com motores de 3,1 litros e 6 válvulas. Dois óleos lubrificantes de motor foram testados: um óleo SAE 5W-20, com aditivo modificador de atrito a base de molibdênio e, um óleo SAE 5W-30, com um pacote de aditivos detergente e dispersante balanceado e otimizado, além da adição de um modificador de atrito orgânico. Os óleos e os motores foram envelhecidos por mais de 13 000 km (simulando um trajeto dentro e fora da cidade), e as características de economia de combustível de cada par óleo-veículo foram avaliadas segundo o FTP a cada 1600 km. Ambos os óleos apresentaram uma baixa taxa de deterioração da economia de combustível com o acúmulo de quilometragem. A análise dos óleos usados indicou que, após o acúmulo de 13 700 a 14 300 km, os mesmos ainda não haviam atingido um significativo nível de oxidação, não tendo alcançado o fim de suas vidas úteis. A falta de oxidação representativa e o espessamento do óleo usado devem-se em boa parte à baixa taxa de deterioração da economia de combustível. Segundo os autores, isso também é um indicativo da avançada química dos óleos lubrificantes utilizados.

Comfort (2003) fez uma revisão da literatura sobre a caracterização do atrito em motores diesel. O trabalho também teve como objetivo analisar cada sistema mecânico do motor, destacando alguns dos fenômenos chaves na geração do atrito. O autor acrescenta ainda que o conhecimento das fontes e regimes de lubrificação é importante não apenas para o fabricante do motor e o formulador do lubrificante, mas também para o órgão que define a especificação do óleo, procurando otimizar a eficiência energética do veículo.

A discrepância entre o consumo de combustível informado na etiqueta dos veículos novos e aquele realmente atingido pelos consumidores vem atraindo cada vez mais atenção. A EPA não modifica o seu procedimento de rotulagem desde 1985, entretanto, é muito provável que a forma de dirigir nos Estados Unidos tenha mudado desde então. Em seu artigo, Rykowski *et al* (2005) enfatizaram a possível adição de informações sobre o consumo de combustível na etiqueta dos veículos, considerando um estilo de direção mais agressivo. Nesse trabalho, um modelo do consumo de combustível é aplicado aos dados obtidos dos ciclos FTP, *High Fuel Economy Test* (HFET) e US06, em 2001. São atribuídos pesos a esses três ciclos de maneira a melhor representarem a forma de direção de cada veículo.

Avançados tratamentos de superfície têm sido desenvolvidos como uma estratégia para reduzir o atrito entre superfícies em movimento relativo. Testes de laboratório mostraram que alguns destes tratamentos podem resultar na redução do atrito limítrofe. Embora existam muitas aplicações para esses tipos de tratamentos, a possibilidade de reduzir o atrito em motores de combustão interna, devido à chance de aumentar a economia de combustível desperta grande interesse. Fox (2005) utilizou simuladores para estimar a melhoria da economia de combustível utilizando tais tratamentos em motores similares aos usados em caminhões pesados. Os resultados mostraram que se pode atingir um menor consumo de combustível, combinando-se a aplicação de um tratamento de superfície com a redução da viscosidade do óleo lubrificante. Entretanto, o autor ressalta que, para que a aplicação de lubrificantes de baixa viscosidade seja viável, é necessário um tratamento superficial para aumentar a resistência ao desgaste na mesma proporção do aumento da severidade do contato metal-metal.

Murtonen e Sutton (2005) investigaram os efeitos dos lubrificantes automotivos na economia de combustível e na emissão dos gases de exaustão. Sete lubrificantes diferentes foram testados em um motor de um ônibus de 9,6 litros, representando a tecnologia Euro II. A diferença média do consumo de combustível proporcionada pelo melhor e pior óleo foi de 1,6%. Observou-se uma clara relação entre a viscosidade do óleo lubrificante e o consumo de combustível. A diferença nas emissões de hidrocarbonetos e material particulado variou entre 0,6 e 22%.

Austin *et al* (2008) escreveram um artigo questionando as vantagens da adoção dos padrões estabelecidos pelo *California Air Resource Board* (CARB), em 2004, que exige uma redução de aproximadamente 30% na emissão dos gases do efeito estufa proveniente dos veículos de passeio e caminhões leves. O trabalho discute a relação custo benefício dessa regulação sob o ponto de vista do consumidor e os seus efeitos nas mudanças climáticas. Os

autores concluíram que o custo incremental da tecnologia necessária para se alcançar os limites estabelecidos, sem alterar o tamanho do veículo, estilo e desempenho, excede o valor da economia de combustível obtida durante a vida útil do motor, assumindo-se que o preço da gasolina, no futuro, reflita o seu custo marginal de produção. Além disso, as estimativas do impacto das emissões provenientes dos veículos são exageradas pelos modelos climáticos que atribuem aos gases do efeito estufa a maior parte ou todo o aquecimento global atual.

Aizura *et al* (2009) tentaram prever a economia de combustível e, conseqüentemente, o impacto econômico e ambiental no setor de transporte da Malásia decorrentes da implementação de uma especificação mínima para a economia de combustível. Se implementado em 2010, o programa economizaria 15 bilhões de litros de combustível até o final de 2018, além de uma economia de 12 bilhões de dólares e uma redução de 36 milhões de toneladas de dióxido de carbono. Devido aos avanços tecnológicos, com o passar do tempo haverá um decréscimo natural do consumo de combustível com ou sem a implementação de uma especificação. Segundo os autores, em um cenário onde os padrões foram implementados, após oito anos e sem nenhuma revisão, a economia de combustível gerada pelo programa será irrelevante. Os autores concluem que a implementação de um padrão para a economia de combustível é a melhor alternativa para a conservação de energia em um país em desenvolvimento como a Malásia.

3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A interação entre o lubrificante e o motor de combustão interna tem um papel muito importante no controle do consumo de óleo, afetando a economia de combustível e o nível de emissões. Legislações ambientais com limites de emissão de gases poluentes mais restritivas, motores operando sob condições cada vez mais severas e a crescente preocupação com a conservação dos recursos exigem lubrificantes com tecnologias cada vez mais avançadas. São qualidades essenciais aos óleos lubrificantes reduzir o atrito entre as superfícies, proteger contra a corrosão e o desgaste, dissipar o calor, ajudar na vedação e facilitar a remoção de produtos indesejáveis. A redução do consumo de combustível pode ser alcançada a partir do uso de materiais leves, melhoria da combustão e redução do atrito no motor. Dentre as diversas formas de se reduzir o atrito, o uso de óleos conservadores de energia pode apresentar uma melhor relação custo-benefício para a economia de combustível em comparação a mudanças no desenho do motor. Os óleos lubrificantes acabados são formulados a partir da mistura de óleos lubrificantes básicos e aditivos, que serão detalhados a seguir.

3.1 Óleos Lubrificantes Básicos

3.1.1 Óleos Básicos Minerais

Os óleos básicos minerais são derivados do petróleo constituídos de hidrocarbonetos que apresentam de 20 a 70 átomos de carbono. De acordo com a composição do petróleo que os originou, podem ter características parafínicas, naftênicas ou aromáticas. A natureza química do óleo básico é determinante para a sua aplicação. Dessa forma, não há sentido em dizer que um óleo é melhor do que outro, apenas apresenta propriedades que o indica ou não para determinado fim. A Tabela 3.1 compara algumas características dos óleos básicos e, em virtude dessas, exemplos de utilização.

Os óleos parafínicos, por apresentarem um alto índice de viscosidade, são recomendados para serviços sujeitos a grandes variações de temperatura. Os óleos naftênicos, devido ao seu baixo ponto de fluidez, são usados na produção de óleos lubrificantes para equipamentos que operam a baixas temperaturas. Já os óleos aromáticos, em função das suas características, não são indicados como matéria-prima para a fabricação de lubrificantes.

Devido ao grande consumo de óleos automotivos, a maior parte dos lubrificantes produzidos é de base parafínica.

Tabela 3.1: Principais propriedades dos três tipos de óleos básicos (VALLE, 2007).

PROPRIEDADE	PARAFÍNICOS	NAFTÊNICOS	AROMÁTICOS
Índice de viscosidade	Alto	Baixo	Muito baixo
Ponto de fluidez	Alto	Baixo	Baixo
Volatilidade	Baixa	Alta	Muito alta
Poder de solvência	Baixo	Alto	Muito alto
Resíduo de carbono	Médio (granular)	Baixo (pó)	Alto
Exemplos de aplicação	Óleos de motor, turbina e hidráulico	Compressores de refrigeração, fluidos de corte e graxa	Fluido de processo

3.1.2 Óleos Básicos Sintéticos

Os óleos básicos sintéticos são obtidos a partir de derivados do petróleo por processos petroquímicos. Dessa maneira, tem-se um maior controle da estrutura e distribuição do peso molecular, como pode ser observado na Figura 3.1, além de total isenção de compostos sulfurados e nitrogenados. Por serem obtidos a partir de reações químicas, os óleos básicos sintéticos conseguem unir propriedades de baixa volatilidade e baixo ponto de fluidez, devido à ausência de moléculas de baixo e alto peso molecular, respectivamente. Os óleos básicos sintéticos foram concebidos para atender as condições de operação cada vez mais severas. Seu emprego, embora crescente, ainda é limitado em função do preço.

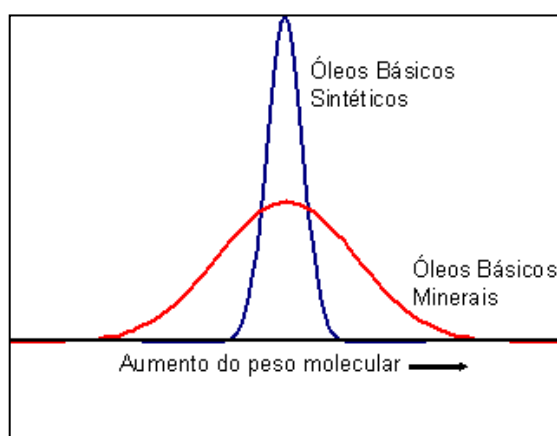


Figura 3.1: Distribuição do peso molecular dos óleos básicos minerais e sintéticos (INFINEUM, 2009a).

3.1.3 *Análise de Óleos Lubrificantes*

A portaria 129/99 da ANP, apresentada no anexo A, especifica os ensaios realizados para o controle de qualidade dos óleos básicos comercializados em todo território nacional, de origem nacional ou importados. Dentre as características dos óleos básicos destacam-se a viscosidade e o índice de viscosidade.

3.1.3.1 Viscosidade

Quando uma força é aplicada na placa superior da Figura 3.2, essa se movimenta com velocidade constante em relação à placa inferior, fixa. Considerando o fato de não haver deslizamento do fluido nas paredes das placas, a força aplicada é equilibrada por uma força cisalhante produzida pela viscosidade do fluido. A razão entre essa força cisalhante e a área da placa é chamada de tensão de cisalhamento (τ), que produz um escoamento viscoso, uma deformação no fluido e um gradiente de velocidade, que é equivalente à taxa de deformação (FERREIRA, 2010).

A viscosidade (η) é definida como a razão entre a tensão de cisalhamento e o grau de cisalhamento (S), sendo, por vezes, denominada viscosidade dinâmica ou absoluta (Eq. 3.1). Sua unidade é expressa no Sistema Internacional (SI) em pascal-segundo (Pa·s), que corresponde exatamente a $1 \text{ (N}\cdot\text{s)/m}^2$ ou $1 \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$ e, no Sistema CGS, em *poise* (P), sendo o seu submúltiplo, o *centipoise* (cP), mais comumente utilizado.

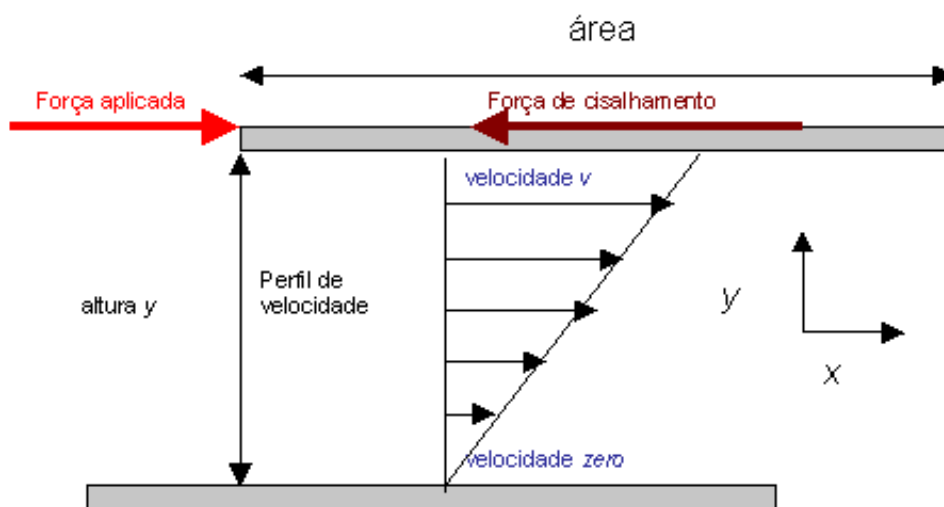


Figura 3.2: Modelo das placas paralelas (FERREIRA, 2009).

$$\eta = \frac{\tau}{S} \quad (3.1)$$

A Eq. 3.2 define a viscosidade cinemática (ν) como a razão entre a viscosidade absoluta (η) e a massa específica (ρ). Sua unidade é reportada em mm^2/s ou centistokes (cSt).

