

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS MG
ENGENHARIA MECÂNICA
NILTON JOSÉ DE CARVALHO

N. CLASS.	M620.0046
CUTTER	C331a
ANO/EDIÇÃO	2012

ANÁLISE DE ÓLEO LUBRIFICANTE UTILIZADO EM MOTOR DIESEL DA
MARCA FIAT DUCATO MODELO MULTIJET ECONOMY

VARGINHA
2012

FEPESMIG

NILTON JOSÉ DE CARVALHO

**ANÁLISE DE ÓLEO LUBRIFICANTE UTILIZADO EM MOTOR DIESEL DA
MARCA FIAT DUCATO MODELO MULTIJET ECONOMY**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário UNIS MG como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Professor Erik Vitor da Silva.

VARGINHA

2012

FEPESMIG

NILTON JOSÉ DE CARVALHO

**ANÁLISE DE ÓLEO LUBRIFICANTE UTILIZADO EM MOTOR DIESEL DA
MARCA FIAT DUCATO MODELO MULTIJET ECONOMY**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia
Mecânica do Centro Universitário UNIS MG como pré-
requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca
Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof. Ms. Alexandre Lopes

Prof. Esp. Erik Vitor da Silva

Prof. Esp. Nilson Carvalho

OBS.:

Dedico este trabalho a minha família e amigos, especialmente a minha mãe e minha esposa, pelas palavras e atos de carinho, paciência e amor, além do companheirismo em todos os momentos.

Agradeço primeiramente a Deus, ao Professor Erik Vitor da Silva, ao Sd BM Gilberto Ferreira Winter e a todos os amigos de trabalho do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais que direta e indiretamente contribuíram na construção deste trabalho.

Um homem nunca deveria ter vergonha de confessar que errou, pois na verdade isso é como dizer, por outras palavras, que hoje ele é mais sábio do que ontem.

Jonathan Swift

RESUMO

Este trabalho visa à realização da análise de óleo lubrificante “usado” utilizado nos motores diesel das viaturas utilizadas na atividade de resgate do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais, especificamente de duas viaturas da marca Fiat modelo Ducato Maxicargo, diesel, atualmente empregadas no 9º Batalhão de bombeiros da cidade de Varginha. Esta análise compreende o sistema de manutenção preditiva em motores de combustão interna através da análise do óleo lubrificante utilizado, uma vez que é possível verificar a existência ou não de partículas sólidas que indicam as condições de atrito e desgaste interno do motor. Um motor de combustão interna possui cerca de 200 componentes internos móveis, que trabalham em conjunto em condições agressivas, sob alta pressão e temperatura. Dessa forma, para se obter o máximo rendimento, é necessário que todo o sistema mecânico atue livre de atritos, utilizando para este fim o sistema de lubrificação. No entanto, o desgaste dos componentes é inevitável, e a medida desses desgastes pode ser realizada através da análise do óleo lubrificante.

Palavras-chave: Manutenção Preditiva. Análise de óleo. Desgaste.

ABSTRACT

This study aims to perform the analysis of lubricating oil "used" in diesel engines of cars used in the activity redemption Firefighters of Minas Gerais, specifically of two vehicles of the Fiat brand, model Ducato Maxicargo, Diesel, currently employed in the 9th Battalion of Firefighters of the Varginha City. This analysis comprises the predictive maintenance system for internal combustion engines, by analyzing the lubricating oil used, since it is possible to verify the existence of solid particles, which indicate the conditions of internal friction and wear of the engine. An internal combustion engine possesses about 200 internal components of furniture, working together on severe conditions under high pressure and temperature. Thus, to obtain maximum performance, it is necessary that the whole system operates free of mechanical friction, using for this purpose the lubrication system. However, component wear is inevitable, and as such wear may be performed by analyzing the lubricating oil.

Keywords: *Predictive Maintenance. Oil Analysis. Wear.*

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Desenho esquemático da espectrometria por absorção atômica.....	22
Figura 2 - Espectrômetro de emissão óptico portátil.....	23
Figura 3 - Aparelho de Ferrografia Direta.....	29
Figura 4 - Desenho esquemático da Ferrografia Analítica.....	30
Figura 5- Desenho ilustrando as posições das partículas magnéticas.....	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	MANUTENÇÃO E A INDÚSTRIA	11
3	ANÁLISE DOS ÓLEOS LUBRIFICANTES	13
4	TIPOS DE DESGASTES.....	14
4.1	Desgaste abrasivo.....	14
4.2	Desgaste por adesão.....	14
4.3	Desgaste por fadiga.....	16
4.4	Desgaste corrosivo	17
5	MÉTODOS ANALÍTICOS.....	19
5.1	Inspeções sensoriais	19
5.2	Teor de água.....	20
5.3	Viscosidade.....	20
5.4	Insolúveis e sedimentos	21
5.5	Espectrometria.....	22
5.6	Análise infravermelho (FTIR).....	24
5.7	Índice de neutralização (TBN).....	25
5.8	Contagem de partículas.....	26
5.9	Ferrografia.....	27
5.9.1	Ferrografia quantitativa.....	29
5.9.2	Ferrografia analítica.....	29
6	HISTÓRICO DA ANÁLISE DE ÓLEOS LUBRIFICANTES.....	32
7	DADOS DA COLETA	34
8	RESULTADOS.....	36
9	CONCLUSÃO	37
	REFERÊNCIAS	38
	ANEXO A - Relatório de análise de lubrificantes para a amostra pura.....	39
	ANEXO B - Relatório de análise de lubrificantes para a amostra referente à viatura placa HMH 1363.....	42
	ANEXO C - Relatório de análise de lubrificantes para a amostra referente à viatura placa HMH 1519.....	45

1 INTRODUÇÃO

Os desgastes mecânicos e a conseqüente parada para reparação mecânica dos motores das viaturas de resgate do CBMMG (Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais) trazem prejuízos orçamentários ao Estado e à saúde da população, uma vez que essas reparações geralmente são caras e necessitam de uma grande demanda de tempo e de recursos humanos e financeiros.

Assim a proposta deste estudo é realizar a análise do óleo lubrificante de dois motores diesel empregados em viaturas de resgate do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais, na Cidade de Varginha – Minas Gerais, e diagnosticar os desgastes internos desses motores para que posteriormente seja elaborado um plano de ação de manutenção preditiva. Isto para implantar um sistema de Planejamento e Acompanhamento de manutenção preditiva nos motores, a álcool, gasolina e diesel, das Viaturas leves, médias e pesadas, empregadas pelo CBMMG em todo o Estado, a fim de garantir a continuidade dos serviços prestados à população e evitar ao máximo os prejuízos gerados pelas paradas e reparos mecânicos dos motores desses veículos.

Embora tratar-se nesse projeto, a princípio, apenas da manutenção preditiva de motores de combustão interna, insere-se nesse contexto outros princípios e objetivos, que são alvos de inúmeras pesquisas em todo o campo da engenharia mecânica, que envolve questões tecnológicas e ambientais. Faz-se justo então iniciar este trabalho pela análise do óleo lubrificante, tendo em vista que a obtenção dos resultados não apenas trarão indicadores de desgastes mecânicos voltados ao estudo do aprimoramento da tecnologia dos materiais empregados no conjunto, bem como no desenvolvimento de novos materiais, mas também indicadores de sinais de emissão de poluentes, que poderá então vir a ser alvo de pesquisas futuras. Lembrando que os veículos automotores causam mais poluição do ar do que qualquer outra atividade humana.

2 MANUTENÇÃO E A INDÚSTRIA

Na indústria para que a produtividade apresente resultados positivos, é necessário que todos os seus equipamentos sejam mantidos nas melhores condições de funcionamento, sendo assim, ao longo da vida útil desses equipamentos, diversos reparos, inspeções, troca de peças, trocas de óleo, lubrificações, limpezas, pinturas, correções devem ser feitas criteriosamente, e ao conjunto dessas ações chamamos de Manutenção.

Nas definições propostas não existem muitas divergências quanto ao significado da palavra Manutenção como "ato ou efeito de manter" e/ou "medidas necessárias para conservação ou permanência de alguma coisa ou de uma situação" (HOLANDA, 1975 apud CUNHA, [2005], p.1).

Manutenção é uma combinação de ações conduzidas para substituir, reparar, revisar ou modificar componentes ou grupos identificáveis de componentes de uma fábrica, de modo que esta opere dentro de uma disponibilidade especificada, em um intervalo de tempo também especificado (KELLY & HARRIS, 1980 apud CUNHA, [2005], p.1).

A manutenção preditiva é uma manutenção preventiva subordinada a um tipo de acontecimento predeterminado tais como as informações dadas por um captor ou a medida de um desgaste que revelam o estado de degradação de um bem (XAVIER, 1998 apud CUNHA, [2005], p.3).

