

## Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

---

## PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE ÓLEOS LUBRIFICANTES MINERAIS E SINTÉTICOS COM DEGRADAÇÃO EM MOTOR AUTOMOTIVO.

Joyce Batista Azevedo<sup>1</sup>, Laura Hecker de Carvalho<sup>1</sup>, Viviane Muniz Fonseca<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Campina Grande, -Av. Aprígio Veloso, 882, 58109-970, Campina Grande, PB.  
e-mail: [joyceazevedo@yahoo.com.br](mailto:joyceazevedo@yahoo.com.br)

**Resumo** – Os equipamentos mecânicos possuem superfícies ajustadas com movimento relativo, simples ou combinado, entre si. O contato direto entre estas superfícies causa um grande esforço de atrito e conseqüente desgaste devido à remoção de material, aumento da temperatura das peças e sobrecarga dos equipamentos. No entanto, a vida útil de todo equipamento pode ser aumentada, com o uso de lubrificantes. Os óleos lubrificantes representam cerca de 2% dos derivados de petróleo, e é um dos poucos que não são totalmente consumidos durante o seu uso. Possuem características importantes em altas temperaturas, uma vez que não são usados na temperatura ambiente. Neste sentido, este trabalho visa caracterizar e comparar a degradação sofrida por óleos minerais e sintéticos, quando são submetidos ao uso em motor automotivo, através das suas propriedades reológicas. Os óleos estudados foram recolhidos de automóveis, sendo avaliado no estado degradado e não degradado em função da quilometragem de uso. As propriedades viscosas dos óleos lubrificantes foram caracterizadas em viscosímetro Brookfield. Os resultados indicam que, tanto o óleo tanto mineral quanto sintético sofrem redução na viscosidade com o uso e apresentam um comportamento newtoniano em altas taxas de cisalhamento.

Palavras-Chave: Óleos lubrificantes, degradação, reologia

**Abstract** – The surfaces of mechanical devices are adjusted so that simple or combined movements can be performed. The direct contact between these surfaces leads to considerable attrition and wear due to material losses, increase in temperature and equipment overuse. Equipment lifetime, however, can be increased if appropriate lube oils are used. Lube oils represent about 2% of all petroleum by-products and is one of the few products which are not totally consumed during use. In the present work a study on the degradation of mineral and synthetic lube oils was performed. The degradation of these oils before and after automotive use, was followed and compared by rheological measurements on a Brookfield viscometer. The lube oils were collected from automobiles and their degradation state was ascertained by measuring the changes in their viscous properties as a function of their use (Km). Our results indicate the viscosity of both mineral and synthetic lube oils to decrease with use and that both display a Newtonian behavior at high shear rates.

Keywords: lube oil, degradation, rheology

## 1. Introdução

Toda máquina desgasta-se com o tempo, pelo funcionamento e pelos inúmeros agentes contaminantes com os quais é posta em contato. De acordo com Souza, (2000) a vida útil de todo equipamento pode ser aumentada, com o uso de lubrificantes. Pelas múltiplas funções que exerce e pelo acesso a vários pontos da máquina, o óleo constitui-se num agente de extrema importância na redução de elementos de desgaste e contaminação dos equipamentos.

Os primeiros lubrificantes eram de origem animal, mas com o passar do tempo, o homem foi aperfeiçoando e criando novos inventos, e por necessidade, os lubrificantes foram evoluindo também, passando a ter bases de origem vegetal, mineral e sintética. Atualmente os lubrificantes modernos, de alto desempenho têm uma atuação muito mais importante do que simplesmente reduzir o atrito e o desgaste. Os lubrificantes de última geração podem também controlar a formação de depósitos, contaminantes suspensos, proteger contra a corrosão, limpar componentes e manter a temperatura de operação correta.

De um modo geral, considerando o tipo de base utilizada na produção, os lubrificantes podem ser divididos em três categorias: minerais, sintéticos e semi-sintéticos. Os óleos lubrificantes mais utilizados são os de origem mineral. Estes são constituídos por uma mistura complexa de hidrocarbonetos, provenientes do refino do petróleo cru e representam cerca de 2% dos derivados de petróleo, sendo um dos poucos produtos que não são totalmente consumidos durante o seu uso. De acordo com Viegas, (2003), nos últimos anos tem havido uma forte procura de lubrificantes de alto desempenho, especialmente na indústria da aeronáutica com os mais modernos motores. Isto proporcionou o desenvolvimento dos lubrificantes sintéticos, que podem ser mantidos a elevadas temperaturas sem se decomporem, e ao mesmo tempo terem um baixo risco de combustão. Os óleos sintéticos não são derivados do petróleo, mas produzidos em laboratório a partir de ensaios em condições críticas. A utilização dos óleos sintéticos acentuou-se gradualmente, em áreas em que o uso dos óleos minerais não satisfazia as necessidades exigidas.