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (3.2)$$

Para produtos de petróleo, verificou-se que a relação entre viscosidade cinemática e temperatura segue a equação de Walther (Eq. 3.3), sendo ν a viscosidade cinemática, em cSt, T a temperatura, em Kelvin, e A e B as constantes específicas para cada óleo. Essa equação é a base dos gráficos de viscosidade versus temperatura, publicados pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM), que são representados por linhas retas em sistemas de coordenadas com escala logarítmica para óleos derivados de petróleo (GUIMARÃES, 2007).

$$\log(\nu + 0,7) = A + B \log T \quad (3.3)$$

Um lubrificante com viscosidade constante, independente do esforço cisalhante ou da taxa de cisalhamento, é chamado de fluido newtoniano. Como exemplo, pode-se citar os óleos básicos (minerais ou sintéticos) e os óleos automotivos aditivados do tipo monograu. Entretanto, quando a viscosidade varia em função da taxa de cisalhamento, o fluido é denominado não-newtoniano. O polímero melhorador do índice de viscosidade converte o óleo básico em um fluido não-newtoniano. Dessa forma, a viscosidade dos óleos multigráu diminui com o aumento da taxa de cisalhamento.

Para se medir a viscosidade de um óleo lubrificante é necessária a utilização de aparelhos específicos chamados viscosímetros, que podem ser classificados em dois tipos principais: capilares e rotativos. Existem ainda outros tipos com princípios diferentes de ação. Alguns exemplos são o viscosímetro saybolt, engler, redwood, hoppler, etc.

Os viscosímetros capilares medem a taxa de escoamento de um determinado volume de fluido através de um pequeno orifício a uma determinada temperatura. Esse escoamento pode se dar por força da gravidade, como no método ASTM D445, utilizado para determinação da viscosidade cinemática a 40°C e a 100°C , ou por aplicação de pressão de gás,

como na determinação da viscosidade a alta temperatura e alto cisalhamento (HTHS - *High Temperature High Shear*), regulada pelo método ASTM D4683.

Os viscosímetros rotativos são normalmente usados para a determinação da viscosidade dinâmica a baixas temperaturas. Utilizam o torque em um eixo rotativo para medir a resistência do fluido ao escoamento. Podem ser citados alguns equipamentos para medir esse tipo de viscosidade, tais como: viscosímetro mini-rotativo (MRV - *Mini Rotary Viscometer*) e viscosímetro Brookfield, porém o mais utilizado hoje nas indústrias é o simulador de partida a frio (CCS - *Cold Cranking Simulator*), que determina a viscosidade aparente em uma faixa de 500 a 200 000 cP, operando em uma faixa de temperatura de 0°C a -40°C. O CCS, regido pelo método ASTM D5293, tem demonstrado uma excelente correlação com os dados práticos em motores e é utilizado pela classificação SAE J300 para determinar os limites de viscosidade dos óleos de motor multiviscosos e também dos lubrificantes que atendem às especificações de baixas temperaturas (BELMIRO, 2007).

A viscosidade é influenciada pelas condições do local da aplicação: velocidade de rotação do motor, pressão exercida pela carga, temperatura, folgas entre as partes móveis e acabamento superficial. Quanto maior a velocidade de rotação do motor e, conseqüentemente, das peças móveis, menor deve ser a viscosidade a fim de facilitar o movimento e evitar a perda de carga. Quanto maior for a carga no motor, maior deve ser a viscosidade para poder suportá-la e, assim, evitar o rompimento da película protetora formada pelo óleo nas peças em movimento. À medida que a temperatura aumenta, o óleo se torna menos viscoso. Para se obter uma lubrificação ideal e evitar o rompimento da película protetora nas peças, é necessário que o óleo consiga ajustar-se às variações de temperatura. Os lubrificantes automotivos multiviscosos possuem essa propriedade. Menores folgas entre os conjuntos móveis exigem um óleo de menor viscosidade, capaz de penetrar nas fendas. As peças com melhor acabamento também exigem óleos com menor viscosidade. O acabamento superficial está muito ligado ao processo de fabricação das peças, fundição, usinagem e tratamento superficial do material.

3.1.3.2 Índice de Viscosidade

Os óleos lubrificantes têm a sua viscosidade reduzida quando aquecidos e aumentada quando resfriados. O índice de viscosidade (IV) é um número empírico, determinado a partir da viscosidade cinemática a 40°C e a 100°C, para medir a variação da viscosidade do óleo em

função da variação da temperatura. A metodologia do teste encontra-se descrita no método ASTM D2270. Quanto mais alto o IV de um óleo lubrificante, menor é a variação da sua viscosidade com a temperatura. Conforme pode ser observado na Figura 3.3, moléculas mais flexíveis apresentam maior IV.

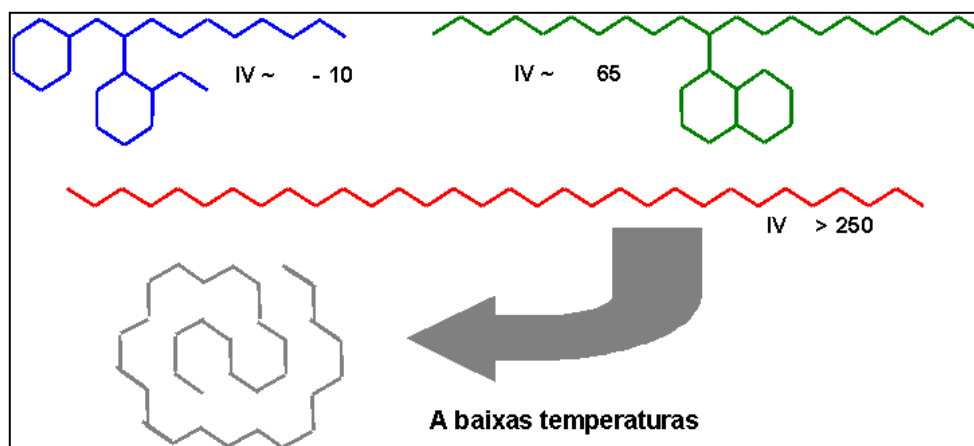


Figura 3.3: Índice de viscosidade (INFINEUM, 2009b).

Apesar de ser de uso corrente, o índice de viscosidade apresenta algumas deficiências, como ser baseado em um padrão arbitrário. A um óleo cru da Pensilvânia foi atribuído o IV de 100 e, ao óleo da Costa do Golfo do México, o IV 0 (zero). Além disso, o IV não é uma propriedade aditiva, que permitiria por simples operações aritméticas a determinação do valor da mistura a partir dos valores dos componentes. Na Tabela 3.2 observa-se que o IV é uma característica utilizada para identificar a natureza de óleos minerais puros.

Tabela 3.2: Índice de viscosidade e a natureza dos óleos básicos (CARRETEIRO e MOURA, 1987).

ÍNDICE DE VISCOSIDADE	NATUREZA DOS ÓLEOS BÁSICOS
IV < 0	Óleos de processamento de borracha, contendo aromáticos e naftênicos
0 < IV < 40	Óleos minerais de base naftênica preponderante
40 < IV < 80	Óleos de base mista ou de base naftênica que tenham recebido tratamento
80 < IV < 100	Óleo de base parafínica preponderante

3.1.4 Classificação dos Óleos Básicos

Para efeitos das Diretrizes de Permutabilidade de Óleos Básicos para Óleos de Motor (API, 2009), os óleos básicos foram divididos em 5 grupos, do I ao V, em função das suas características físicas e químicas (Tab. 3.3 e 3.4). O código de Práticas da *Association Technique de L'Industrie Européenne des Lubrifiants (ATIEL)* acrescenta ainda o grupo VI. Partindo-se do grupo I para o grupo II, observa-se uma melhora na estabilidade do óleo básico. E, em direção ao grupo III, tem-se um aumento do índice de viscosidade.

Tabela 3.3: Classificação dos óleos básicos (ZAMBONI, 2008).

	TEOR DE SATURADOS (% peso)	TEOR DE ENXOFRE (% peso)	ÍNDICE DE VISCOSIDADE
Grupo I	≤ 90	≥ 0,03	80 a 119
Grupo II	> 90	< 0,03	80 a 119
Grupo III	> 90	< 0,03	≥ 120
Grupo IV	PAOs (Polialfaolefinas)		
Grupo V	Todos os óleos básicos não incluídos nos demais grupos (Ex.: Ésteres sintéticos/ Óleos naftênicos)		
Grupo VI	PIOs (Poli-internal Olefinas)		

Tabela 3.4: Métodos analíticos usados para definição dos grupos (ATIEL, 2009).

Propriedade	Método de Análise
Teor de Saturados	ASTM D2007
Teor de Enxofre	ASTM D1552, ASTM D2622, ASTM D3120, ASTM D4927, ASTM D4294
Índice de Viscosidade	ASTM D2270

3.1.5 Rotas de Produção

Atualmente, existem no mundo três tecnologias para a produção de óleos lubrificantes básicos: rota solvente, hidrocraqueamento e GTL (*gas-to-liquid*). A rota solvente consiste nas etapas de destilação atmosférica, a vácuo e desasfaltação; desaromatização, desparafinação e

hidroacabamento (Figura 3.4). A etapa de destilação atmosférica, a vácuo e desasfaltação é utilizada para selecionar as faixas de viscosidade apropriada de cada corte de básico. A etapa de desaromatização é usada para melhorar o índice de viscosidade, através da eliminação dos aromáticos por extração com solvente. A etapa de desparafinação é empregada para melhorar o ponto de fluidez através da retirada de parafinas, parafínicos normais lineares de alto peso molecular. Finalmente, a etapa de hidroacabamento é utilizada para eliminar os compostos de enxofre, oxigênio e nitrogênio, conferindo ao óleo básico melhoria da cor e estabilidade à oxidação. Essa rota é considerada obsoleta, porque é capaz de gerar somente óleos básicos enquadrados no grupo I da classificação API. Além disso, a natureza e origem do petróleo selecionado e a severidade do processo de refino são determinantes para a qualidade e rendimento dos produtos finais.

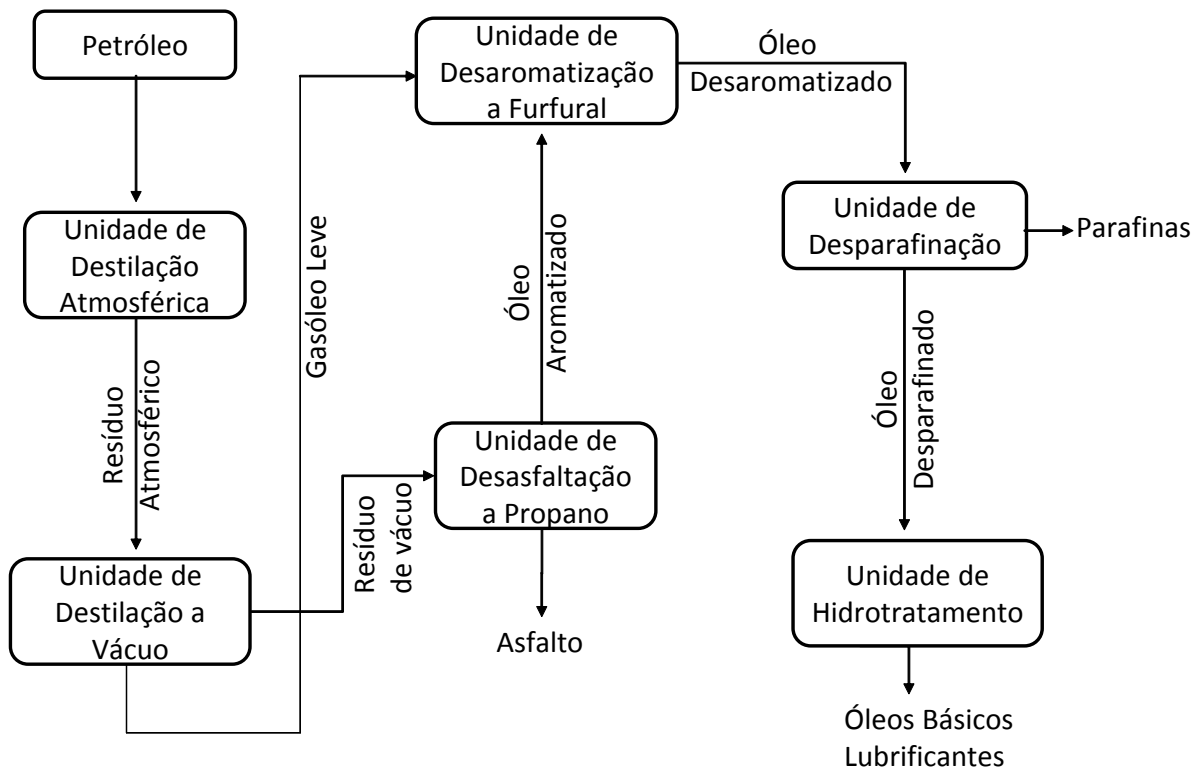


Figura 3.4: Rota solvente para produção de óleos básicos lubrificantes (CERQUEIRA, 2004).