Manutenção são todas as ações necessárias para que um item seja conservado ou restaurado de modo a poder permanecer de acordo com uma condição especificada (ABNT-P-TB116, 1975).

Manutenção é o conjunto de ações que permitem manter ou restabelecer um bem a um estado específico ou, ainda, assegurar um determinado serviço (MIRSHAWAKA, 1991 apud CUNHA, [2005], p.1).

A manutenção pode ser corretiva ou preventiva, sendo que esta última se subdivide em: Sistemática – Manutenção Produtiva e Condicional – Manutenção Preditiva.

Este trabalho aborda a manutenção preditiva como foco principal, pois esta é uma manutenção que está condicionada a um tipo de acontecimento predeterminado, onde os dados são coletados e transformados em informações valiosas sobre o estado de deterioração de um componente e/ou um sistema mecânico. A manutenção preditiva é conceituada como a que tem a finalidade de acompanhar os parâmetros de funcionamento dos equipamentos e prever suas falhas, para intervenção no momento adequado.

A medicina e a Mecânica Automotiva já aplicam a "manutenção preditiva". No caso da Medicina quando (ANOM, 1986 apud CUNHA, [2005], p.3):

- Monitora o nível de colesterol. Se exceder algum número tido como bom, significa que as artérias estão sofrendo perigo de entupimento. Deve-se mudar a dieta antes que isto possa ter alguma consequência no futuro.
- Monitora a pressão sangüínea. Se estiver muito alta você poderá sofrer algum desmaio.
- Monitora a temperatura corpórea. Uma febre alta indica a necessidade de atenção médica antes que algum mal aconteça.

- Já para o caso da Mecânica automotiva podemos ter:
- Temperatura alta da água do motor é sinal de falha no futuro. Será melhor checar a correia do ventilador e verificar possíveis vazamentos de água. Nada é sério ainda, porém você deve reagir ao sinal de alerta;
- Alto consumo de combustível indica a necessidade de regulagem do motor;
- A queda de pressão do óleo indica que se deve desligar o motor e corrigir o defeito imediatamente.

(http://www.dem.feis.unesp.br/posgraduacao/tesespdf/rodrigocarvalhocunha/capitulos1e2_revisao_bibliografica.pdf); acesso em 01/10/2012.

3 ANÁLISE DOS ÓLEOS LUBRIFICANTES

A análise dos óleos lubrificantes tornou-se ao longo do tempo um dos principais itens dos programas de manutenção adotados por muitos operadores de equipamentos industriais e veiculares. O alto custo dos componentes mecânicos e da mão de obra, acrescido por prejuízo decorrente da paralisação do equipamento por avarias relacionadas ao lubrificante ou de origem mecânica, levou as indústrias a implantar um periódico programa de análises dos óleos utilizados, a fim de minimizar falhas, reduzir custos e maximizar o rendimento mecânico, além de identificar os primeiros sintomas de desgaste de um componente.

A identificação dos desgastes é feita a partir do estudo da quantidade de partículas, tamanho, forma e composição, que fornecerão informações precisas sobre as condições das superfícies em movimento sem a necessidade de se desmontar o conjunto a qual estas partes pertencem. Tais partículas sólidas são geradas pelo atrito dinâmico entre peças em contato. De acordo com o estudo destas partículas pode-se relacionar as situações de desgastes do conjunto e atribuí-las a cinco condições físicas e químicas, (BARRACLOUGH *et al*, 1999 apud CUNHA, [2005], p.5).

Ludema (1996 apud CUNHA, [2005], p.11) relaciona 34 termos diferentes ao discutir a nomenclatura para descrever o desgaste. Já Rabinowicz (1995 apud CUNHA, [2005], p.11) identificou quatro formas principais de desgaste: adesivo, abrasivo, corrosivo e por fadiga, além de uns processos marginais que são freqüentemente classificados como formas de desgaste. Cada processo de desgaste obedece a suas próprias leis, e em muitas ocasiões um dos modos de desgaste atua de tal modo que influenciam os outros. Desta forma, na análise de uma situação complexa, é crucial encontrar a causa primária do desgaste.

4 TIPOS DE DESGASTES

O termo "desgaste" se refere freqüentemente ao desgaste abrasivo, o qual ocorre pela ação de partículas duras pressionadas deslizando umas sobre as outras ou sobre as superfícies.

4.1 Desgaste abrasivo

O desgaste abrasivo é denominado de *dois corpos* quando uma superfície dura e rugosa, ou uma superfície macia contendo partículas duras, desliza sobre uma superfície de menor dureza, produzindo nela diversas ranhuras, e de *três corpos* quando as partículas duras são livres para rolar e deslizar entre as duas superfícies. A taxa de desgaste no caso de *três corpos* é geralmente menor.

O material das ranhuras é deslocado na forma de partículas de desgaste geralmente soltas (RABINOWICZ, 1995 apud CUNHA, [2005], p.12). Estas partículas são tipicamente pequenas, duras e possuem extremidades afiadas – tal como de grãos de areia, partículas de metal ou óxido que friccionam uma superfície de metal.

O desgaste produzido por uma partícula abrasiva pode ser provocado por um processo de microcorte, por um processo de fadiga causada pelo microsulcamento, microfadiga, ou por microlascamentos se a superfície for frágil, (TOMANIK, 2000 apud CUNHA, [2005], p.12).

O desgaste abrasivo pode ser reduzido com a adição de partículas duras na matriz, de modo a interromper os riscos (microcorte, microsulcamento), dependendo da distribuição e tamanho relativos dessas em relação ao abrasivo. Às vezes, visando a redução dos gastos com manutenção, um dos componentes de atrito é feito relativamente com menor dureza e é projetado para ser facilmente e economicamente substituído. Por exemplo, superfícies duras de hastes giratórias são protegidas pelo uso de partes mais dúcteis, mancais facilmente substituíveis e buchas. Às vezes é desejável que o mancal seja suficientemente suave para permitir que as partículas abrasivas duras fiquem completamente engastadas de forma que elas não formem saliência sobre a superfície atuando como partículas abrasivas.

A dureza relativa das partículas abrasivas é de extrema importância na determinação da taxa de desgaste.

4.2 Desgaste por adesão

Em uma escala microscópica, superfícies de metal de deslizamento nunca são lisas. Embora a rugosidade da superfície pode ser só de alguns milésimos de polegada (ou alguns centésimos de milímetro), cumes inevitáveis (freqüentemente chamados de “asperezas”) e vales sempre estão presentes.

Segundo Bowden (apud STOETERAU, 2004 apud CUNHA, [2005], p.12), como a carga normal é suportada por uma área relativamente pequena das asperezas, um dos metais em contato deslizante poderá alcançar sua temperatura de fusão devido ao trabalho da força de atrito na interface. Se as superfícies de contato são limpas e livres de corrosão, o contato muito íntimo leva os átomos das duas superfícies a se aproximarem suficientemente para que surjam forças bastante fortes. Essa condição é favorável a difusão entre metais solúveis. À medida que o metal funde, a pressão nessa pequena área diminui, as partes se deslocam ocorrendo resfriamento e solidificação. É formada, então, uma junção sólida.

Se a superfície áspera soldada e rompida causa a transferência de metal de uma superfície para outra, o desgaste resultante ou dano superficial é chamado de estria ou risco de atrito (*scoring*). Se a aspereza do local soldado se tornar tão extensa que as superfícies já não deslizam uma sobre a outra, a falha resultante é chamada de emperramento (*seizure*). Talvez o melhor exemplo conhecido de emperramento ocorra em motores que continuam operando (mas não por muito tempo) após perder seu líquido refrigerante ou suprimento de óleo. Pistões podem emperrar nas paredes do cilindro, o virabrequim pode emperrar nos seus mancais, ou ambos podem acontecer.

Se o processo de desgaste por adesão tornar-se severo, com transferência de grande volume de metal, o fenômeno é chamado raspagem (*galling*). Desgaste por adesão entre anéis de pistão e paredes de cilindros, ou ambos é freqüentemente chamado *scuffing* ou engripamento. A designação *scuffing* é empregada na área automotiva, em geral catastrófica, e é associado à transferência macroscópica de material entre o anel e o cilindro (DEMARCHI, 1994 apud CUNHA, [2005], p.14)).

Visando aumentar a resistência ao desgaste por adesão, deve-se tomar precauções na seleção do par de materiais para que, em condições de contato deslizante ou com lubrificação limite, haja resistência ao desgaste por adesão, Lipson (apud STOETERAU, 2004 apud CUNHA, [2005], p.14) apresenta dois critérios. O par deslizante deve: (1) ser composto por metais mutuamente insolúveis e (2) que ao menos um dos metais pertença ao subgrupo B da tabela periódica.