Segundo Cerqueira, (2004) têm-se observado que o óleo lubrificante usado tem causado sérios problemas ambientais devido ao seu descarte indiscriminado que polui rios e mananciais aquíferos. Além disso, a queima indevida, sem respeitar os limites de emissões exigidos pelos órgãos ambientais, lança na atmosfera óxidos e gases tóxicos. Neste sentido, fabricantes de aditivos e formuladores de óleos lubrificantes vêm trabalhando no desenvolvimento de produtos com maior vida útil, o que tende a reduzir o descarte de óleos usados.

Uma característica bastante importante dos óleos lubrificantes automotivos é seu comportamento com o aumento da temperatura, uma vez que eles não são usados na temperatura ambiente. De acordo com Hsu, (2004) na junção de contato lubrificada, a temperatura e a pressão são freqüentemente altas. Os óleos sofrem alteração com o aumento da temperatura, sendo a sua degradação sob condições de operação um problema que envolve significativas perdas econômicas.

Para Dantas et. al, (2004) o comportamento reológico é um dos fatores importantes no estudo de produtos acabados. Uma vez que, a reologia é uma ciência física que estuda a viscosidade, plasticidade, elasticidade e o escoamento da matéria, ou seja, constitui-se em um estudo das mudanças na forma e no fluxo de um material, englobando todas estas variantes. Dentro das propriedades reológicas Carreteiro, (1989) afirma que a viscosidade é uma das principais características físicas a ser caracterizada nos óleos lubrificantes, uma vez que ela determina a capacidade de carregamento de carga, bem como de características como fluidez e fluxo de calor devendo ser mantida dentro de limites pré- estabelecidos. Segundo Rein, (1978) a viscosidade é fundamental em todos os estágios da indústria petrolífera, dos campos produtores aos locais de venda. A viscosidade é essencial em todos os aspectos da lubrificação, a partir deste parâmetro, obtém-se bom funcionamento de sistemas hidráulicos, transmissões automáticas e amortecedores.

Objetivou-se neste trabalho, realizar um estudo comparativo das propriedades reológicas de óleos lubrificantes minerais e sintéticos, sendo estes analisados no estado antes e após o uso, ou seja, não degradados e degradados em função da quilometragem de trabalho do óleo e a partir de então obter informações adicionais sobre o processo de degradação térmica sofrida por estes lubrificantes.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1. Materiais

Neste estudo foram utilizadas duas classes de óleos lubrificantes, um óleo de base mineral e outro de base sintética ambos produzidos por indústrias brasileiras.

De acordo com o fabricante do óleo mineral empregado, sua composição consiste de óleos minerais e aditivos como detergente, dispersante, antidesgaste, anticorrosivo, antioxidante e antiespumante. Sua classificação quanto a API é SE e quanto a SAE o óleo é classificado como 40W.

O óleo sintético utilizado, segundo o fabricante, possui uma composição de óleo base sintética, óleo base parafínico e aditivos como antidesgaste, antioxidante e detergente/dispersante, reserva alcalina, inibidores de ferrugem e de espuma e aumentador de índice de viscosidade. Sua classificação quanto a API é SL/CF e quanto a SAE 10W/40.

O estudo da degradação foi conduzido em amostras dos óleos antes e após uso em motor automotivo. Para o óleo lubrificante mineral foram recolhidas amostras após 7.500Km de uso do óleo em motor e para o óleo sintético as amostras recolhidas foram após uso de 15.000Km.

## 2.2. Estudo Reológico

O estudo das propriedades reológicas das amostras do óleo degradado e não degradado foram avaliadas por medidas de viscosidade utilizando-se um viscosímetro da marca Brookfield, modelo RVT, Spindle 1, na temperatura ambiente e pressão atmosférica em diferentes taxas de cisalhamento.

Os reogramas obtidos relacionam a tensão de cisalhamento (Pa) e a viscosidade aparente (Pa.s) com a taxa de cisalhamento em ( $s^{-1}$ ) para as amostras de óleos estudadas em condições de degradação e não-degradação.

## 3. Resultados e discussão

Para a avaliação do comportamento reológico dos óleos lubrificantes estudados, as medidas das propriedades reológicas foram efetuadas em viscosímetro Brookfield em temperatura ambiente e pressão atmosférica. Estas medidas foram efetuadas nas amostras dos óleos lubrificantes antes e após uso em motor automotivo, ou seja, não degradados e degradados respectivamente.

Foram utilizadas duas classes de óleos lubrificantes: um óleo mineral e um óleo sintético. A amostra de óleo mineral foi coletada após 7.500Km de uso e a amostra de óleo sintético após 15.000Km de uso em motor automotivo.

A Tabela 1 apresenta os valores das viscosidades dos óleos estudados em Centipoise em função da quilometragem de uso.