O hidrocraqueamento baseia-se na conversão dos aromáticos em naftênicos, quebra dos naftênicos e fragmentação ou rearranjo das parafinas. O produto gerado possui melhores características de índice de viscosidade e estabilidade à oxidação. Dessa forma, é possível a obtenção de óleos básicos que atendem aos critérios dos grupos II e III. A tecnologia GTL é a mais recente na indústria do petróleo. Resumidamente, a tecnologia GTL consiste em um

processo de transformação química que converte o gás natural em combustíveis líquidos - óleo diesel e gasolina – e em outros derivados, como nafta petroquímica e lubrificante de alto índice de viscosidade.

3.1.6 Óleos Básicos Comercializados no Brasil

Em 2008, o volume de óleos básico circulado no país foi de 1 324 000 m³. 19% dessa quantidade foi proveniente das plantas de re-refino, 32% oriundos de importações e os 53% restantes, suprido pelas refinarias da Petrobras, sendo 71% desse montante pela Reduc, 18% pela Rlam e 11% pela Lubnor (LIMA, 2009).

Os óleos básicos comercializados no Brasil são denominados de acordo com a portaria 129/99 da ANP (Tabela 3.5). Segundo a norma, a primeira letra da abreviação indica se o óleo é Parafínico ou Naftênico e as letras seguintes resumem os nomes. A parte numérica expressa a viscosidade cinemática típica a 40°C. Nos óleos cuja viscosidade a 40°C é maior do que 215 cSt, ou seja, nos óleos PBS30, PBS33, PCL 45 e PCL60, usam-se os valores típicos das viscosidades cinemáticas a 100°C. Para a formulação dos óleos lubrificantes automotivos empregam-se predominantemente os seguintes básicos: Neutro Leve, Neutro Médio e Neutro Pesado.

Tabela 3.5: Denominação dos óleos básicos comercializados no Brasil (ANP, 2009b).

ÓLEO	ABREVIÇÃO
Parafínico Spindle 09	PSP 09
Parafínico Neutro Leve 30	PNL 30
Parafínico Neutro Médio 55	PNM 55
Parafínico Neutro Médio 80	PNM 80
Parafínico Neutro Pesado 95	PNP 95
Parafínico Bright Stock 30	PBS 30
Parafínico Bright Stock 33	PBS 33
Parafínico Turbina Leve 25	PTL 25
Parafínico Turbina Pesado 85	PTP 85
Parafínico Cilindro 45	PCL 45
Parafínico Cilindro 60	PCL 60
Naftênico Hidrogenado 10	NH 10
Naftênico Hidrogenado 20	NH 20
Naftênico Hidrogenado 140	NH 140

3.2 Aditivos

Os aditivos são compostos químicos que, quando adicionados aos óleos básicos, podem reforçar, adicionar ou eliminar algumas de suas características. Dependendo do modo de atuação, os aditivos podem ser divididos em três grupos:

- aditivos que modificam as propriedades físicas do óleos, como o abaixador do ponto de fluidez, o melhorador do índice de viscosidade, etc.;
- aditivos cujo efeito final é de natureza química, como os antioxidantes, agentes de extrema pressão; e
- aditivos que atuam nas interfaces, por exemplo, óleo-água.

Para atender ao objetivo desse trabalho, apenas o melhorador do índice de viscosidade (MIV) é abordado. Esses aditivos são polímeros de alto peso molecular, cuja cadeia principal é flexível. A baixas temperaturas, as interações entre as próprias cadeias dos polímeros são mais intensas que as interações entre o solvente, óleo básico, e as cadeias do polímero. Dessa forma, o polímero adota uma configuração parecida à de um novelo de lã, de volume reduzido, e que exerce pouca influência na viscosidade do óleo. Com o aumento da temperatura, as interações entre as cadeias do polímero decrescem e a estrutura enovelada se desfaz. Esse processo de expansão consegue compensar o decréscimo da viscosidade do óleo, provocado pelo aumento da temperatura.

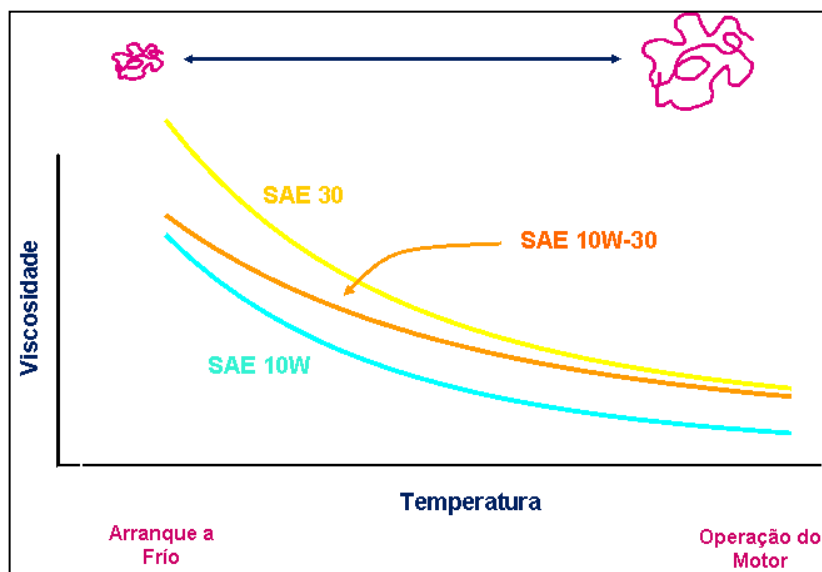


Figura 3.5: Comportamento do polímero Melhorador de Índice de Viscosidade (INFINEUM, 2009b).

Os compostos químicos normalmente usados como MIV podem assim ser divididos: hidrocarbonetos poliméricos, polímeros contendo grupos ésteres e polímeros modificados. No primeiro grupo estão o poliisobuteno, os copolímeros de etileno e propileno e também os copolímeros de butadieno e estireno. Os polimetacrilatos e os poliácrlatos pertencem ao segundo grupo, menos sensível às variações de temperatura do que o primeiro. E, por fim, no último grupo estão os polímeros com propriedades dispersantes devido à introdução de monômeros contendo grupos polares tais como: aminas terciárias, imidazols, pirrolidona, piridinas, etc.

A adição do MIV ao óleo básico reduz a dependência da viscosidade do óleo com a temperatura. Contudo, o MIV torna o óleo um fluido não-Newtoniano, cuja viscosidade varia com a taxa de cisalhamento. O cisalhamento causa a quebra das cadeias do polímero, resultando em uma perda de viscosidade permanente.

3.3 Óleos Lubrificantes

Nos Estados Unidos, três entidades, *Society of Automotive Engineers* (SAE), *American Petroleum Institute* (API) e *American Society for Testing and Materials* (ASTM), se uniram com o objetivo de desenvolver, em função das necessidades da indústria automobilística, novas especificações (Guimarães, 2007).

Cada entidade desempenha um papel específico. A SAE determina as necessidades e publica as especificações, a ASTM define os procedimentos dos ensaios e monitora os ensaios de desempenho e, por fim, a API desenvolve a linguagem para os usuários, educa o consumidor, outorga as licenças dos lubrificantes e monitora o desempenho no mercado.

3.3.1 Classificação API

O API elaborou especificações que definem os níveis de desempenho que os óleos lubrificantes devem atender. Essas especificações funcionam como um guia para a escolha por parte do consumidor. Para os veículos com motores leves a gasolina, álcool, GNV e em alguns países diesel, atualmente estão em vigor os níveis API SJ, SL, SM. O "S" dessa sigla vem da expressão *Service Station*, que significa posto de gasolina em inglês, a letra seguinte define o nível de desempenho do óleo. A evolução, em ordem crescente, da segunda letra está diretamente relacionada com a melhoria da qualidade do óleo lubrificante.

A primeira classificação a surgir, API SA, hoje obsoleta, consistia em um óleo mineral puro, sem qualquer aditivação. Atualmente, para atender a legislações ambientais muito restritas, o óleo trabalha sob severas condições de temperatura e pressão. Para suportar esse ambiente, aditivos de tecnologias cada vez mais avançadas vêm sendo incorporados a formulação dos óleos lubrificantes. Como resultado disso, em outubro de 2010 será implementada a mais nova classificação de óleos lubrificantes para motores do ciclo Otto: API SN.

No caso de motores pesados a diesel, as classificações em vigor são API CF (vigente até 31/12/2010), CH-4, CI-4 e CJ-4. O "C" vem da palavra *Commercial* em inglês, seguida de uma letra que determina a evolução dos óleos, que pode ainda ser acrescida de um número, para indicar o tipo de motor: 2 ou 4 tempos. É interessante destacar que quando um óleo com classificação CH-4 é recomendado, um óleo API CI-4 também pode ser utilizado, porém o contrário não é permitido. Isso ocorre porque o lubrificante API CI-4 é superior ao CH-4. No Brasil, a classificação mínima definida pela ANP é a API CF. As montadoras brasileiras requerem em seus manuais óleos de classificação API CF até CJ-4, dependendo do ano e modelo do veículo.

3.3.2 Classificação SAE

É a classificação mais antiga para lubrificantes automotivos, definindo faixas de viscosidade e não levando em conta os requisitos de desempenho. Os óleos podem ser mono ou multiviscosos conforme a especificação que atendem. Os óleos multiviscosos se distinguem através da letra W de *winter*, que significa inverno em inglês. A viscosidade desses óleos varia menos com a variação de temperatura. Dessa forma, na partida do motor, o óleo frio, conseqüentemente mais viscoso, deve apresentar um limite máximo de viscosidade, para garantir que o lubrificante seja capaz de fluir adequadamente e alcançar todas as partes do motor, evitando, dessa forma, o atrito peça com peça. Já a altas temperaturas, esse mesmo óleo deve possuir uma viscosidade mínima suficiente para uma manter a película protetora entre as partes metálicas. A Tabela 3.6 mostra a especificação definida pela SAE J300.

Tabela 3.6: Classificação de viscosidade SAE para óleos de motor – SAE J300 (Belmiro, 2007).

Graus de Viscosidade SAE para óleos de motores - SAE J300					
GRAU DE VISCOSIDADE SAE	Viscosidades a baixa Temperatura		Viscosidades a alta Temperatura		
	ASTM D 5293 cP max. Temp °C	ASTM D 4684 cP max. Temp °C	ASTM D 445 (cSt a 100° C)		HTHS ASTM D 4683 (cP a 150° C min.)
			Min.	Máx.	
0W	6.200 a -35	60.000 a-40	3,8	--	--
5W	6.600 a -30	60.000 a-35	3,8	--	--
10W	7.000 a -25	60.000 a-30	4,1	--	--
15W	7.000 a -20	60.000 a-25	5,6	--	--
20W	9.500 a -15	60.000 a-20	5,6	--	--
25W	13.000 a-10	60.000 a-15	9,3	--	--
20	--	--	5,6	< 9,3	2,6
30	--	--	9,3	< 12,5	2,9
40	--	--	12,5	< 16,3	2,9 (0W-40, 5W-40 e 10W-40)
40	--	--	12,5	< 16,3	3,7 (15W40, 20W40, 25W-40, 40)
50	--	--	16,3	< 21,9	3,7
60	--	--	21,9	< 26,1	3,7

3.3.3 Cadeia de valor da produção de óleo lubrificante

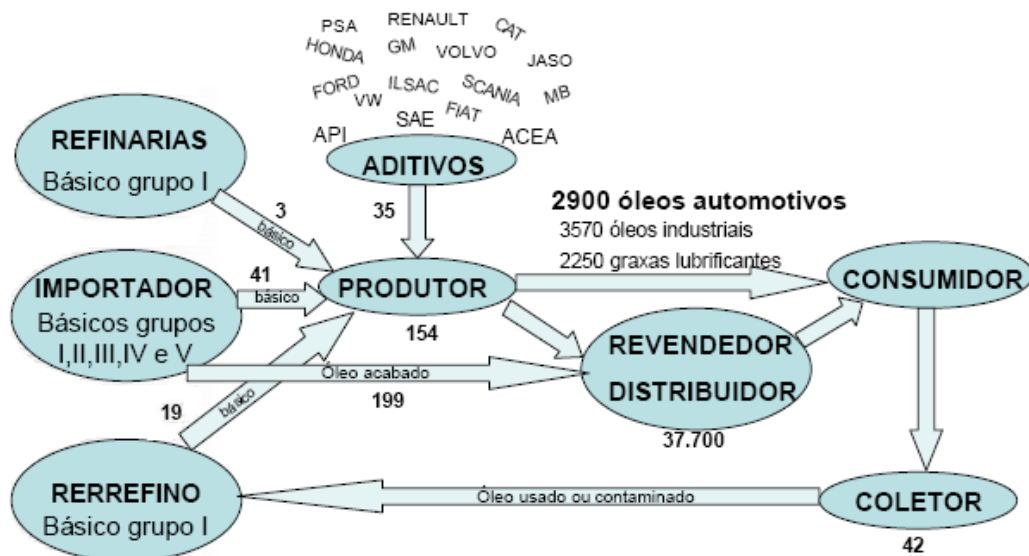


Figura 3.6: Complexidade do mercado brasileiro de óleo lubrificante (BELMIRO, 2009).

A figura 3.6 mostra a relação entre os óleos básicos, os aditivos e o óleo acabado, além do número de agentes envolvidos hoje em toda a operação. Apesar da complexidade do negócio, estima-se que o mercado de óleo lubrificante acabado cresça 2,5% ao ano até 2020 (LIMA, 2009).