A resistência da junção formada, seja na superfície, por adesão natural, seja no interior do metal devido à difusão, dependerá das características de junção dos metais envolvidos.

Metais do subgrupo B da tabela periódica são caracterizados por junções fracas e frágeis chamadas junções covalentes. Metais como os do subgrupo A formam junções chamadas iônicas, que se apresentam dúcteis e fortes, (STOETERAU, 2004 apud CUNHA, [2005], p.14).

O numero de junções por soldagem a frio dependerá da solubilidade mutua dos metais, metais iguais ou metalurgicamente similares normalmente não devem ser usados juntos. Metais metalurgicamente similares são chamados “compatíveis”. Metais compatíveis são definidos como tendo completa miscibilidade liquida e pelo menos 1% de solubilidade solida de um metal no outro na temperatura ambiente.

4.3 Desgaste por fadiga

Em superfícies em contato com rolamento surgem tensões de contato, as quais produzem tensões de cisalhamento cujo valor máximo ocorre logo abaixo da superfície. Com o movimento de rolamento, a zona de contato desloca-se, de modo que a tensão de cisalhamento varia de zero a um valor máximo e volta à zero, produzindo tensões cíclicas que podem levar a uma falha por fadiga do material. Abaixo da superfície pode se formar uma trinca que se propaga devido ao carregamento cíclico podendo chegar à superfície lascando-a e fazendo surgir uma partícula superficial macroscópica com a correspondente formação de covas (*pitting*) ou lascamento (*spalling*). *Pitting* origina-se com trincas superficiais, cada pite tem relativamente uma pequena área superficial. *Spalling* origina-se com trincas sub-superficiais, e o spall são lascas finas de material de superfície. Estes tipos de falhas ocorrem comumente em mancais de rolamento, dentes de engrenagens, cames e em partes de máquinas que envolvem superfícies em contato com rolamento.

A tendência da superfície para falha por fadiga pode ser obviamente reduzida pelo decréscimo da carga e do deslizamento. Melhores lubrificantes ajudam em pelo menos três maneiras: (1) menor atrito reduz a tensão cisalhante tangencial na superfície e também a tensão interna resistente à tração; (2) menor atrito melhora a transferência de calor reduzindo as tensões térmicas; e (3) a presença de um bom filme lubrificante usualmente permite uma favorável distribuição da pressão em cima da área em contato.

Geralmente, o aumento da dureza superficial aumenta a resistência à fadiga superficial. Entretanto, a resistência aumentada associada reduz a habilidade das imperfeições de superfície minuciosas para ajustar com desgaste ou fluxo de superfície, e assim reduz

pressões de contato localizadas. Esta é parte da razão atrás da prática comum de fabricação de um do par de engrenagens acopladas muito duro, com o outro um pouco mais brando para permitir o amaciamento (run-in) da superfície.

A precisão na geometria da superfície e superfícies extremamente lisas são altamente benéficas. Exceções ocorrem quando significativo deslizamento está presente. Então, porosidade superficial, ou um padrão de depressões minuciosas em uma das superfícies em contato, pode ajudar a prover reservatórios minúsculos para segurar lubrificante.

4.4 Desgaste corrosivo

O desgaste corrosivo ocorre devido à interação da superfície de deslizamento com o ambiente que a envolve, fazendo com que o produto desta reação seja removido da superfície.

O desgaste corrosivo pode ser controlado pela presença de detergentes alcalinos no lubrificante. A alcalinidade dos lubrificantes é designada pelo TBN (“Total Base Number”, Numero de Basicidade Total), (TOMANIK, 2000 apud CUNHA, [2005], p.18). Pode-se obter também a acidez dos lubrificantes, que é designada pelo TAN (“Total Acidity Number”, Numero de Acidez Total). O índice de acidez ou alcalinidade de um óleo novo esta normalmente na faixa de 0,02 à 0,10. O ataque corrosivo inicia-se com rápidas reações iniciais, que irão diminuir com o tempo, este decréscimo nas reações está associado à formação de um filme lubrificante na superfície que separa os dois elementos reativos, mais ou menos de modo perfeito. Desta forma tem-se o fim do desgaste corrosivo após certa profundidade de produto da reação formado. Porém em alguns casos as reações continuam indefinidamente desde seu inicio devido a não formação do filme protetor, ou seja, pela fragilidade ou porosidade do mesmo, (STOETERAU, 2004 apud CUNHA, [2005], p.18).

Após a reação corrosiva há formação de um filme de produto da reação que é removido pelo escorregamento das superfícies do sistema. Com isto, a superfície fica novamente nua e propicia a novas reações. Os produtos removidos da superfície podem acelerar outros desgastes, por exemplo, o desgaste abrasivo, uma vez que o produto da corrosão seja duro e abrasivo.

Em contrapartida, produtos corrosivos como fosfato, sulfetos e cloretos são utilizados em sistemas onde o processo dominante é o desgaste por adesão. O desgaste corrosivo desejado neste sistema é devido à formação de um filme macio proveniente da ação corrosiva, com baixos volumes de desgaste e com boas características lubrificantes.

Nos dias atuais não se tem um modelo quantitativo bom para previsões da profundidade de desgaste sob condições de desgaste corrosivo, embora sugira, para os casos em que um filme protetor se forma, um valor de $k = 10^{-4}$ a 10^{-5} como possível de ser usado praticamente, (STOETERAU, 2004 apud CUNHA, [2005], p.19).

5 MÉTODOS ANALÍTICOS

Os dados resultantes da análise devem ser eficazmente usados pelo supervisor de manutenção para programar inspeções preventivas dos equipamentos e confirmar se o lubrificante está em condições de continuar em serviço dentro do período estabelecido para drenagem e troca do óleo, bem como deve ser utilizado para se levantar um histórico dos níveis de contaminação do lubrificante.

Num programa de análise o passo inicial consiste em obter uma mostra representativa do lubrificante utilizado no sistema. Para que os resultados sejam válidos as amostras devem ser colhidas com o óleo fluindo no sistema, na temperatura de trabalho, e depositado em recipientes limpos.

As amostras devem ser devidamente identificadas contendo a descrição do equipamento e tipo de trabalho, identificação do lubrificante usado, data da amostragem e tempo decorrido desde a última troca de óleo.

A análise laboratorial a ser efetuada na amostra depende do tipo e grau do óleo, do equipamento de onde foi retirado e das condições de trabalho. Os métodos analíticos comuns aplicados a óleos lubrificantes usados em motores de combustão interna são: inspeções sensoriais (aparência e odor), teor de água, viscosidade, insolúveis e sedimentos, espectrometria, análise por infravermelho, índice de neutralização, contagem de partículas e ferrografia.

5.1 Inspeções sensoriais

Embora a aparência e odor sejam inspeções de caráter subjetivo, um observador experiente pode reconhecer se a amostra é típica do produto analisado e proveniente do tipo de serviço. Evidências de contaminação ou deterioração podem comumente ser detectadas por exame sensorial. Óleos de motores diesel por exemplo, adquirem rapidamente a coloração negra devido à fuligem do combustível nele dispersada.

Óleo de motor com pouco tempo de serviço, com pouca ou nenhuma degradação, tem odor suave semelhante ao óleo sem uso. O óleo com maior tempo de serviço sob condições operacionais favoráveis tem odor normal de usado, enquanto que um óleo submetido a serviço prolongado e severas condições operacionais pode apresentar odor de queimado e estar visivelmente espessado.

O escurecimento significativo a partir da coloração normal é indicação de contaminação ou oxidação, sendo necessário o analista efetuar um ensaio específico para confirmar a indicação do contaminante.

5.2 Teor de água

O teste de crepitação é um ensaio qualitativo que visa detectar presença de água no óleo. O teste consiste em pingar algumas gotas de óleo em um recipiente e alumínio em forma de prato e aquecendo rapidamente sob uma chama, será então possível verificar a contaminação por água através de estalidos audíveis provenientes da vaporização da água.

Quando um ensaio de crepitação for positivo, deve ser efetuado o ensaio quantitativo de água por destilação (ASTM de 95) a fim de medir o volume de água no óleo.

A presença de água no sistema de lubrificação indica contaminação através de juntas ou vedações com o vazamento, passagem de gases da combustão para o cárter, fugas do fluido de resfriamento através de trincas ou poros, inadequada armazenagem do óleo ou sua aplicação incorreta. É importante salientar que a água livre é a principal causa de ferrugem, borra e lubrificação deficiente; portanto a origem da água no sistema deve ser imediatamente localizada e eliminada.