Tabela 1. Viscosidade em cP dos óleos lubrificantes mineral e sintético degradados e não degradados

| Óleo lubrificante | Quilometragem (Km) | Viscosidade (cP) |
|-------------------|--------------------|------------------|
| Mineral           | 0                  | 267,83           |
| Mineral           | 7500               | 245,25           |
| Sintético         | 0                  | 187,83           |
| Sintético         | 15000              | 149,33           |

Os valores de viscosidade obtidos evidenciam que após o uso, as viscosidades das amostras foram reduzidas em aproximadamente 9 e 21%, respectivamente, para os óleos mineral e sintético. Este comportamento é atribuído à degradação das amostras durante o uso, pois esta propriedade é sensível ao tamanho molecular e ao estado de agregação. A degradação por cisão de cadeia e/ou ramificação leva a uma redução na viscosidade enquanto reticulações geram aumento na viscosidade. Medidas de viscosidade são sensíveis às condições experimentais de temperatura, pressão, tempo e taxa de cisalhamento.

O comportamento da tensão de cisalhamento e da viscosidade aparente dos óleos lubrificantes em relação à taxa de cisalhamento foi avaliado a partir da Equação 1 ao qual representa a Lei de Ostwald- de Waele:

$$\zeta = n y^m \quad (1)$$

Onde:  $\zeta$  é a tensão de cisalhamento;  $n$  é uma constante, também chamada de índice de consistência;  $y$  é a taxa de cisalhamento e  $m$  é um número adimensional que representa uma medida do desvio das propriedades do fluido com relação ao comportamento newtoniano. Para  $m < 1$  o fluido apresenta comportamento pseudoplástico, para  $m=1$  newtoniano e para  $m > 1$  dilatante.

As Figuras 1 e 2 representam a variação da tensão de cisalhamento em função das taxas de cisalhamento utilizadas para o óleo mineral e sintético respectivamente.

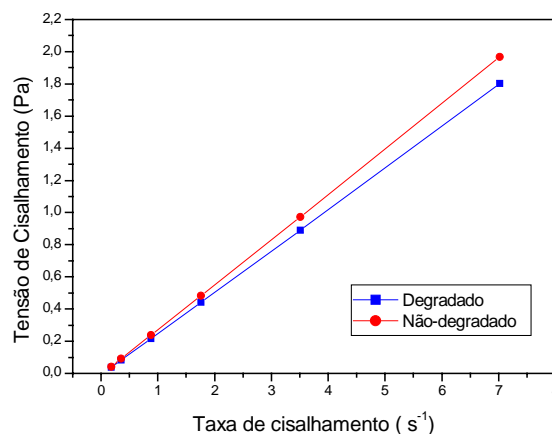


Figura 1. Variação da tensão de cisalhamento com a taxa de cisalhamento do óleo lubrificante mineral degradado e não degradado.

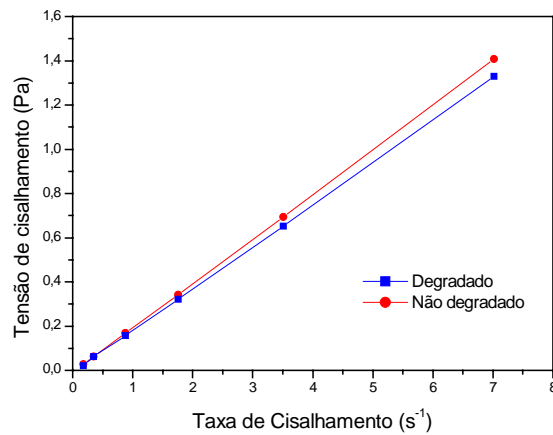


Figura 2. Variação da tensão de cisalhamento com a taxa de cisalhamento do óleo lubrificante sintético degradado e não degradado

As curvas apresentadas nas Figuras 1 e 2 para os óleos lubrificantes mineral e sintético apresentam comportamento linear, ou seja, a relação existente entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação é linear. Portanto, os dois óleos lubrificantes estudados apresentam um comportamento newtoniano nos dois estados, antes e depois da degradação. Através destas curvas é possível confirmar que o índice de potência ( $m$ ) permanece constante e igual a 1 para todas as amostras de óleos estudadas.

As Figuras 3 e 4 representam a variação da viscosidade aparente dos óleos mineral e sintético estudados em função das taxas de cisalhamento utilizadas.