3.3.4 Programa de Monitoramento da Qualidade de Lubrificantes

Uma das atribuições da ANP é proteger os interesses dos consumidores quanto à qualidade dos derivados de petróleo comercializados em todo o território brasileiro, conforme o Art. 8º da Lei nº 9.478/1997, a Lei do Petróleo.

O Programa de Monitoramento da Qualidade dos Lubrificantes – PMQL, lançado pela ANP em 2006, tem como objetivo monitorar o mercado de óleos lubrificantes para motores automotivos, com vistas a proteger o consumidor final contra possíveis fraudes, sendo uma importante ferramenta para orientar ações de fiscalização da ANP caso da verificação de não-conformidades.

Avalia-se o Registro, Rótulo e Qualidade dos produtos amostrados.

- a. Com relação ao registro, verifica-se a existência de cadastro junto a ANP tanto da empresa como do produto.
- b. No rótulo é verificado se existem as informações requeridas na legislação pertinente, bem como se estão colocadas de forma clara, não induzindo o consumidor a um falso entendimento, com respeito à origem e às características do produto.
- c. No que tange ao último quesito, avalia-se a qualidade da amostra em consonância com os dados declarados e aprovados na ocasião do registro do produto na ANP.

4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Neste capítulo são apresentados os equipamentos e os procedimentos experimentais adotados neste trabalho. Os experimentos foram divididos basicamente em duas partes: preparo e caracterização das amostras e testes dos óleos lubrificantes em motor de combustão interna. As amostras foram formuladas no laboratório de tecnologia da Infineum Brasil Ltda. Os testes em motor foram realizados no Laboratório de Máquinas Térmicas da COPPE/ UFRJ.

4.1 Formulação das Amostras

Foram formuladas oito amostras de óleos lubrificantes de diferentes viscosidades com básicos dos grupos I, III e IV (Tabela 4.1). Cada amostra continha 5 litros. As matérias-primas – o pacote de aditivos, o melhorador de índice de viscosidade e os óleos básicos – foram pesadas em uma balança digital de capacidade 7500 g e resolução 0,1 g. Devido à diferença de viscosidade entre os componentes e com o objetivo de facilitar a homogeneização, o processo de fabricação foi dividido em duas etapas. Primeiramente, o óleo básico e o MIV foram misturados a 75°C por 30 minutos. Em seguida, adicionou-se o pacote de aditivos e a mistura final foi homogeneizada a 60°C por mais 30 minutos. Utilizou-se uma temperatura mais baixa na segunda etapa para evitar a degradação do ditioalquilfosfato de zinco contido no pacote de aditivos. Durante o processo foram utilizados uma placa de aquecimento e um agitador mecânico da marca Fisatom. O cumprimento do procedimento descrito acima garantiu a estabilidade do óleo.



Figura 4.1: Misturador utilizado para homogeneização das amostras.

Tabela 4.1: Matriz da composição dos óleos lubrificantes testados.

GRAU SAE	MELHORADOR DE ÍND. DE VISCOSIDADE	BÁSICOS	
50	Sem adição de polímero	Grupo I	Mineral
40	Sem adição de polímero	Grupo I	Mineral
15W-40	Adição do polímero X, menos estável ao cisalhamento	Grupo I	Mineral
15W-40	Adição do polímero Y, mais estável ao cisalhamento	Grupo I	Mineral
10W-40	Adição do polímero Y	Grupo I + III	Semi-Sintético
5W-40	Adição do polímero Y	Grupo III	Sintético
5W-30	Adição do polímero Y	Grupo III	Sintético
0W-20	Adição do polímero Y	Grupo IV	Sintético

As amostras SAE 15W-40, SAE 40 e SAE 50 são óleos lubrificantes minerais formulados a partir de óleos básicos do grupo I. As amostras SAE 5W-30, SAE 5W-40 e SAE 0W-20 são lubrificantes sintéticos, sendo a SAE 5W-30 e a SAE 5W-40 formuladas com básicos do grupo III e a SAE 0W-20, com básicos sintéticos do grupo IV. A amostra SAE 10W-40 é um óleo lubrificante semi-sintético formulado a partir da mistura de básicos dos grupos I e III. Os lubrificantes SAE 15W-40 se distinguem pelo fato de que um deles, que doravante identificaremos como SAE 15W-40 X, foi formulado com um polímero melhorador do índice de viscosidade menos estável ao cisalhamento. O polímero X é um copolímero olefínico e o Y, um copolímero estireno dieno hidrogenado. O polímero Y contribui para uma maior capacidade de espessamento. Para preservar o motor, respeitou-se o nível de desempenho do óleo lubrificante exigido pelo fabricante do motor: API CH4. Dessa forma, todas as amostras foram formuladas com a mesma proporção de aditivos, contendo dispersante, detergente e antioxidante.

Em relação à viscosidade (Tabela 4.2), com exceção das amostras SAE 40 e SAE 50 que são monoviscosas, todas as demais são multiviscosas. Foram verificadas as propriedades viscométricas de todas as amostras. Todos os resultados encontravam-se dentro das especificações para óleos lubrificantes automotivos, conforme a tabela SAE J300.

A matriz dos óleos lubrificantes foi desenhada de forma que a maioria dos óleos testados fosse enquadrada na mesma faixa de viscosidade a 100 °C. Dessa maneira, seria

possível diminuir o número de variáveis, permitindo uma melhor avaliação do efeito do MIV e dos básicos sobre a economia de combustível.

Tabela 4.2: Especificação da viscosidade dos óleos lubrificantes testados.

AMOSTRA		ESPECIFICAÇÃO
SAE 50	Monoviscoso	16,3 < Visc. Cin. 100°C (mm ² /s) < 21,9
SAE 40	Monoviscoso	12,5 < Visc. Cin. 100°C (mm ² /s) < 16,3
SAE 15W-40 X	Multiviscoso	Visc. Aparente -20°C < 7000 mPa.s
		12,5 < Visc. Cin. 100°C (mm ² /s) < 16,3
SAE 15W-40 Y	Multiviscoso	Visc. Aparente -20 °C < 7000 mPa.s
		12,5 < Visc. Cin. 100°C (mm ² /s) < 16,3
SAE 10W-40	Multiviscoso	Visc. Aparente -25 °C < 7000 mPa.s
		12,5 < Visc. Cin. 100 °C (mm ² /s) < 16,3
SAE 5W-40	Multiviscoso	Visc. Aparente -30°C < 6600 mPa.s
		12,5 < Visc. Cin. 100°C (mm ² /s) < 16,3
SAE 5W-30	Multiviscoso	Visc. Aparente -30°C < 6600 mPa.s
		9,3 < Visc. Cin. 100°C (mm ² /s) < 12,5
SAE 0W-20	Multiviscoso	Visc. Aparente -35 °C < 6200 mPa.s
		5,6 < Visc. Cin. 100 °C (mm ² /s) < 9,3

4.2 Aparato Experimental

4.2.1 Especificação do Motor

A bancada de testes era composta por um motor diesel monocilíndrico, fabricado pela Agrale, modelo M95W, de quatro tempos e injeção direta de combustível acoplado a um dinamômetro eletro-magnético. O combustível utilizado foi o óleo diesel metropolitano comercial S500 (500 ppm de enxofre) contendo 4% de biodiesel (B4). Verificou-se o consumo de óleo diesel com óleos lubrificantes de diferentes viscosidades sob três condições de torque e rotação: 1500 rev/min e 10 N.m; 2000 rev/min e 20 N.m e 2500 rev/min e 30 N.m. As Figuras 4.2 e 4.3 mostram a vista frontal e a vista lateral do motor e do dinamômetro nos quais os testes foram executados. A Tabela 4.3 mostra as especificações do motor utilizado nos testes.



Figura 4.2: Vista lateral do motor e dinamômetro.



Figura 4.3: Vista frontal do motor.

Tabela 4.3: Especificações do motor utilizado nos experimentos.

PARÂMETRO	VALOR
Diâmetro do cilindro x curso do pistão [m × m]	0,095 × 0,105
Cilindrada [m ³]	7,44 × 10 ⁻⁴
Razão de compressão	21:1
Potência [kW]*	12,85 (3000 rev/min) 11,40 (2600 rev/min)
Torque máximo [N.m]*	42 (2400 rev/min)
Consumo específico de combustível [kg/(kW.h)]	0,247 a 3000 rev/min

4.2.2 Sistema de Aquisição de Dados do Motor

O sistema de aquisição de dados e controle de dinamômetro fabricado pela Logs Sistemas Eletrônicos Ltda. possibilitou a gravação dos dados coletados e a construção das curvas de rotação, torque e potência do motor em tempo real. Tais parâmetros eram mantidos constantes durante os testes. Caso o operador verificasse alguma oscilação nos valores, era possível efetuar a correção ajustando a corrente e a tensão elétrica enviada ao dinamômetro. A tela principal do “software” DinMon, versão 3, é ilustrada na Fig. 4.4 abaixo. Sensores instalados no cárter, na saída do sistema de arrefecimento e na exaustão do motor enviavam continuamente para o “software” a pressão do óleo e temperaturas da água de arrefecimento, do gás de exaustão e do óleo.

* Potência e torque determinados de acordo com a norma NBR ISO 1585 (ABNT, 1995). A potência diminui aproximadamente 1% a cada 100 m a partir de 300 m de altitude e aproximadamente 2% para cada 5°C acima de 20° C de temperatura.



Figura 4.4: Interface do “software” usado para aquisição de dados.

4.2.3 Aparato para Medição do Consumo de Combustível

A Figura 4.5 mostra o mecanismo desenvolvido para a medição do combustível consumido pelo motor. A massa de óleo diesel era pesada em uma balança digital de capacidade 4000 g e resolução de 0,1 g. O óleo diesel era injetado no motor através da mangueira localizada no fundo do recipiente. O combustível excedente retornava pela mangueira superior. Para mitigar possíveis oscilações na balança, causadas pela turbulência do escoamento do fluido, a mangueira de retorno foi mergulhada no óleo diesel no interior do recipiente. O “software” para aquisição dos dados de consumo de combustível possibilitou o registro contínuo da variação da massa de óleo diesel no recipiente sobre a balança, conforme pode ser observado na Fig. 4.6.



Figura 4.5: Mecanismo para medição do consumo de óleo diesel.

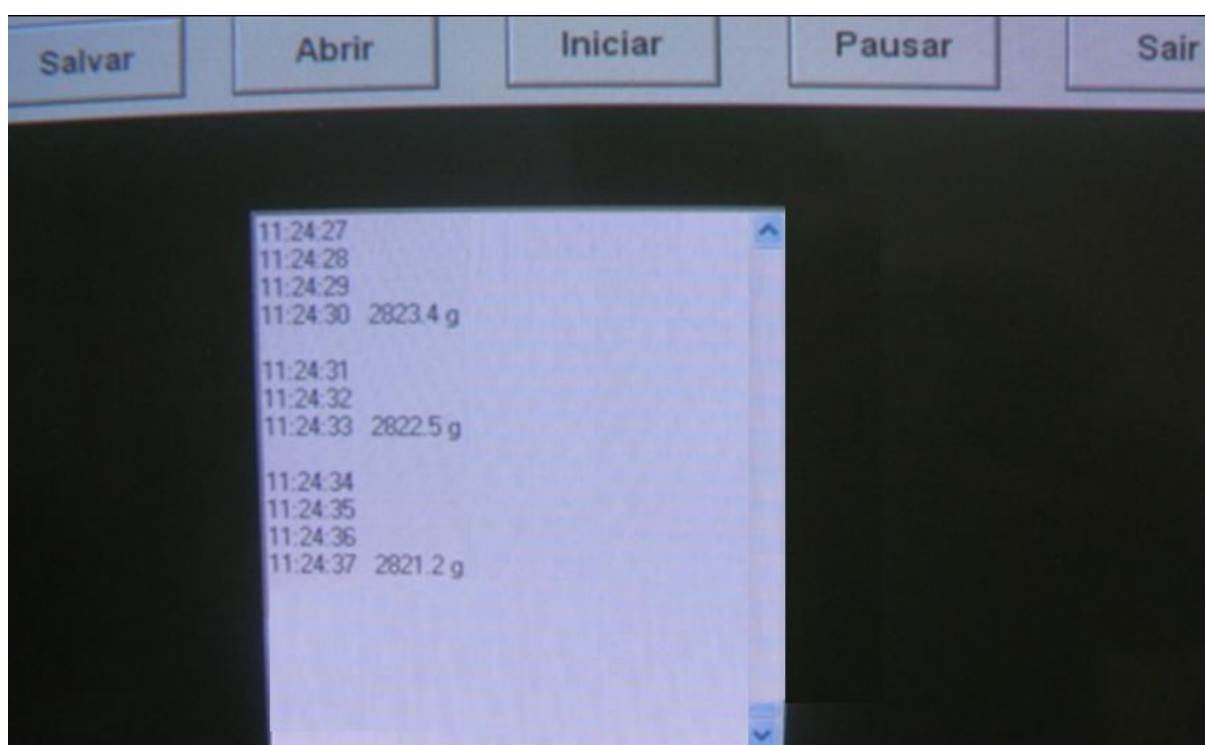


Figura 4.6: “Software” de monitoramento contínuo da massa de óleo diesel sobre a balança.