5.3 Viscosidade

A viscosidade é a mais importante característica de um óleo lubrificante, sendo a capacidade que o óleo tem de resistir ao escoamento e resulta do atrito interno das moléculas movendo-se entre si, sob tensão. É a única propriedade lubrificante que influencia a espessura da película de óleo entre as partes móveis, que por sua vez influi no desgaste. Um óleo de viscosidade inadequada não formará película suficientemente espessa capaz de evitar e minimizar o desgaste, por outro lado a viscosidade excessiva pode gerar calor demasiadamente e desperdício de energia.

O fator de maior influencia na viscosidade é a temperatura, sendo assim, as análises em laboratório são realizadas sob rigoroso controle das condições de temperatura. Existem vários métodos de determinação da viscosidade, porém o aumento do cinemático (ASTM de 445) é o mais utilizado para óleos lubrificantes. Neste método, determinada quantidade de óleo passa através de um tubo capilar, sendo marcado com precisão o tempo gasto no fluxo. Dessa forma, com base no tempo e no fator de calibração referente ao capilar utilizado, a

viscosidade pode ser determinada. O analista compara a viscosidade obtida da amostra de óleo usado com o valor padrão para um óleo daquele grau sem o uso. É comum considerar normal um desvio inferior a 10% do ponto médio da faixa de viscosidade ISO. Maiores desvios do valor padrão podem indicar o uso de grau incorreto ou mistura de óleos, espessamento devido a oxidação ou contaminação com fuligem do combustível e afinamento devido a diluição pelo combustível.

Tabela 1 - Classificação de viscosidade para óleos de motores segundo SAE J 300

GRAU DE VISCOSIDADE SAE	Viscosidade (cP) A Temp. °C Máxima		Viscosidade (4) (cSt) a 100 °C		Viscosidade após cisalhamento (5) (cP) a 150°C e 10 ⁶ seg -1 Min.
	Partida (2)	Bombeamento (3)	Min.	Max.	
0W	3250 a -30	60000 a -40	3.8	-	-
5W	3500 a -25	60000 a -35	3.8	-	-
10W	3500 a -20	60000 a -30	4.1	-	-
15W	3500 a -15	60000 a -25	5.6	-	-
20W	4500 a -10	60000 a -20	5.6	-	-
25W	6000 a -5	60000 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 6
40			12.5	< 16,3	3.7 7
50			16.3	< 21,9	3.7
60			21.9	< 26,1	3.7

NOTAS: (1) Todos os valores são especificações críticas co definidas pela ASTM D-3244

(2) ASTM D-6293

(3) ASTM D-4684

(4) ASTM D-445

(5) ASTM D-4683, CEC L-36-A-90 (ASTM D-4741)

Fonte: MALPICA, 2007

5.4 Insolúveis e sedimentos

Existem diversos métodos para determinar os insolúveis em óleo, dentre eles a filtração, centrifugação, teste de mancha em mata-borrão e análise óptica. O contaminante insolúvel mais comum é a fuligem do combustível sendo a combustão do óleo diesel mais fuliginosa que a da gasolina ou gás natural. A formação de fuligem é mais severa sob certas

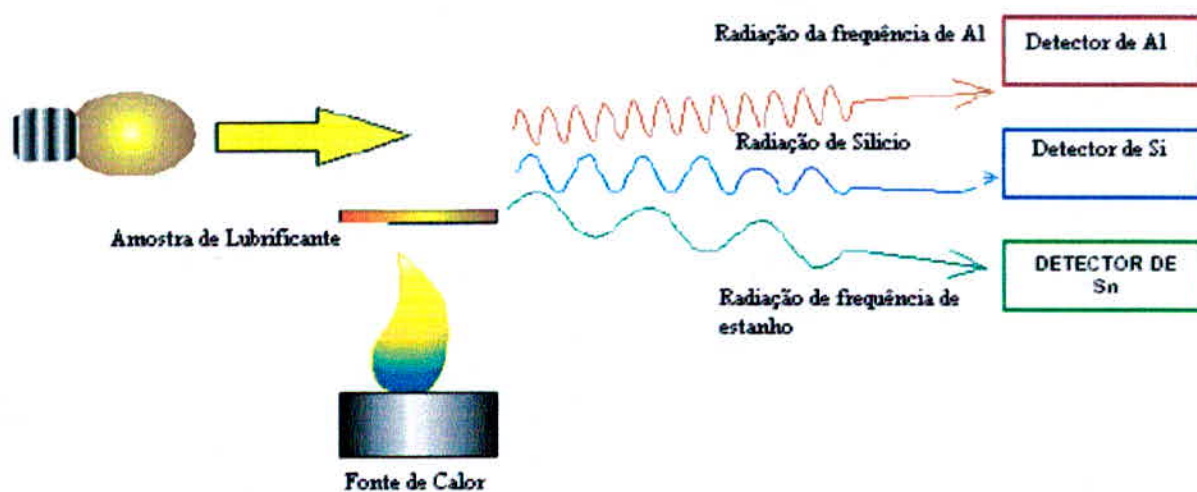
condições anormais de operação, tais como excesso de combustível ou restrição na admissão de ar.

Um método simples de avaliação do teor de fuligem do combustível no óleo de motor diesel é o processo óptico, no qual uma pequena quantidade de óleo usado é colocada em um frasco de vidro claro, cheio com tolueno, agitada e comparada visualmente com padrões preparados com óleos de conhecidos teores de fuligem.

5.5 Espectrometria

Neste método utiliza-se o espectrômetro para a identificação de contaminantes inorgânicos e elementos organometálicos nas amostras de óleo. Neste instrumento, uma película de óleo é carregada em um dispositivo giratório de grafite para um afiado eletrodo de grafite, onde ela é submetida a um arco de alta tensão. Os elementos metálicos são excitados pela energia do arco e cada um emite característico espectro de luz que é coletado e medido por uma série de válvulas fotomultiplicadoras. As intensidades de luz são convertidas em concentrações de elementos mediante computador, e impressas para exame por parte do analista.

Figura 1 - Desenho esquemático da espectrometria por absorção atômica



A espectrografia de emissão é um eficaz meio de análise para detectar níveis de metais de desgaste. Um súbito aumento na concentração de qualquer elemento metálico presente nas partes lubrificadas do equipamento sugere um aumento das taxas de desgaste e possíveis condições anormais de operação.

A presença de silício associada com maior nível de metais de desgaste significa a penetração de poeira ou outras sujidades no sistema.

Diversas formulações de lubrificantes contêm aditivos contendo Boro, que junto com o Sódio, sugere a presença de anti-congelante a base de Glicol. O Glicol pode causar o espessamento do lubrificante e a formação de borra pode atacar certas ligas de mancais quando presente no óleo do cárter em níveis superiores a 0,1%. Quando o Glicol está presente neste nível o óleo deve ser drenado e corrigida a causa da penetração do refrigerante.

Figura 2 - Espectrômetro de emissão óptico portátil



Fonte: MALPICA, 2007

Quadro 1 - Elementos detectados na análise do óleo

Silício	Poeira, aditivos antiespumantes
Cálcio	Poeira, aditivos detergentes
Bário, Magnésio	aditivos detergentes
Ferro	Engrenagens , rolamentos, paredes dos cilindros, guias das válvulas, balancim, anéis dos pistões, mancais de esferas e de rolos, pistas dos mancais, pinos e porcas de travamentos.
Cobre	Metal dos rolamentos anti fricção, buchas.
Cromo	Anel e camisa do pistão
Alumínio	Pistão, espaçadores, pistão
Estanho	Mancais e buchas, anéis e selos
Sódio	Refrigerantes, águas em motores marinhos
Fósforo	Aditivos e refrigerantes

Fonte: MALPICA, 2007
5.6 Análise infravermelho (FTIR)

Espectrometria Infravermelho é outra eficaz técnica de análise de óleo que pode detectar contaminantes orgânicos, água e produtos da degradação do óleo mesmo em níveis baixos. Este método é muito utilizado para determinar: tipo geral do lubrificante (parafínico ou naftênico), presença e quantidade de contaminantes (alcoóis, solventes polares e água livre), degradação de aditivos como oxidantes, por exemplo, e produtos da degradação do óleo decorrentes da oxidação ou nitração. A análise consiste em depositar o óleo usado em uma parte do instrumento correspondente à amostra sendo o óleo de referência, sem uso, colocado na célula de referência. O instrumento traça a curva representativa da diferença entre a amostra definindo claramente as regiões espectrais características dos contaminantes orgânicos ou dos produtos da degradação do óleo.

Neste trabalho utilizou-se um processo mais recente com o emprego de um analisador infravermelho Fourier Transform (FTIR), no qual a amostra de óleo é colocada numa célula de

feixe único, sendo o espectro comparado com um de um óleo de referência armazenado no computador.