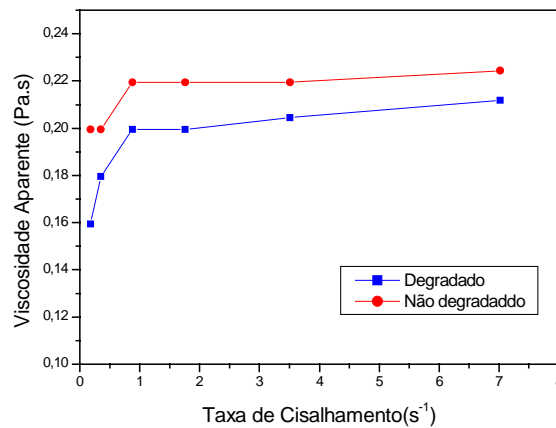


Figura 3. Variação da viscosidade aparente com a taxa de cisalhamento do óleo mineral degradado e não degradado

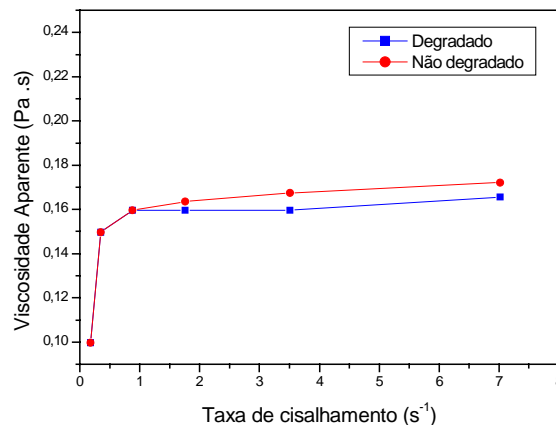


Figura 4. Variação da viscosidade aparente com a taxa de cisalhamento do óleo sintético degradado e não degradado

Nas Figuras 3 e 4 observa-se uma redução na viscosidade das amostras dos óleos degradados. Porém em baixas taxas de cisalhamento, ambos os sistemas apresentam um aumento na viscosidade aparente com o aumento na taxa de cisalhamento, que normalmente é associado a um comportamento dilatante. Este comportamento não era esperado, pois os resultados obtidos e ilustrados nas Figuras 1 e 2 apontavam para um comportamento Newtoniano. Fluidos Newtonianos apresentam viscosidade aparente independente da taxa de deformação.

Estes ensaios foram refeitos com outro spindle e o mesmo comportamento anômalo foi observado. Para que a veracidade deste resultado fosse confirmada seria necessário realizar ensaios em taxas de cisalhamento bem menores do que a mínima utilizada ( $< 0,5$  rpm) neste trabalho, o que não foi possível devido a limitações do equipamento disponível.

Em taxas mais elevadas ( $> 1$  rpm) de cisalhamento, no entanto, o comportamento do óleo virgem e do degradado é Newtoniano e a viscosidade aparente do óleo degradado sempre inferior à do óleo virgem, o que era esperado e atribuído à cisão de cadeia e redução da massa molar do óleo durante o uso.

#### 4. Conclusões

A partir do estudo reológico comparativo para óleos minerais e sintéticos concluiu-se que:

- A degradação térmica sofrida durante o uso em motor automotivo resulta em uma diminuição da viscosidade para óleos lubrificantes minerais e sintéticos;
- Ambas as classes de óleos lubrificantes, mineral e sintética, apresentaram parâmetros reológicos semelhantes;
- Os óleos lubrificantes estudados apresentam um comportamento newtoniano antes e depois da degradação. Porém em baixas taxas de cisalhamento, ambos os sistemas apresentam um aumento na viscosidade aparente com o aumento na taxa de cisalhamento, que normalmente é associado a um comportamento dilatante. Este comportamento não era esperado, pois fluidos Newtonianos apresentam viscosidade aparente independente da taxa de deformação. Novos estudos necessitam ser realizados para que o comportamento anômalo possa ser esclarecido.

#### 7. Agradecimentos

ANP/ PRH-25, FINEP, CTBRASIL, DEMa.

#### 8. Referências

- CARRETEIRO, R. P.; MOURA, C. R. S. Lubrificantes e Lubrificação, Makron Books, 1989.
- CERQUEIRA, C. P. Estudo do reaproveitamento energético de óleos lubrificantes usados. Dissertação (Mestrado em regulação da indústria de energia), Universidade Salvador, Salvador, 2004.
- DANTAS, J.H; SANTOS, N.A; CRUZ, J.P.; CANDEIA, R. A; CONCEIÇÃO, M. M; JÚNIOR, V. F. J; SOUZA, A. G. Comportamento reológico de biodiesel de mamona. *Anais do I congresso brasileiro de mamona*, 2004.
- HSU, S. M. Nano-lubrication: concept and design. *Tribology International* 37 (2004) 537 545.
- REIN, S. W. Lubrificação: Uma publicação técnica dedicada à escolha e uso de lubrificantes. *Texaco*, v. 64, n.1, 1978.
- SOUZA, M. S. M. Métodos analíticos para lubrificantes e isolantes. *Química e Derivados*, n 382, p. 20-28, 2000
- VIEGAS, J.C. *Tribologia*, 2003