4.3 Metodologia

4.3.1 Medição do Consumo de Combustível

No início de cada teste, as condições ambientes da sala – temperatura, umidade relativa e pressão barométrica – eram registradas para obtenção do fator de correção padrão SAE a ser aplicado na potência lida. Antes da primeira réplica de cada amostra, adicionava-se 1,5 litros do óleo lubrificante a ser testado para limpar o circuito de lubrificação do motor. O motor era posto em operação durante aproximadamente 5 minutos e, em seguida, a quantidade utilizada para remoção de resíduos de óleo lubrificante do teste anterior era drenada para um recipiente de descarte. O objetivo desse procedimento era evitar possíveis contaminações com o óleo testado anteriormente. Em seguida, adicionava-se 2,5 litros do óleo para iniciar o teste.

Após a partida no motor aguardavam-se alguns minutos até que a temperatura do óleo no cárter atingisse 60°C. O motor era acelerado a uma rotação um pouco maior do que a estipulada para o teste e, então, através de um sistema elétrico aumentava-se a demanda de corrente elétrica do dinamômetro, aumentando-se o torque e, conseqüentemente, diminuindo-se a rotação do motor. A tensão e a corrente elétrica eram ajustadas até que se atingisse a rotação e o torque definidos para o teste. Após a estabilização dos parâmetros, registravam-se as condições iniciais de teste: temperatura e pressão do óleo no cárter, temperatura da água na saída e temperatura dos gases na exaustão. Só então, dava-se início ao teste propriamente dito. A massa de combustível na balança era registrada a cada 30 segundos. O intervalo de teste era de, pelo menos, 5 minutos. O consumo específico foi calculado pela massa de diesel consumida em um intervalo de tempo dividido pela potência corrigida. O resultado foi expresso em g/(kW.h)

Ao finalizar a coleta de dados na primeira condição de torque e rotação (1500 rev/min e 10 N.m), passava-se para a segunda (2000 rev/min e 20 N.m) e, posteriormente, para a terceira (2500 rev/min e 30 N.m). Dessa forma, completava-se o teste da primeira amostra. Todos os óleos lubrificantes utilizados foram testados em triplicata e em uma ordem aleatória. Após três amostras do mesmo óleo lubrificante terem sido testadas nas três condições de torque e rotação, os circuitos de lubrificação eram drenados e o óleo residual era acondicionado. Ao se iniciar o teste de uma nova amostra, todo o procedimento descrito era repetido.

Para garantir a reprodutibilidade do teste, definiu-se uma amostra como referência para ser testada no intervalo entre as diferentes amostras. Em virtude da quantidade disponível

já existente, optou-se por utilizar um óleo SAE 30, lubrificante monoviscoso, que não possui a interferência do melhorador de índice de viscosidade e de baixa viscosidade, o que facilita o seu manuseio.

4.3.2 Medição da Potência de atrito

Para medir a potência de atrito utilizou-se um método conhecido como “Método da Linha de Willans”. Trata-se de um procedimento simples e eficaz, mas que somente pode ser empregado em motores de ignição por compressão. De acordo com o método, ensaiou-se o motor a rotação constante, variando-se apenas a carga no eixo, e anotando-se o respectivo consumo de combustível. Nesta variação de carga anotou-se também o consumo com carga zero, ou seja, a quantidade mínima de combustível necessária para manter o motor em operação (MOREIRA, 2000 apud SOUZA JR, 2009).

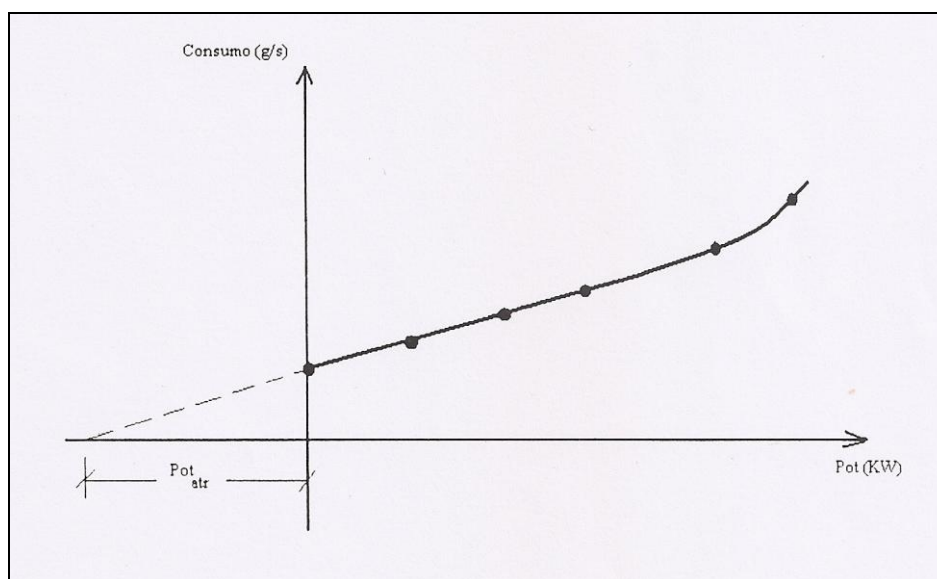


Figura 4.7: Linha de Willans (SOUZA JR, 2009).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo são apresentados os resultados e a análise do desempenho dos óleos lubrificantes formulados com relação ao consumo de combustível.

5.1 Viscosidade Cinemática

Todas as amostras foram submetidas a testes de viscosidade. As análises de viscosidade cinemática a 40 e 100 °C foram realizadas de acordo com o método ASTM D445. Os resultados apresentados na tabela A.1 (anexo A) encontram-se dentro das especificações. Na curva de viscosidade versus temperatura, Figura 5.1, pôde-se comprovar a redução da viscosidade dos óleos com o aumento da temperatura. Observou-se também que as amostras SAE 50 e SAE 40, monoviscosas, apresentaram a maior variação de viscosidade com a variação de temperatura.

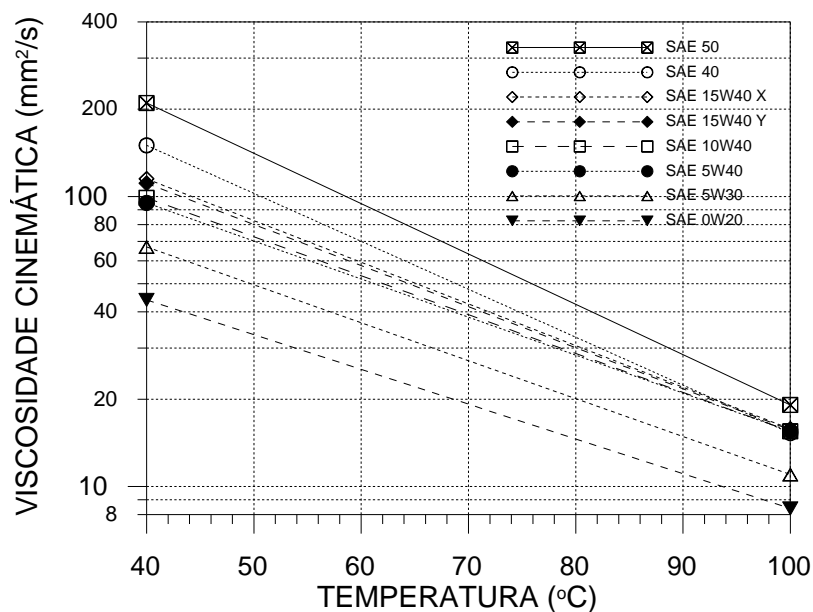


Figura 5.1: Curva de viscosidade versus temperatura das amostras formuladas.

5.2 Consumo Específico de Combustível

Com exceção da amostra SAE 0W-20, que provocou ruídos no motor devido à sua baixa viscosidade, todas as amostras foram testadas três vezes. As médias foram calculadas para as três condições de rotação e torque descritas no Cap. 4, e são apresentados no Apêndice A. Os valores fora dos limites de três desvios-padrão foram considerados dúbios e, portanto, não foram levados em conta para o cálculo do valor médio.

As Figs 5.2 a 5.4 ilustram o consumo específico das amostras para os valores de 1500 rev/min e 10 N.m, 2000 rev/min e 20 N.m e 2500 rev/min e 30 N.m. Cabe destacar que para todas as condições, as amostras monoviscosas foram as que apresentaram o maior consumo específico.

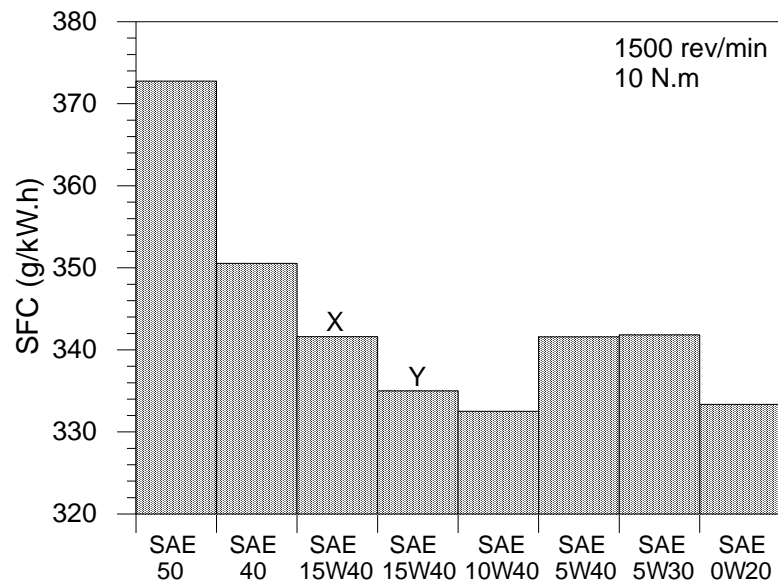


Figura 5.2: Consumo específico em 1500 rev/min e 10 N.m.

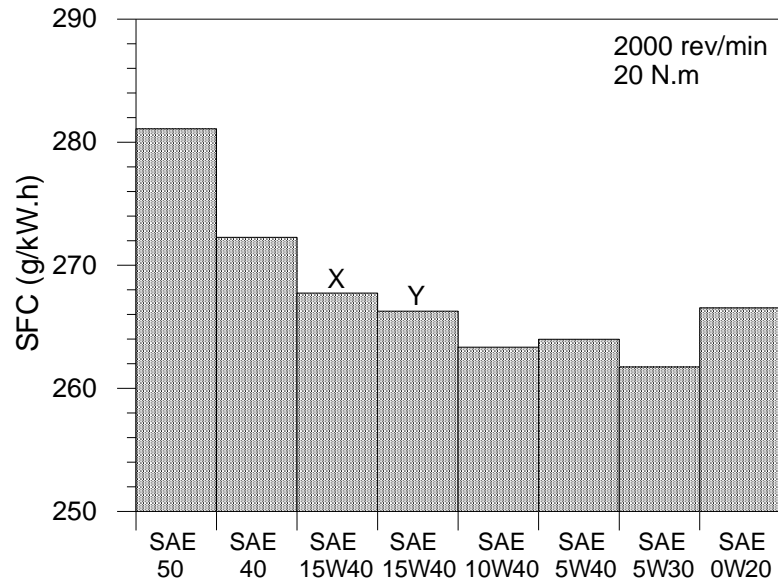


Figura 5.3: Consumo específico em 2000 rev/min e 20 N.m.

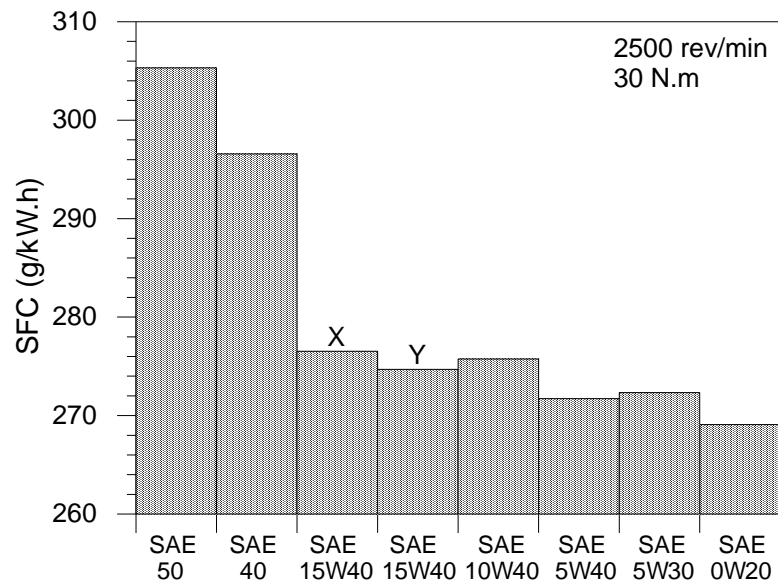


Figura 5.4: Consumo específico em 2500 rev/min e 30 N.m.

A viscosidade HTHS é a mais relevante para esse trabalho, pois, por ser medida a alta temperatura e alto cisalhamento, é a que melhor simula as condições de operação das partes onde há maior atrito no motor. Nesse teste, o óleo é aquecido e submetido a uma alta pressão para penetrar pequenos espaços, se assemelhando a uma condição severa de trabalho do motor.

A figura 5.5 evidencia a relação entre o consumo de combustível e a viscosidade HTHS do óleo lubrificante. O coeficiente de correlação R para estes dados é 0,92, o que indica que essas variáveis estão estritamente relacionadas. O consumo de combustível reduz à

medida que a viscosidade HTHS diminui, concordando com os resultados encontrados por Devlin *et al* (1998). Segundo eles, a redução da viscosidade HTHS, do coeficiente de atrito limítrofe e do coeficiente de pressão-viscosidade resultam na redução do consumo de combustível.