As técnicas de análise por espectrometria infravermelho permitem determinar padrões característicos de óleos usados de vários motores e através desses registros e variações das razões de absorvência sendo freqüentemente possível detectar uma ou mais das seguintes condições:

- Pontos quentes nos pistões e paredes de cilindros
- Altas temperaturas do óleo do cárter (possível deficiência de arrefecimento)
- Razão ar/combustível inadequada
- Centelha fora do tempo
- Excessivo vazamento dos gases da combustão (Blow-by)
- Deficiência do sistema de ventilação do cárter
- Sobrecarga no motor

5.7 Índice de neutralização (TBN)

Os óleos lubrificantes em sua maioria são neutros, ou seja, não contém compostos ácidos nem alcalinos e são análogos às soluções aquosas cujo Ph é sete. Valores de Ph superiores a sete significam alcalinidade e abaixo de sete indicam acidez. A acidez pode resultar a degradação do óleo por oxidação, e Ph inferior a quatro indica presença de ácidos fortes, provavelmente corrosivos.

O índice de neutralização é definido com os miligramas de hidróxido de potássio requeridos para neutralizar a acidez de 1g de óleo. A alcalinidade de um óleo é a quantidade de ácido clorídrico, expressa em termos do equivalente número de miligramas de hidróxido de potássio, necessário para neutralizar 1g de óleo.

Os resultados podem ser expressos em termos de índice ou número de basicidade total (TBN), índice de acidez total (TAN) e índice de ácido forte.

TBN é uma medida dos componentes básicos ou alcalinos dos óleos de motor. A alcalinidade é dada ao óleo por meio de aditivos, sendo o nível alcalino dos óleos sem uso característico do tipo de serviço para o qual cada óleo é especificado. Óleos de motor para serviço moderado como a operação de automóveis e caminhões leves possuem níveis de alcalinidade relativamente baixos. Os óleos utilizados nos motores diesel de baixa velocidade

que operam com óleo combustível de alto teor de enxofre têm alta alcalinidade. A fim de evitar corrosão das partes do sistema em contato com o óleo, os óleos devem ser substituídos quando seu TBM cair abaixo de determinado nível.

5.8 Contagem de partículas

Há diversos instrumentos disponíveis para efetuar a contagem de partículas em óleos lubrificantes, sendo o princípio de medida fotométrica ou baseado na determinação da resistividade elétrica durante a passagem do óleo através de um pequeno orifício. A análise consiste em uma quantidade fixa de amostra de óleo sendo bombeada por pressão de ar através de um orifício de medida, em vazão constante, enquanto um feixe colimado de luz passa através do orifício em ângulos retos. O feixe de luz é atenuado pelas partículas antes de alcançar o foto-detector, sendo a redução da intensidade da luz proporcional a área da partícula dividida pela área da janela do detector. Os resultados são lidos por contadores eletrônicos, normalizados e expresso em número de partículas por 100ml de amostra. As faixas de tamanho das partículas, em micrômetros freqüentemente usadas na definição da limpeza do óleo lubrificante são: 5 a 10, 10 a 25, 25 a 50, 50 a 100 e acima de 100.

A análise de óleo lubrificante usado é um importante fator na implantação dos programas de manutenção preventiva para veículos, equipamentos industriais e outros. As amostras são coletadas dos equipamentos em condições normais de operação, de acordo com o plano baseado em horas de operação ou quilômetros de serviço, ou ainda, por calendário para unidades em operação contínua. As amostras depois de analisadas em laboratório de acordo com os testes adequados para cada tipo, modelo e condição de serviço, deve ser enviadas ao supervisor de manutenção que, de posse dos resultados iniciará a triagem para a ação necessária e imediata.

Tabela 2 - Valores referentes à Norma NAS 1638

Classe N.A.S														
NAS 1638 Standard														
Faixa de Tamanho	(Limites máximo de contaminação, partículas por 100 ml)													
	00	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5-15	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	32000	64000	128000	256000	512000	1024000
15-25	22	44	89	178	356	712	1425	2850	5700	11400	22800	45600	91000	182400
25-50	4	8	16	32	63	126	253	506	1012	2025	4050	8100	16200	32400
50-100	1	2	3	6	11	22	45	90	180	360	720	1440	2880	5760
>100	0	0	1	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024
Utilização	A		B		C		D		E		F			

Fonte: MALPICA, 2007

A análise dos óleos permite identificar os primeiros sintomas de desgaste de um componente. A identificação é feita a partir do estudo da quantidade de partículas, tamanho, forma e composição, que forneceram informações precisas sobre as condições das superfícies em movimento sem a necessidade de se desmontar o conjunto a qual estas partes pertencem. Tais partículas sólidas são geradas pelo atrito dinâmico entre peças em contato. De acordo com o estudo destas partículas pode-se relacionar as situações de desgastes do conjunto e atribuí-las a cinco condições físicas e químicas, (BARRACLOUGH *et al.*, 1999 apud CUNHA, [2005], p.5). A análise dos óleos é feita por meio de técnicas laboratoriais que envolvem reagentes, instrumentos e equipamentos.

5.9 Ferrografia

A Ferrografia é uma técnica de avaliação das condições de desgaste dos componentes de uma máquina por meio da quantificação e observação das partículas em suspensão no lubrificante. É uma técnica que satisfaz todos os requisitos exigidos pela manutenção preditiva e também pode ser empregada na análise de falhas e na avaliação rápida do desempenho do lubrificante.

O objetivo inicialmente proposto foi o de quantificar a severidade do desgaste de máquinas e para a pesquisa foram adotadas as seguintes premissas:

- Toda máquina desgasta-se antes de falhar;
- O desgaste gera partículas;

-
-

- A quantidade e o tamanho das partículas são diretamente proporcionais à severidade do desgaste que pode ser constatado mesmo a olho nu;
- Os componentes de máquinas, que sofrem atrito, geralmente são lubrificados, e as partículas permanecem em suspensão durante um certo tempo;
- Considerando que as máquinas e seus elementos são constituídos basicamente de ligas de ferro, a maior parte das partículas provém dessas ligas.

O método usual de quantificação de material particulado consiste na contagem das partículas depositadas em papel de filtro e observado e microscópio. Este método, porém, não proporciona condições adequadas para a classificação dimensional, que é de grande importância para a avaliação da intensidade do desgaste de máquinas.

Dessa forma, orientado por esse problema, Westcott inventou um aparelho para separar as partículas de acordo com o tamanho, chamado ferrógrafo.

O ferrógrafo é constituído de um tubo de ensaio, uma bomba peristáltica, uma mangueira, uma lâmina de vidro, um ímã e um dreno.

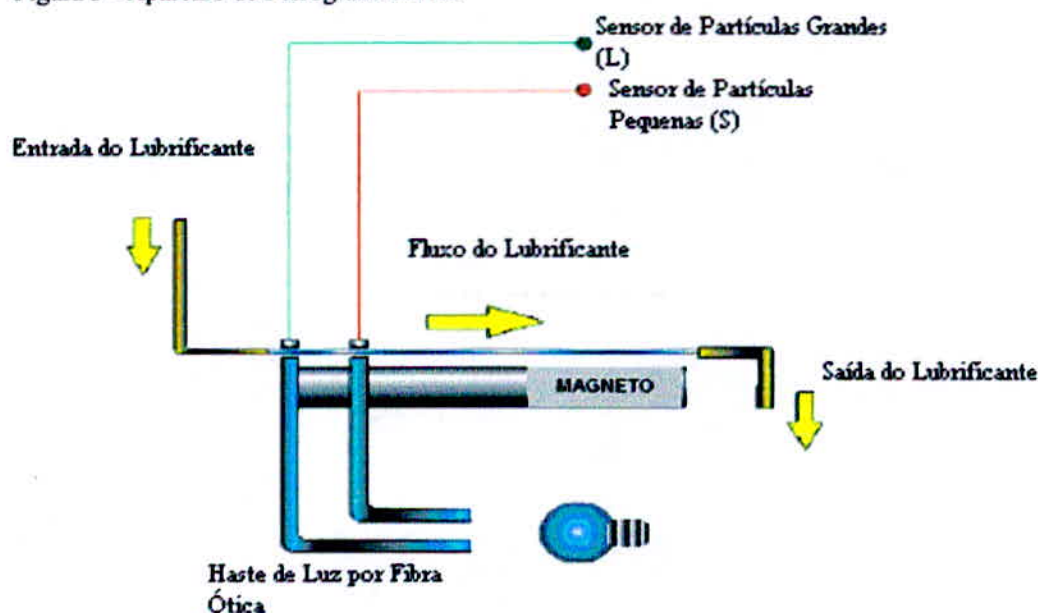
A Bomba peristáltica atua na mangueira, por pressão, fazendo com o lubrificante desloque do tubo de ensaio em direção a lâmina de vidro, que se encontra ligeiramente inclinada e apoiada sobre um ímã com forte campo magnético. A inclinação da lâmina de vidro garante que o fluxo do lubrificante seja unidirecional. Quando o fluxo passa sobre a lâmina de vidro, a velocidade de imersão ou afundamento das partículas grandes passa a ser maior que a velocidade das pequenas, devido ao campo magnético, nesse momento, começa a separação.