Há uma especificação que define o limite mínimo para a viscosidade dinâmica HTHS. Abaixo desse valor, a película de óleo que protege as peças móveis do motor pode se romper. O ruído ouvido no motor durante o teste da amostra SAE 0W-20 indica que tal situação pode ter ocorrido, por esse motivo, optou-se por descartar o resultado dessa amostra no gráfico.

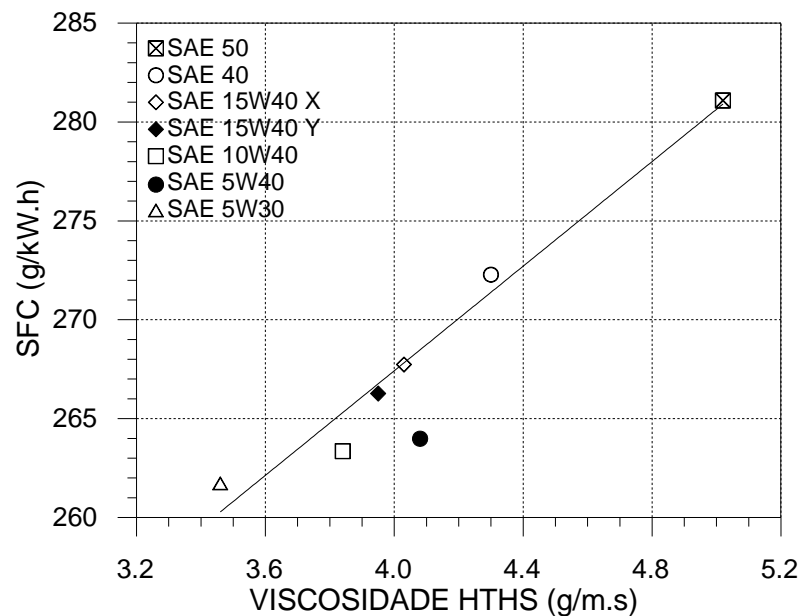


Figura 5.5: Relação entre consumo específico e a viscosidade HTHS das amostras.

A Fig. 5.6 reúne os resultados de consumo específico de combustível para todas as frações de torque estudadas. Verificou-se que o menor consumo de combustível para todas as amostras de lubrificantes ocorreu nas condições de 2000 rev/min e 20 N.m. Foi observado que os resultados estavam concentrados em duas famílias distintas, que serão identificadas doravante como famílias 1 e 2. Para comprovar essa hipótese, calculou-se o consumo específico médio e a variância populacional das duas famílias para cada condição de torque e rotação. Dessa forma, pôde-se constatar que se trata de dois conjuntos distintos, uma vez que os seus intervalos de confiança não se sobrepunham. A família 1, formada pelas amostras SAE 40 e SAE 50, apresenta um consumo de combustível maior que a família 2, composta pelas demais amostras de lubrificantes. As figuras 5.7 e 5.8 ilustram a relação entre o

consumo específico e o torque para cada família. Dentro da mesma família, estatisticamente falando, os resultados não apresentam diferenças significativas.

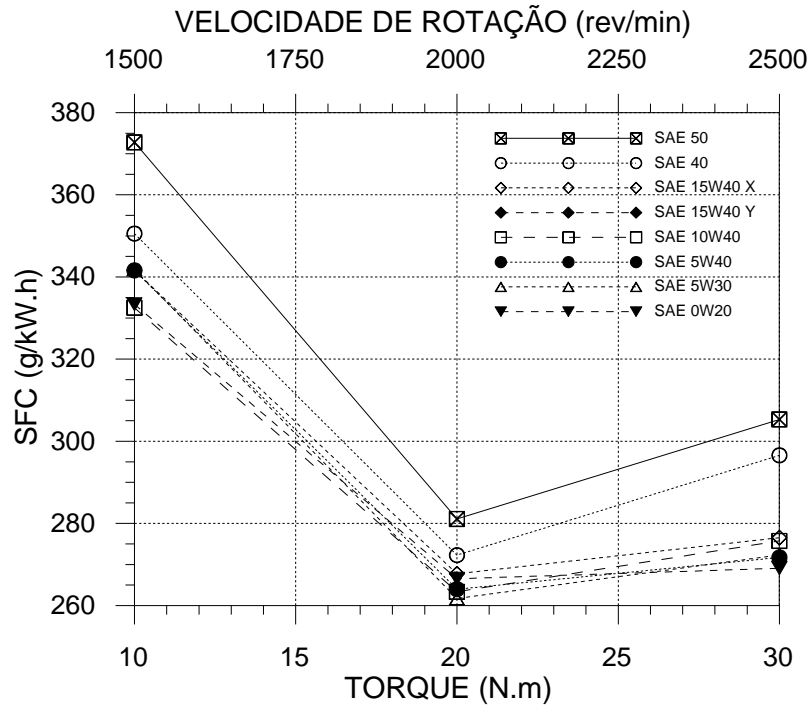


Figura 5.6: Consumo específico das amostras de óleo lubrificante.

As famílias apresentam uma importante característica viscométrica que as distingue: as amostras SAE 40 e SAE 50, pertencentes a família 1 são monoviscosas, enquanto as demais, pertencentes a família 2, são multiviscosas, ou seja, possuem em sua formulação o aditivo melhorador de índice de viscosidade. Esse resultado concorda com a observação de Gonsel *et al* (1996), que afirmaram que o melhorador de índice de viscosidade pode influenciar o atrito devido à formação de um filme viscoso na superfície, facilitando a transição do regime de lubrificação limítrofe para o elastohidrodinâmico.

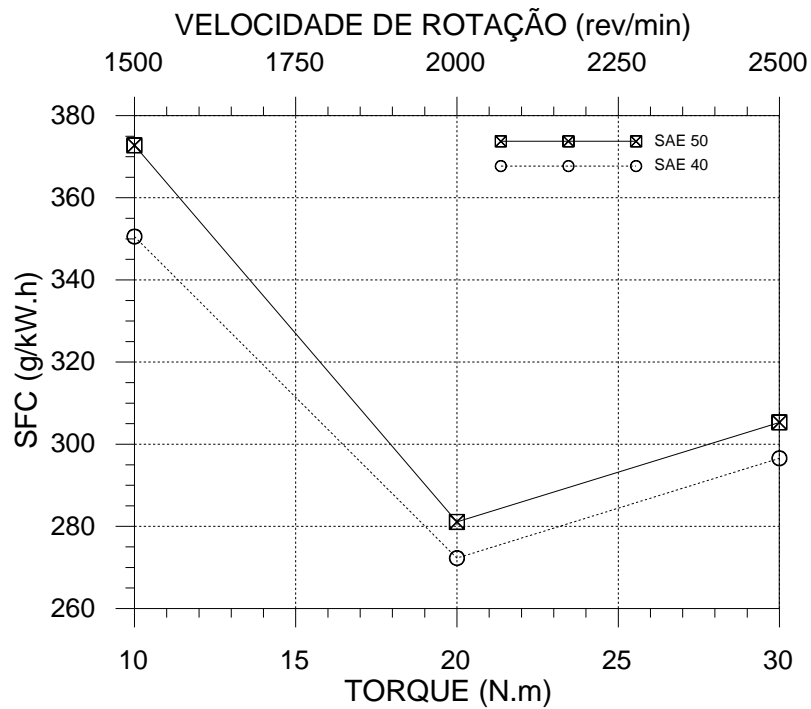


Figura 5.7: Consumo específico das amostras de óleo monoviscosas.

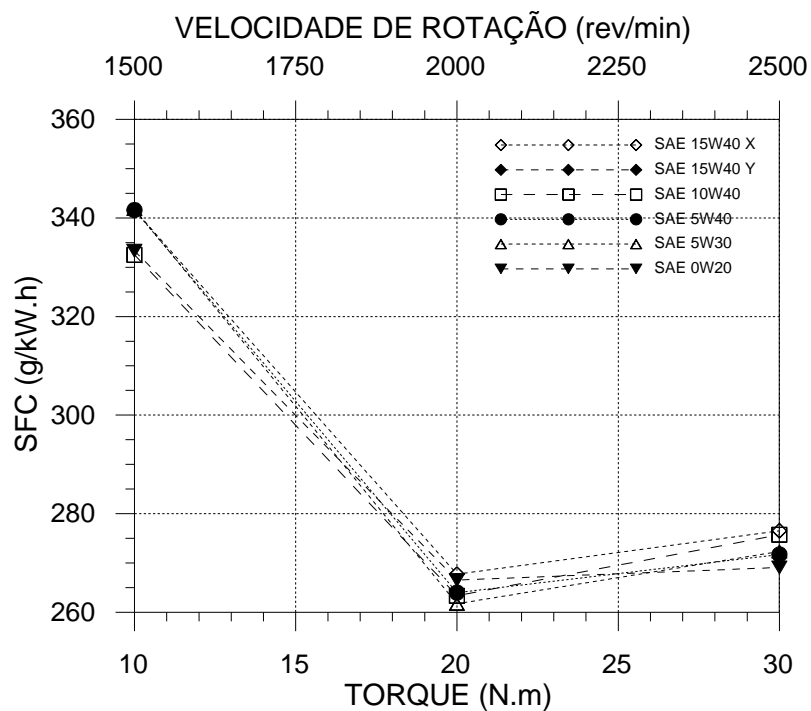


Figura 5.8: Consumo específico das amostras de óleo multiviscosas.

Após comprovar qualitativamente a diferença no consumo de combustível entre as amostras mono e multiviscosas, buscou-se a determinação quantitativa desse valor, comparando-se o consumo específico das amostras em relação à amostra SAE 50 que

apresentou o maior consumo a 2000 rev/min e 20 N.m. A figura 5.9 demonstra essa análise comparativa.

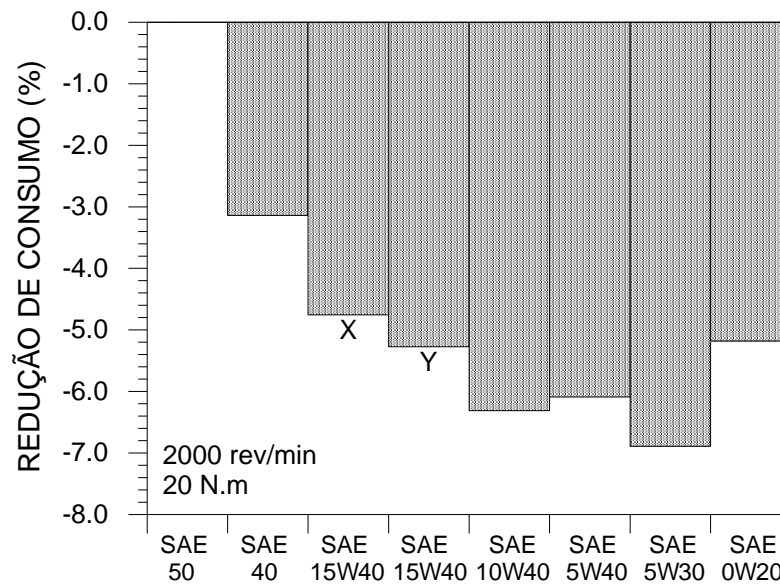


Figura 5.9: Redução do consumo específico em relação a amostra SAE 50.

5.3 Potência de atrito

Para verificar a influência do óleo lubrificante no trabalho de atrito, selecionou-se uma amostra de cada família, 1 e 2, e aplicou-se o método da linha de Willans. O consumo absoluto de combustível foi analisado com 33, 66 e 99% do torque máximo a 2000 rev/min. A extrapolação da curva define a potência de atrito. A figura 5.10 demonstra os resultados dessa extrapolação para as amostras SAE 50 e SAE 5W-30. Estas amostras foram escolhidas porque apresentarem o maior e menor consumo de combustível.

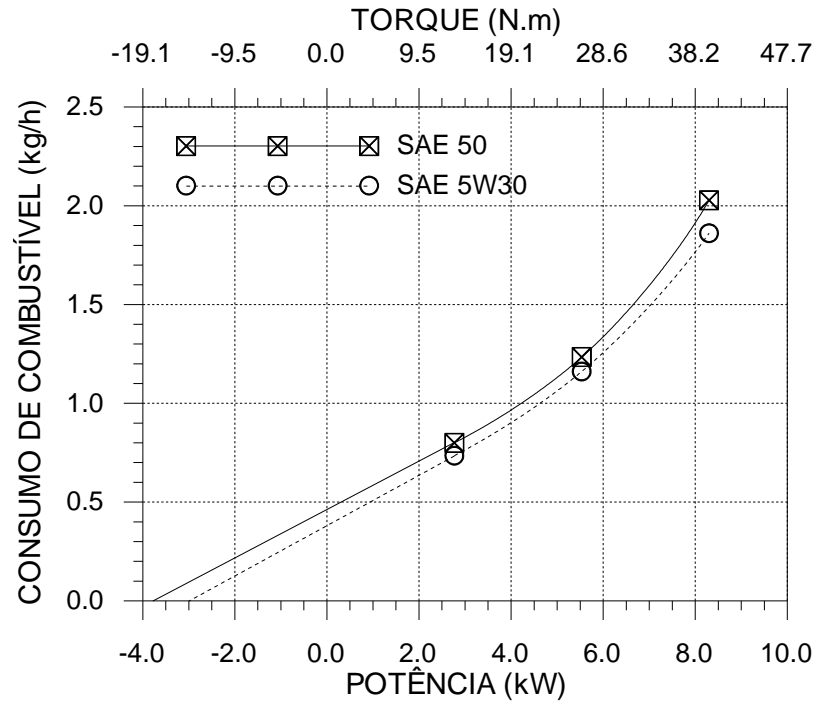


Figura 5.10: Método da linha de Willans para as amostras SAE 50 e SAE 5W-30.

Analisando-se a extrapolação realizada nas curvas obtidas, percebe-se que a amostra SAE 50, que possui maior viscosidade, exige mais energia para vencer o atrito das partes móveis do motor que a amostra SAE 5W-30, consumindo mais combustível para superar o trabalho de atrito.

6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A seguir são sumarizadas as principais conclusões obtidas neste trabalho e fornecidas sugestões para trabalhos futuros.

- As amostras de óleo lubrificante apresentaram maior consumo de combustível quando testadas a 1500 rev/min e 10 N.m, ou seja, a baixa rotação e baixa carga. Nas condições de 2000 rev/min com 20 N.m e 2500 rev/min com 30 N.m os óleos mostraram consumos semelhantes, sendo ligeiramente mais alto nesta última condição.
- Comprovou-se uma relação entre a viscosidade cinemática do óleo lubrificante e a economia de combustível. O consumo de combustível diminui à medida que a viscosidade do óleo lubrificante se reduz. Tal relação é ainda mais notória com a viscosidade HTHS.
- Em todas as condições de rotação e torque testadas, os lubrificantes monoviscosos, que não possuem o aditivo melhorador de índice de viscosidade em sua formulação, apresentaram um consumo de diesel maior que os multiviscosos. Além disso, nas condições testadas, não foi possível detectar diferenças estatisticamente significativas de consumo entre os óleos multiviscosos de diferentes viscosidades. Dessa forma, os resultados de consumo específico puderam ser agrupados em duas grandes famílias, a dos óleos monoviscosos e a dos multiviscosos.
- Entre as amostras com mesmo grau de viscosidade formuladas com diferentes melhoradores de índice de viscosidade, o polímero com maior estabilidade ao cisalhamento apresentou maior economia de combustível em todas as condições de torque e rotação.
- A reprodutibilidade dos resultados da amostra de referência testada entre os testes de cada lubrificante demonstrou que os experimentos foram conduzidos em condições controladas. A pior reprodutibilidade ocorreu na condição de baixa rotação e carga (1500 rev/min e 10 N.m), sem prejuízos à validação dos experimentos, considerando inclusive que motores diesel normalmente operam com cargas altas.

As sugestões para trabalhos futuros são:

- Repetição do experimento adotando-se a norma ABNT NBR 1585 ou ABNT NBR 14486;
- Utilização de modelos distintos de motores, de tamanho e capacidade variada, para generalização dos resultados;
- E, por fim, as medições de emissões de poluentes com cada uma das amostras de óleo lubrificante.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIZURA, A. B.; MAHLIA, T. M. I.; MASJUKI, H. H. **Potential fuel savings and emissions reduction from fuel economy standards implementation for motor-vehicles.** Clean Technologies and Environmental Policy. Março, 2009.

AN, F.; FRIEDMAN, D.; ROSS, M.H. **Near-Term Fuel Economy Potential for Light-Duty Trucks.** Society of Automotive Engineers. Paper No. SAE 2002-01-1900, 2002.

ANP – **Agência Nacional de Petróleo.** Anuário estatístico 2009, Seção 3, Tabela 3.21. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=8240&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&os=&cachebust=1277062686157>>. Acesso em: 5 nov. 2009

API – American Petroleum Institute. **API 1509, Apêndice E,** 2009. Disponível em: <<http://www.api.org/certifications/engineoil/pubs/upload/AppE-REV-07-07-09.pdf>>. Acesso em: 28 de dez. 2009

ATIEL – *Association Technique de L'Industrie Européenne des Lubrifiants.* Código de Práticas, 2009. Disponível em: <http://www.atiel.org/downloads/code_practice/CoP16-final.pdf>. Acesso em: 29 de dez. 2009

AUSTIN, T.C.; CARLSON, T. R.; LYONS, J.M. **The Benefits of Reducing Fuel Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Light-Duty Vehicles.** Society of Automotive Engineers. Paper No. SAE 2008-01-0684,2008.

BELMIRO, P. N. A. Índice de Viscosidade. **Lubes em Foco,** Rio de Janeiro, nº. 04, 2007

_____. Mercado Brasileiro. In: **2º Simpósio de Lubrificantes e Aditivos.** São Paulo, 2009

CARRETEIRO,R.P.; MOURA, C.R.S. **Lubrificantes e Lubrificação,** Editora Técnica Ltda., 2ª.Ed., Rio de Janeiro, 1987.

CERQUEIRA, C. P. **Estudo do Reaproveitamento Energético de Óleo Lubrificante Usado.** Salvador, 2004. Dissertação (Mestrado em Regulação da Indústria de Energia). Universidade Salvador, 2004

COMFORT, A. **An Introduction to Heavy-Duty Diesel Engine Frictional Losses and Lubricant Properties Affecting Fuel Economy – Part I.** Paper No. SAE 2003-01-3225, 2003.

CONPET - Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural. Disponível em: <http://www.conpet.gov.br/projetos/pbeveicular_04.php?segmento=corporativo>. Acesso em: 28 dez. 2009.

DEVLIN, M.T.; WY, L.; MCDONNELL T.F. **Critical oil properties that control fuel economy in general motors vehicles**. SAE Technical Papers. Paper No. SAE 982503, 1998.

FERREIRA, A. **Impacto do preço do diesel no custo total da empresa**. Rio de Janeiro, 2009. Entrevista concedida a Margareth Carvalho nas instalações da Transportadora Pedro Ernesto em agosto de 2009.

FERREIRA, F. **Reologia dos fluidos**. Disponível em: <<http://www.enq.ufsc.br/disci/eqa5415/Reologia%20Apresenta%C3%A7%C3%A3o/reologia%202009.ppt#289,1,RELOGIADOSFLUIDOS>>. Acesso em: 8 de out. 2009.

FOTHERINGHAM, J.; BLEIMSCHEIN, G.; PLOMER, A. **Base Oil Effects on Emissions and Fuel Economy in a Heavy-Duty Vehicle Over the European Transient Cycle (Etc)**. SAE Technical Papers. Paper No. SAE 2002-01-2768, 2002.

FOX, I.E. **Numerical evaluation of the potential for fuel economy improvement due to boundary friction reduction within heavy-duty diesel engines**. J. Tribology International 38, 2005, pp. 265-275

GUIMARÃES, J. **Rerrefino de Óleos Lubrificantes de Motores de Combustão Interna Utilizando o Processo de Ultrafiltração e Adsorção**. Rio de Janeiro, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2006.

GUNSEL, S.; SMEETH, M.; SPIKES, H.A., **The formation of viscous surface films by polymer solutions: Boundary or elastohydrodynamic lubrication?**. Tribol Trans 39 (3) (1996), pp. 720-725.

INFINEUM ADDITIVE SEMINAR, Lubricant basestock presentation, 2009a, New Jersey

_____. Viscosity Modifiers presentation, 2009b, New Jersey

INOUE, K.; TOMINAGA, E.; AKIYAMA, K.; ASHIDA, T. **Effects of Lubricant Composition on Fuel Efficiency in Modern Engines**. SAE Technical Papers. Paper No. SAE 951037, 1995

KENNEDY, S., RAGOMO, M. A., LOHUIS, J. R., AND RICHMAN, W. H., **A Synthetic Diesel Engine Oil with Extended Laboratory Test and Field Performance**. SAE Technical Papers. SAE Paper No. 952553, 1995.

LIMA, F. S.G.. Brazilian Lubricant Market. In: **5th ICIS Pan-American Base Oils & Lubricants Conference**, Nova Iorque, 2009

MANNI, M., GOMMELLINI, C., SABBIONI, G., **Effect of physical characteristics of lubricating oils on emissions, fuel economy and oil consumption in a light duty diesel engine**, SAE Technical Papers. Paper No. SAE 952552, 1995.

MURTONEN, T.T.; SUTTON, M. **New Crankcase Lubricants For Heavy-Duty Diesel Engines: Effect On Fuel Consumption And Exhaust Emissions**. Society of Automotive Engineers. Paper No. SAE 2005-01-3717, 2005.

RYKOWSKI, R.A.; NAM E.K. ; HOFFMAN G. **On-road testing and characterization of fuel economy of light-duty vehicles**. Society of Automotive Engineers. Paper No. SAE 2005-01-0677, 2005.

SOUZA JR., G. C., **Simulação termodinâmica de motores diesel e biodiesel para verificação dos parâmetros de desempenho e emissões**. Rio de Janeiro, 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009

TAYLOR, R. I.; COY, R. C. **Improved fuel efficiency by lubricant design: a review**. Proc. Instn Mech. Engrs, Part J: J. Engineering Tribology, 2000, 214(J1), 1-15.

TSEREGOUNIS S.I.; MCMILLAN, M.L., OLREE, R.M. **Engine oil effects on fuel economy in GM vehicles - separation of viscosity and friction modifier effects**. Society of Automotive Engineers. Paper No. SAE 982502, 1998.

TSEREGOUNIS S.I.; MCMILLAN, M.L. **Engine Oil Aging Effects on Fuel Economy as Measured By the EPA FTP Vehicle Dynamometer Test in a GM Engine**. Society of Automotive Engineers. Paper No. SAE 2002-01-1635, 2002.

VALLE, M.L.M., **Produtos do Setor de Combustíveis e de Lubrificantes**, Publit Soluções Editoriais, Rio de Janeiro, 2007.

ZAMBONI, G. E., Óleos Básicos. **Lubes em foco**, Rio de Janeiro, nº 5, 2008. Disponível em: < <http://www.lubes.com.br/revista/ed05n03.html>>. Acessado em: 3 julho 2009

APÊNDICE A – DADOS EXPERIMENTAIS E ANÁLISE DE INCERTEZA

A.1 Viscosidade cinemática

Tabela A.1: Resultados das análises viscométricas das amostras.

Amostra	KV 100C (cSt)	CCS (cP)				HT/HS (cP)
		-20 C	-25 C	-30 C	-35 C	
SAE 15W-40	15,79	6200				4,03
SAE 15W-40	15,67	6130				3,95
SAE 40	15,28					4,29
SAE 5W-40	15,51			6000		4,08
SAE 5W-30	11,00			5940		3,46
SAE 50	19,10					5,02
SAE 0W-20	8,397				3030	2,60
SAE 10W-40	15,49		4000			3,84

A.2 Consumo específico de combustível

Tabela A.2: Consumo específico de diesel por amostra e por torque.

Amostra	Consumo específico (g/kW.h)		
	1500 rev/min 10N.m	2000 rev/min 20N.m	2500 rev/min 30N.m
SAE 15W-40	340,5	267,4	275,8
SAE 15W-40	335,0	266,3	274,3
SAE 40	358,0	275,7	296,6
SAE 5W-40	344,2	264,0	271,7
SAE 5W-30	340,4	261,7	272,3
SAE 50	372,8	281,1	305,3
SAE 0W-20	332,5	266,5	269,1
SAE 10W-40	332,5	263,4	275,7

Tabela A.3: Tratamento estatístico das amostras da família 1.

Amostras		1500 rev/min	2000 rev/min	2500 rev/min	
		10 N.m	20 N.m	30 N.m	
Família 1	SAE 50	Média (g/kW.h)	365,4	278,4	301,0
		Variância populacional (g/kW.h)	6,4	3,5	6,4
	SAE 40	Intervalo de confiança			
		Limite inferior (g/kW.h)	352,6	271,4	288,2
		Limite superior (g/kW.h)	378,2	285,4	313,8

Tabela A.4: Tratamento estatístico das amostras da família 2.

Amostras		1500 rev/min	2000 rev/min	2500 rev/min	
		10 N.m	20 N.m	30 N.m	
Família 2	SAE 15W40X	Média (g/kW.h)	337,8	264,9	273,4
	SAE 15W40Y	Variância populacional (g/kW.h)	6,7	3,1	5,2
	SAE 10W40	Intervalo de confiança			
	SAE 5W40	Limite inferior (g/kW.h)	324,4	258,7	263,0
	SAE 5W30	Limite superior (g/kW.h)	351,2	271,1	283,8

A.3 Potência de atrito

Tabela A.5: Método da linha de Willans para amostra SAE 50.

Amostra SAE 50			
% do torque máximo	33%	66%	99%
Consumo absoluto (g.s)	6,7	10,4	16,8

Tabela A.6: Método da linha de Willans para amostra SAE 5W30

Amostra SAE 5W-30			
% do torque máximo	33%	66%	99%
Consumo absoluto (g.s)	6,1	9,7	15,6

ANEXO A**AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO****PORTARIA Nº 129, DE 30 DE JULHO DE 1999**

Estabelece o Regulamento Técnico ANP nº 004/99, que especifica os óleos lubrificantes básicos de origem nacional ou importado para comercialização em território nacional.

O DIRETOR da AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO – ANP, no uso de suas atribuições legais, conferidas pela Portaria ANP nº 118, de 14 de julho de 1999, e com base na Resolução de Diretoria nº 355, de 29 de julho de 1999, torna público o seguinte ato:

Art. 1º Fica estabelecido que a comercialização dos óleos lubrificantes básicos no País deverá observar as especificações constantes do Regulamento Técnico ANP n.º 004 de 30 de julho de 1999 do anexo I da presente Portaria e respectivas Tabelas I e II.