As partículas grandes vão se fixando na lâmina de vidro logo no seu início, e as menores depositam-se mais abaixo.

Neste método ferrográfico constatou-se que as partículas maiores que 5 mm fixam-se no início da lâmina de vidro e que as partículas entre 1 mm e 2 mm fixam-se a seis milímetros abaixo. Essas posições têm grande importância, pois as partículas provenientes de desgastes severos apresentam dimensões com mais de 15 mm, enquanto as partículas provenientes de desgastes normais apresentam dimensões ao redor de 1 mm a 2 mm.

Muitas tentativas foram feitas até se obter a vazão de fluido e o ímã mais adequados. Nos ferrógrafos atuais, a vazão é de 0,3 ml de fluido por minuto e 98% das partículas ficam retidas na lâmina de vidro, mesmo as não magnéticas.

Figura 3 - Aparelho de Ferrografia Direta



Fonte: MALPICA, 2007

5.9.1 Ferrografia quantitativa

Com a evolução do ferrógrafo, chegou-se ao ferrógrafo de leitura direta, que permite quantificar as partículas grandes e pequenas de modo rápido e objetivo.

Seu princípio é o mesmo adotado nas pesquisas com ferrogramas, onde a luz proveniente da fonte, divide-se em dois feixes que passam por uma fibra óptica. Esses feixes são parcialmente atenuados pelas partículas nas posições de entrada e seis milímetros abaixo. Os feixes atenuados são captados por leitores ópticos ou foto-detectores que mandam sinais para um processador, os resultados são mostrados digitalmente em um display de cristal líquido. Os valores encontrados são comparados com os valores obtidos por um ensaio sobre uma lâmina limpa, considerando que a diferença de atenuações da luz é proporcional à quantidade de partículas presentes.

5.9.2 Ferrografia analítica

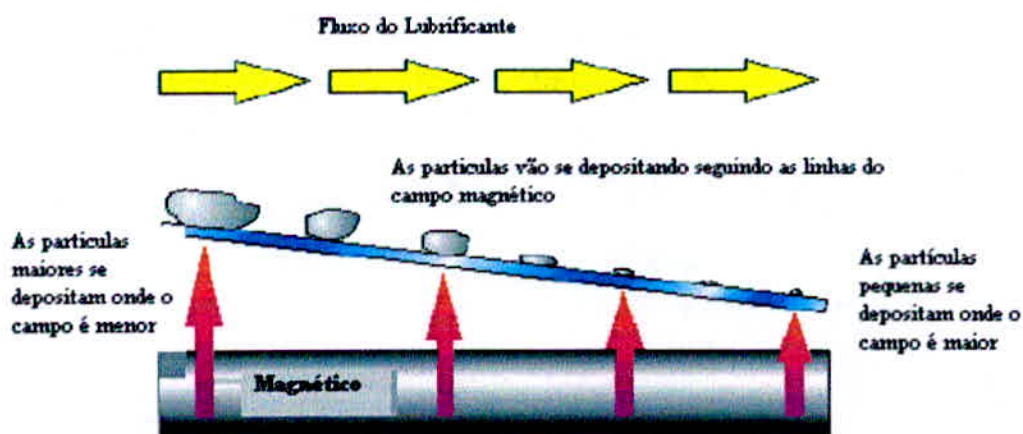
A identificação das causas de desgaste é feita por meio do exame visual da morfologia, cor das partículas, verificação de tamanhos, distribuição e concentração no ferrograma.

Pela ferrografia analítica, faz-se a classificação das partículas de desgaste em cinco grupos:

- Ferrosas: esfoliação, corte por abrasão, fadiga de rolamento, arrastamento, desgaste severo por deslizamento;
- Não-ferrosas: metais brancos, ligas de cobre, ligas de metal patente ou antifricção;
- Óxidos de ferro: óxidos vermelhos, óxidos escuros, metais oxidados escuros;
- Produtos da degradação do lubrificante: corrosão, polímeros de fricção;
- Contaminantes: poeira de estrada, pó de carvão, asbesto, material de filtro, flocos de carbono.

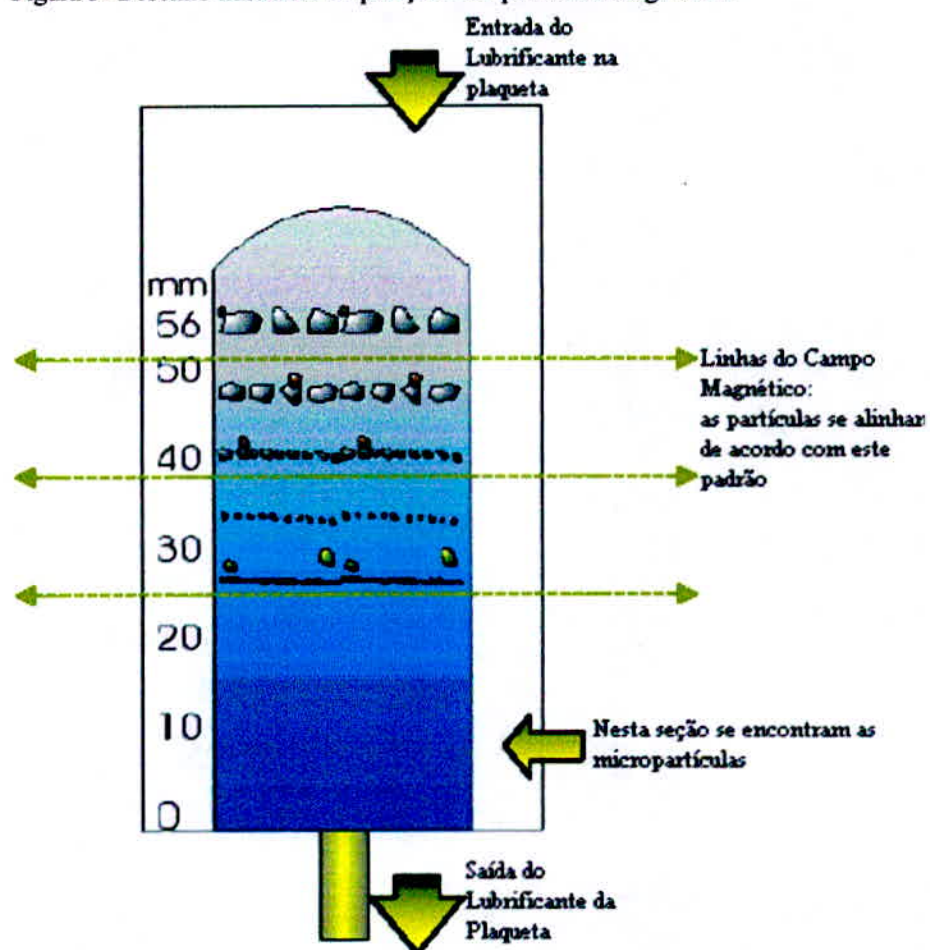
A identificação de cada grupo de partículas necessita de uma criteriosa e inteligente análise por parte do analista, bem como de equipamentos bem calibrados, a fim de se obter resultados confiáveis e ações precisas.

Figura 4 - Desenho esquemático da Ferrografia Analítica



Fonte: MALPICA, 2007

Figura 5- Desenho ilustrando as posições das partículas magnéticas



Fonte: MALPICA, 2007

6 HISTÓRICO DA ANÁLISE DE ÓLEOS LUBRIFICANTES

A descoberta e a formulação dos mecanismos da lubrificação são atribuídas a três cientistas: um Russo, Nicolai Petrov (1836-1920) e dois Britânicos, Beauchamp Tower (1845-1904) e Osborn Reynolds (1842-1912). Eles perceberam que o mecanismo do processo de lubrificação não era devido à interação mecânica de superfícies sólidas, mas sim devido ao filme de fluido que os separava.

A cristalização do conceito de lubrificação hidrodinâmica começou por Nicolai Petrov, que trabalhava na área de atrito, segundo ele, a propriedade importante do fluido com relação ao atrito não é a densidade, mas sim a viscosidade.

Segundo Duarte Júnior (2005, p.08):

“[...] quando existe um movimento relativo entre duas superfícies próximas entre si, pode existir um atrito...”. As características de atrito e desgaste de superfícies lubrificadas e em contato são determinadas pelas propriedades das camadas da superfície, por análise de partículas no lubrificante [...].”

A análise de óleo como manutenção começou a ser aplicada na década 50. A crise do petróleo intensificou o uso da análise de óleo, que passou a cumprir uma nova função na manutenção das máquinas, permitindo o monitoramento das condições do óleo lubrificante e identificar a necessidade de troca ou apenas reposição parcial. Neste período foram introduzidas técnicas preditivas que permitiam através da análise de óleo diagnosticar problemas nos equipamentos. Atualmente as leis ambientais tornaram ainda mais rigorosas as medidas de manutenção relacionadas com a utilização do óleo na indústria, sendo necessária a implementação de estações de tratamento e métodos de descarte e reaproveitamento dos lubrificantes. (http://www.supremelub.com.br/downloads/tecnicas/analise_de_oleo.pdf).

Segundo o professor L. X. Nepomuceno (2002, p.348):

[...] embora o exame das condições dos óleos lubrificantes tenha sido, há muitos anos, recomendado pelos fabricantes de equipamentos, os serviços de análise só se tornaram disponíveis nos últimos 15 anos [...].

Durante a guerra do Vietnã, houve uma conscientização da importância da análise no contexto dos programas de manutenção. As operações militares incluíram extenso uso de helicópteros, aviões e navios, os quais são sensíveis a problemas mecânicos decorrentes dos sistemas de lubrificação. As forças armadas dos EUA determinaram o emprego de laboratórios móveis na área do conflito, incluindo analisadores espectrográficos para

determinar os metais de desgaste e produtos contaminantes. Os procedimentos então adotados pelas forças armadas logo foram reconhecidos pela indústria como meios de controlar custos de manutenção e aumentar a segurança. A publicidade sobre o sucesso desses esforços no sentido de reduzir as falhas mecânicas de motores e aumentar o intervalo de tempo entre as revisões logo acarretou demanda, em escala comercial, de laboratórios capazes de proporcionar serviços de análise para vários tipos de lubrificantes usados para motores de frotas de ônibus e caminhões, sistemas hidráulicos industriais, sistemas de lubrificação de máquinas pesadas, navios com propulsão a diesel ou turbinas a vapor, motores de acionamentos de bombas e compressores, enfim, para qualquer equipamento lubrificado a óleo.

Para W. Munsell, que em 28/07/1987 patenteou uma técnica para determinação da fonte de metal no óleo usado:

“[...] um metal traçador, que não está presente nos componentes do motor sujeitos a desgaste, pode ser usado para determinar a fonte dos metais no óleo, utilizado-o como aditivo no lubrificante a base de petróleo e de outras fontes, permitindo assim a análise do desgaste dos componentes do motor [...]”.

No entanto, desde então, com o avanço tecnológico e a necessidade cada vez maior de se garantir eficiência e segurança dos sistemas lubrificados a óleo, a análise do óleo lubrificante passou englobar uma série de procedimentos, utilizando para tal, mecanismos modernos e recursos computacionais gráficos, capazes de auxiliar o analista a tomar uma decisão exata do procedimento a ser adotado após os resultados.

A interpretação dos resultados é parte fundamental da análise, sendo competida ao engenheiro responsável a sua realização. Então após a obtenção dos resultados e laudos das análises, cabe à coordenação do departamento de manutenção registrar, planejar, executar e arquivar os procedimentos de manutenção cabíveis.

7 DADOS DA COLETA

O trabalho foi realizado no 9º Batalhão do Corpo de Bombeiros de Minas Gerais, situado na Cidade de Varginha, Minas Gerais.

Foram selecionadas 02 viaturas da marca Fiat Ducato Maxicargo, motores diesel Multijet Economy, Turbo, empregadas na atividade de resgate, em prontidão de uso 24 horas/dia.

Após a seleção das viaturas, tendo em vista a carga de emprego operacional elevada, foi selecionado o dispositivo para coleta dos óleos lubrificantes dos motores, sendo este, composto por uma seringa de sucção de óleo, com cabeçote em ferro fundido e tubo metálico, um adaptador para conexão da mangueira de 06 mm de diâmetro externo e 1,0 m de comprimento, a fim de servir como meio de retirar o óleo do cárter pela entrada da vareta de medição do nível de óleo. Conforme padrão, as amostras foram devidamente identificadas conforme abaixo:

Viatura 01

- Furgão Fiat Ducato Maxicargo – Placa HMH 1363
- Código de atividade operacional CBMMG: 0726
- Kilometragem da última troca de óleo: 40.000 Km em 05/06/2012
- Kilometragem na data da coleta: 43.066 em 18/09/2012
- Código Fiat do Motor: F1AE0481T – Multijet Economy – Diesel

Viatura 02

- Furgão Fiat Ducato Maxicargo – Placa HMH 1519
- Código de atividade operacional CBMMG: 0748
- Kilometragem da última troca de óleo: 73.000 Km em 12/04/2012
- Kilometragem na data da coleta: 77.923 em 19/09/2012
- Código Fiat do Motor: F1AE0481T – Multijet Economy – Diesel

Foram coletados dos motores 150 ml do óleo lubrificante de cada viatura, pela entrada da vareta de nível de óleo, a fim de evitar a coleta pelo bujão de dreno do cárter, onde pode conter sedimentos e contaminantes que impediriam uma análise de qualidade.

As amostras dos óleos usados juntamente com uma amostra de 300 ml do mesmo tipo de lubrificante sem uso (referência), foram enviadas a Test Oil do Brasil, empresa

especializada em Manutenção Preditiva por Análise de Fluidos, situada no Estado de São Paulo, na cidade de Mairiporã.

8 RESULTADOS

Os resultados das análises do óleo da viatura HMH 1519, conforme anexo C, indicam que a viatura apresentou um grande número de partículas menores que 02 micras na ferrografia analítica, embora não seja indicativo de desgastes severos, requer um monitoramento mais cuidadoso, pois como o PH do óleo se apresentou em nível muito baixo, o que causa a formação de ácidos fortes, podendo haver a formação de corrosão nos componentes, e apresentar sinais de desgastes importantes que devem ser verificados. Com relação às análises por infravermelho, ferrografia, espectrometria e água, estes se deram dentro das condições normais de funcionamento. Nesse caso então, sugere-se a troca imediata do óleo lubrificante conforme indicação do fabricante, bem como a utilização de aditivo anti-corrosivo, sendo necessário nova análise após a rodagem de 5.000 Kilômetros.

Os resultados das análises do óleo da viatura HMH 1363, conforme anexo B, indicam condições de desgaste natural dentro dos parâmetros.

Vale ressaltar que a viatura HMH 1363, tem o total de 43.000 Kilômetros rodados, enquanto a viatura HMH 1519 já ultrapassou 78.000 Kilômetros, apresentando dessa forma, maior desgaste natural pela contagem de partículas.

Os resultados da análise da amostra pura (sem uso), conforme anexo A, da marca FALUB, que foi utilizada como referência, apresenta condições de uso, porém não é a recomendada pelo fabricante, atendendo somente as especificações API CI-4/SL ANP 10313, enquanto a marca recomendada pelo fabricante, VS MAX DIESEL atende as seguintes especificações: API CH-4/CG-4 • SAE 15W-40 • ACEA E3-96, E5-02, E7-04 • IVECO STD 18-1804, MB 228.1 • VOLVO VDS • MAN 271 • MACK E0-K/2, sendo portanto a mais adequada para uso no motor do veículo Fiat Ducato Maxicargo, motor Multijet Economy Diesel.

Embora a marca FALUB apresente em sua embalagem a composição de aditivos como anticorrosivo e aumentador do índice de viscosidade, o resultado da análise (viatura HMH 1519) mostra que o índice de neutralização indica acidez, que significa corrosão iminente, bem como a diminuição do índice de viscosidade (em torno de 15%) para ambas as viaturas.

Não há valores de referência da marca indicada pelo fabricante, de forma a confrontar os dados com a marca analisada, no entanto, é aconselhável que seja utilizado o lubrificante de acordo com as recomendações do fabricante, a fim de se obter um banco de dados referente à eficiência de cada produto.

9 CONCLUSÃO

De acordo com as análises realizadas neste trabalho, verificou-se que o lubrificante utilizado não recomendado pelo fabricante, apresentou diminuição do índice de viscosidade e no índice de neutralização (TBN), fatores que ao longo da vida útil desses motores podem acarretar em danos severos.

Como não há referência de análises com o lubrificante recomendado, sugere-se a utilização do mesmo a partir desse momento, a fim de levantar dados para comparação.

Não há valores significativos apresentados nas análises por espectrometria, água, FTIR e ferrografia, sendo que estes se apresentaram dentro dos valores de referência.