Parágrafo Único. As especificações a que se refere este artigo aplicam-se aos óleos lubrificantes básicos de origem nacional e aos importados.

Art. 2º A comercialização e/ou importação de óleos lubrificantes básicos, com faixas de viscosidade diferentes das explicitadas nesta Portaria, poderá ser realizada mediante acordo entre comprador e vendedor e informada à ANP até 10 dias após sua efetivação.

Art. 3º Ficam revogadas a Resolução do Conselho Nacional de Petróleo n.º 06, de 24 de fevereiro de 1987, a Portaria n.º 45, de 17 de novembro de 1994 do Departamento Nacional de Combustíveis e demais disposições em contrário.

Art. 4º Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação.

GIOVANNI TONIATTI
DIRETOR

Publicada no DOU de 02/08/99

Republicada no DOU de 30/09/99

REGULAMENTO TÉCNICO ANP Nº 004/99

1. Objetivo

1.1. Este Regulamento Técnico aplica-se aos óleos lubrificantes básicos comercializados em todo o território nacional de origem nacional ou importado.

1.2. Os óleos lubrificantes básicos abaixo relacionados, comercializados em todo o território nacional, deverão estar de acordo com as especificações estabelecidas neste Regulamento Técnico e respectivas Tabelas I e II.

ÓLEO	ABREVIACÃO
Parafínico Spindle 09	PSP 09
Parafínico Neutro Leve 30	PNL 30
Parafínico Neutro Médio 55	PNM 55
Parafínico Neutro Médio 80	PNM 80
Parafínico Neutro Pesado 95	PNP 95
Parafínico Bright Stock 30	PBS 30
Parafínico Bright Stock 33	PBS 33
Parafínico Turbina Leve 25	PTL 25
Parafínico Turbina Pesado 85	PTP 85
Parafínico Cilindro 45	PCL 45
Parafínico Cilindro 60	PCL 60
Naftênico Hidrogenado 10	NH 10
Naftênico Hidrogenado 20	NH 20
Naftênico Hidrogenado 140	NH 140

2. As abreviações, doravante utilizadas neste Regulamento Técnico, foram estabelecidas utilizando-se o seguinte critério:

- a) Código alfanumérico de 2 ou 3 letras e 2 ou 3 números.
- b) A primeira letra “**P**” ou “**N**” indica se o óleo é Parafínico ou Naftênico respectivamente.
- c) A letra ou letras seguintes resumem os nomes dos óleos.
- d) Os números expressam a viscosidade cinemática típica a 40°C de cada um dos óleos.
- e) Nos óleos com viscosidade cinemática a 40°C maior do que 215 cSt, ou seja, óleos PBS30, PBS33, PCL 45 e PCL60, foram utilizados os valores típicos das viscosidades cinemáticas a 100°C.

3. Conceito Básico / Aplicação.

Os óleos lubrificantes básicos especificados no presente Regulamento são óleos lubrificantes obtidos do refino de determinados tipos de petróleo.

A principal função de um óleo lubrificante é a redução do atrito e do desgaste entre superfícies metálicas ou plásticas que se movem uma contra a outra.

Somente em algumas aplicações menos severas é possível utilizar o óleo lubrificante básico sem aditivos.

Normalmente, são adicionados ao óleo lubrificante básico diversos tipos de aditivos químicos de modo a atender aos requisitos necessários às diferentes aplicações a que se destina.

As características contempladas por esta especificação são aquelas de maior importância para a caracterização do óleo básico.

4. Características.

4.1. Aparência – é uma indicação visual da pureza do óleo e permite verificar a presença de contaminantes visíveis.

4.2. Cor – é mais utilizada como um controle na produção do óleo lubrificante. As variações na cor determinada de um óleo lubrificante podem indicar uma possível contaminação ou indícios de oxidação.

4.3. Viscosidade - é a medida da sua resistência ao escoamento a uma determinada temperatura. É uma das características de maior importância do óleo lubrificante.

4.4. Índice de Viscosidade – é uma indicação da variação da viscosidade do óleo de acordo com a temperatura. Quanto maior o índice de viscosidade menor é a variação da viscosidade com a temperatura, característica esta desejável para os óleos que trabalham em aplicações sujeitas a variações de temperatura.

4.5. Ponto de Fulgor – dá uma indicação da possível presença de compostos voláteis e inflamáveis no óleo. É definido como a menor temperatura, sob determinadas condições de teste, na qual o produto se vaporiza em quantidade suficiente para formar com o ar uma mistura capaz de inflamar-se momentaneamente quando se aplica uma chama sobre a mesma.

4.6. Ponto de Fluidez - é a menor temperatura na qual o óleo lubrificante flui quando sujeito a resfriamento sob condições determinadas de teste. É principalmente controlado para avaliar o desempenho nas condições de uso em que o óleo é submetido a baixas temperaturas ou em climas frios.

4.7. Índice de Acidez Total – é uma medida da quantidade de substâncias ácidas presentes no óleo e indica a eficiência do processo de neutralização dos resíduos ácidos resultantes do tratamento do óleo.

4.8 Cinzas – a quantidade de cinzas presentes no óleo pode ser resultante da presença de compostos metálicos no óleo ou solúveis em água, bem como de outros materiais tais como poeira e ferrugem.

4.9. Resíduo de Carbono Ramsbottom – indica a tendência do óleo à formação de depósitos de carbono, quando submetido a altas temperaturas.

4.10. Corrosividade ao cobre – dá uma indicação relativa do grau de corrosividade do óleo.

4.11. Estabilidade à oxidação – indica a capacidade de resistência à oxidação do óleo quando submetido a longos períodos de estocagem ou sob condições dinâmicas de uso.

4.12. Emulsão – é um indicativo da capacidade de separação da água do óleo quando submetido a contaminação por água.

4.13. Perda por evaporação – avalia as perdas dos hidrocarbonetos mais leves do óleo quando submetido a temperaturas elevadas, o que levaria ao maior consumo do óleo e alteração de suas características.

5. Normas Aplicáveis

A verificação das características dos óleos básicos far-se-á mediante o emprego das Normas Brasileiras Registradas - NBR dos métodos da American Society for Testing and Materials –ASTM e da Deutsche Norm -DIN, observando-se sempre os de publicação mais recente.

Os dados de precisão, repetitividade e reprodutibilidade fornecidos nos métodos relacionados neste Regulamento devem ser usados somente como guia para aceitação das determinações em duplicata de ensaio e não devem ser considerados como tolerância aplicada aos limites especificados neste Regulamento.

A análise do produto deverá ser realizada em amostra representativa do produto segundo método ASTM D 4057 -Practice for Manual Sampling of Petroleum and Petroleum Products.

5.1. COR.

ASTM D 1500	Test Method for ASTM Color of Petroleum Products (ASTM Color Scale).
-------------	--

5.2. VISCOSIDADE CINEMÁTICA.

NBR 10441	Produtos de Petróleo – Líquidos transparentes e opacos - Determinação da viscosidade cinemática e cálculo da viscosidade dinâmica.
ASTM D 445	Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and the Calculation of Dynamic Viscosity).

5.3. INDICE DE VISCOSIDADE.

NBR 14358	Produtos de Petróleo – Cálculo do índice de viscosidade a partir da viscosidade cinemática.
ASTM D 2270	Practice for Calculating Viscosity Index from Kinematic Viscosity at 40 and 100 °C.

5.4. PONTO DE FULGOR.

NBR 11341	Produtos de Petróleo - Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland.
ASTM D 92	Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup.

5.5. PONTO DE FLUIDEZ.

NBR 11349	Produtos de Petróleo – Determinação do ponto de fluidez.
ASTM D 97	Test Method for Pour Point of Petroleum Products.

5.6. INDICE DE ACIDEZ TOTAL.

NBR 14248	Produtos de Petróleo – Determinação do índice de neutralização – Método do indicador.
ASTM D 974	Test Method for Acid and Base Number by Color-Indicator Titration.

5.7. CINZAS.

NBR 9842	Produtos de Petróleo – Determinação do teor de cinzas.
ASTM D 482	Test Method for Ash from Petroleum Products.

5.8. RESÍDUO DE CARBONO RAMSBOTTOM.

NBR 14318	Produtos de Petróleo - Determinação do resíduo de carbono Ramsbottom.
ASTM D 524	Test Method for Ramsbottom Carbon Residue of Petroleum Products.

5.9. CORROSIVIDADE AO COBRE.

NBR 14359	Produtos de Petróleo – Determinação da corrosividade – Método da lâmina de cobre.
ASTM D 130	Test Method for Detection of Copper Corrosion from Petroleum Products by the Copper Strip Tarnish Test.

5.10. ESTABILIDADE À OXIDAÇÃO.

ASTM D 943	Test Method for Oxidation Characteristics of Inhibited Mineral Oils.
------------	--

5.11. EMULSÃO.

NBR 14172	Óleos derivados de petróleo e fluidos sintéticos-Determinação das características de emulsão.
ASTM D 1401	Test Method for Water Separability of Petroleum Oils and Synthetic Fluids.

5.12. PERDA POR EVAPORAÇÃO-NOACK.

NBR 14157	Óleos Lubrificantes – Determinação da perda por evaporação pelo método Noack.
DIN 51581	Testing of Lubricants- Determination of Evaporation Loss of Lubricant Oils-Noack Test.

ESPECIFICAÇÕES DOS ÓLEOS LUBRIFICANTES BÁSICOS PARAFÍNICOS
Anexo da Portaria ANP nº 129 /99

CARACTERÍSTICAS	PSP 09	PTL 25	PNL 30	PNM 55	PNM 80	PTP 85	PNP 95	PBS 30	PBS 33	PCL 45	PCL 60	Métodos
Aparência	Límpido	Límpido	Límpido	Límpido	Límpido	Límpido	Límpido	Límpido	Límpido	-	-	Visual
Cor ASTM, máx.	1,0	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5	3,5	8,0	6,5	-	-	ASTM D 1500
Viscosidade, cSt a 40° C	8 -11	23 - 27	27 - 33	50 - 62	75 - 83	80 - 87	94 - 102	anotar	anotar	anotar	anotar	NBR 10441 ASTM D 445
Viscosidade, cSt a 100° C	anotar	anotar	anotar	anotar	anotar	anotar	anotar	28,5- 32,7	30,6- 34,8	41,0- 45,3	57,5- 65,8	NBR 10441 ASTM D 445
Índice de Viscosidade, mín.	90	100	100	95	95	100	95	95	95	75	75	NBR 14358 ASTM D 2270
Ponto de Fulgor, °C, mín.	160	200	200	220	226	240	230	280	280	290	290	NBR 11341 ASTM D 92
Ponto de Fluidez, °C, máx.	-9	-6	-6	-3	-3	-3	-3	-3	-3	+6	+9	NBR 11349 ASTM D 97
Índice de Acidez Total, mg KOH/g, máx.	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1	0,15	NBR 14248 ASTM D 974
Cinzas, % massa, máx.	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,05	0,05	NBR 9842 ASTM D 482
Resíduo de Carbono Ramsbottom, % massa, máx.	0,10	0,10	0,10	0,15	0,20	0,15	0,20	0,90	0,70	3,0	4,0	NBR 14318 ASTM D 524
Corrosividade ao cobre, 3 h a 100° C, máx.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	NBR 14359 ASTM D 130
Estabilidade à oxidação para IAT 2,0 mg KOH/g, h, mín. *	-	2500	-	-	-	2000	-	-	-	-	-	ASTM D 943
Emulsão a 54,4°C, ml (min), máx.	-	40-40-0 (15)	-	-	-	40-40-0 (20)	-	-	-	-	-	NBR 14172 ASTM D1401
Perda por Evaporação teste NOACK máx.	-	-	16	-	-	-	-	-	-	-	-	NBR 14157 DIN 51581

* O produto deverá atender ao limite estabelecido com pelo menos uma composição de aditivos disponível no mercado.

Tabela II - Especificações dos Óleos Lubrificantes Básicos Naftênicos
Anexo da Portaria ANP nº 129 /99

CARACTERÍSTICAS	NH 10	NH 20	NH 140	Métodos
Aparência	Límpido	Límpido	Límpido	Visual
Cor ASTM, máx.	1,0	1,0	2,5	ASTM D 1500
Viscosidade, cSt a 40° C	9 -11	17 - 23	130 - 150	NBR 10441 ASTM D 445
Viscosidade, cSt a 100° C	anotar	anotar	anotar	NBR 10441 ASTM D 445
Índice de Viscosidade.	anotar	anotar	anotar	NBR 14358 ASTM D 2270
Corrosividade ao cobre, 3 h a 100° C, máx.	1	1	1	NBR 14359 ASTM D 130
Ponto de Fulgor, °C, mín.	144	158	210	NBR 11341 ASTM D 92
Ponto de Fluidez, °C, máx.	-39	-33	-18	NBR 11349 ASTM D 97
Resíduo de Carbono Ramsbottom, % massa, máx.	0,10	0,10	0,15	NBR 14318 ASTM D 524
Índice de Acidez Total, mg KOH/g, máx.	0,05	0,05	0,05	NBR 14248 ASTM D 974
Cinzas, % massa, máx.	0,005	0,005	0,005	NBR 9842 ASTM D 482