A manutenção preditiva em motores de combustão interna é um amplo campo de atuação para a engenharia mecânica, no que tange o gerenciamento e controle de grandes frotas, sendo um desafio ao conhecimento e a experiência.

A análise dos óleos lubrificantes através das técnicas modernas disponíveis, possibilitam um monitoramento das condições internas dos motores, a fim de conduzir um sistema otimizado de manutenção, pleiteando a redução de custos e a maximização da eficiência.

As viaturas analisadas são amplamente empregadas em atividades de resgate e salvamento pelo Corpo de Bombeiros de Minas Gerais, na cidade de Varginha, portanto a parada dessas viaturas para reparos mecânicos traz uma série de prejuízos, primeiramente a população do município e ao Estado, sendo dessa forma, extremamente importante que suas manutenções proporcionem um funcionamento eficiente e contínuo. Esta analogia também pode ser associada a grandes empresas de transporte, por exemplo, que possuem grandes frotas e visam o funcionamento constante de seus veículos.

Não obstante a análise de óleos lubrificantes, para verificação de falhas mecânicas, insere-se nesse contexto outras linhas de pesquisa associadas, como o desenvolvimento de materiais para componentes mecânicos, desenvolvimento de produtos com características físico-químicas mais eficientes, análise de emissões de poluentes, enfim, vários fatores podem e devem ser associados (com fins de pesquisa) ao uso de motores de combustão interna e sua influência na vida da população em geral.

REFERÊNCIAS

CUNHA, Rodrigo Carvalho. **Análise do estado de conservação de um redutor de velocidade através da técnica de partículas de desgaste no óleo lubrificante auxiliada pela análise de vibrações**. Ilha Solteira, 2005. Disponível em: <http://www.dem.feis.unesp.br/posgraduacao/tesespdf/rodrigocarvalhocunha/capitulos1e2_revisao_bibliografica.pdf> Acesso em: 24/09/2012.

DUARTE JR., Durval, **Tribologia, Lubrificação e Mancais de Deslizamento**, 2005. Editora Ciência Moderna Ltda.

ENGEOil, **Serviços de Manutenção Preditiva através da análise de óleos - P.M.P.** Disponível em: <<http://www.engeoil.com.br/home/servicos.php>> Acesso em 25/08/2012.

MOTORES DIESEL VOL.2, Copyright 1977 by E.T.A.I. Editions Techniques pour l'Automobile et l'Industrie. Título origina: Moteurs Diesel. Editora Hemus

NEPOMUCENO, L.X. **Técnicas de Manutenção Preditiva**, Vol. I e II, 2002. Editora Edgard Blucher Ltda.

PETROBRAS. **Análises de lubrificantes**. Disponível em: <[http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/servicos/paraindustriasetermeltricas/analisesdelubrificantes!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hLf0N_P293QwMLD383A6MgbwNLE0MjAwN3Y_2CbEdFAP3RUo4!/:> Acesso em 30/08/2012](http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/servicos/paraindustriasetermeltricas/analisesdelubrificantes!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hLf0N_P293QwMLD383A6MgbwNLE0MjAwN3Y_2CbEdFAP3RUo4!/)

PETROBRAS. **Lubrificantes – Fundamentos e Aplicações**, Brasil, 1999, 148p. PH Catálogo 08/2001. Boletim Técnico. O Controle do TAN de Lubrificantes.

SUPREME LUBRIFICANTES. **Análise de Óleo**. Disponível em: <http://www.supremelub.com.br/downloads/tecnicas/analise_de_oleo.pdf> Acesso em 25/08/2012

SELEÇÃO DE MATERIAIS, Disponível em: <<ftp://ftp.fem.unicamp.br/pub/EM833/%28corr%29%20Parte%20III%205%20-%20Sele%27%E3o%20de%20materiais%20para%20resist%EAncia%20ao%20desgaste.pdf>> (acessado em 24/09/2012).

XAVIER, A. N., “Manutenção Classe Mundial”. **Congresso Brasileiro de Manutenção**. Salvador, 2005.

TEST OIL. **Análise de Fluidos**, Disponível em: <<http://www.testoil.com.br>> Acesso em 22/08/2012.

ANEXO A - Relatório de análise de lubrificantes para a amostra pura

Relatório de Análise de Lubrificantes



CLIENTE: NILTON JOSE DE CARVALHO	Nº Cliente: 00445	Relatório N.º: AA19227
Unidade: N.A	Nº Amostra: TO0017821	Status da Amostra
Equipamento: FALUB	TAG: API CI-4-SL ANP 10313	 ok - normal
Compartimento: N.A	Volume: N.A	
Lubrificante: TAURUS DIESEL SAE 14W40	Data da Coleta: 03/10/2012	
Tempo de Uso: N.A	Data do Laudo: 8/10/2012	
Recomendações: A amostra analisada apresenta-se em condições normais de uso. Não foi identificado nenhuma anomalia na ferrografia analítica.		

FÍSICO-QUÍMICOS		3/10/2012	
Viscosidade (100°C)	D-445	cSt	14,68
Viscosidade (40°C)	D-445	cSt	118,5
Índice de Viscosidade	TestOil		126
TBN	D-4739	mgKOH/g	3,36
Água %	TestOil	%	<0,2

CONTAGEM DE PARTÍCULAS			
>4µ	ISO 4406	Qtde	N/A
>6µ	ISO 4406	Qtde	N/A
>14µ	ISO 4406	Qtde	N/A
ISO	ISO 4406		N/A
NAS	NAS-1638		N/A
DR (L)	Ferrog. Analit.		79,2
DR (S)	Ferrog. Analit.		46,6
DR (L + S)	Ferrog. Analit.		126
DR (PLP)	Ferrog. Analit.		25,914

ANÁLISE ESPECTROMÉTRICA DE METAIS			
Desgaste			
Ferro	D-5185	ppm	0
Cobre	D-5185	ppm	0
Cromo	D-5185	ppm	0
Alumínio	D-5185	ppm	0
Chumbo	D-5185	ppm	0
Prata	D-5185	ppm	0
Estanho	D-5185	ppm	0
Níquel	D-5185	ppm	0
Manganês	D-5185	ppm	0
Titânio	D-5185	ppm	0
Cádmio	D-5185	ppm	0
Aditivos			
Molibdênio	D-5185	ppm	27
Magnésio	D-5185	ppm	0
Cálcio	D-5185	ppm	1169
Bário	D-5185	ppm	0
Fósforo	D-5185	ppm	8
Zinco	D-5185	ppm	0
Contaminantes			
Sódio	D-5185	ppm	0
Silício	D-5185	ppm	47
Boro	D-5185	ppm	0
Vanádio	D-5185	ppm	0

Os resultados e informações apresentados devem ser utilizados em conjunto com práticas normais de manutenção. Nenhuma garantia contra falhas está implícita ou explícita neste monitoramento.

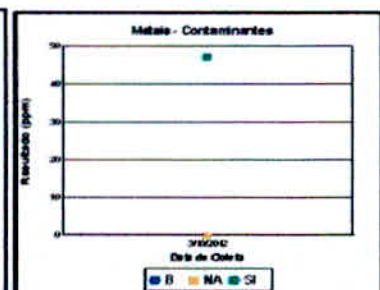
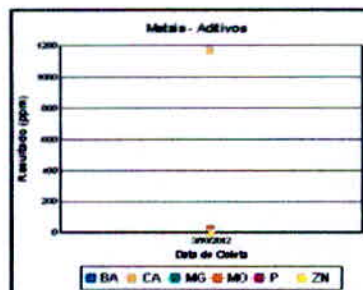
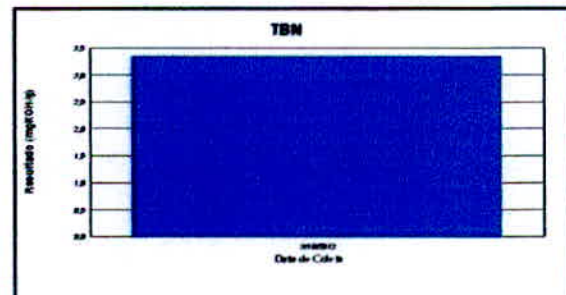
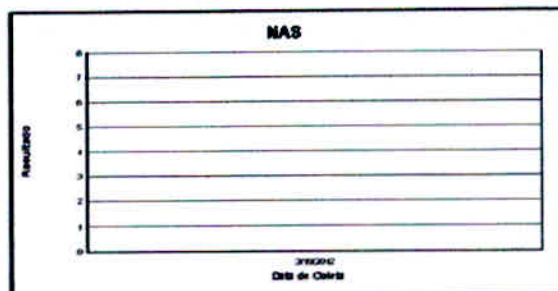
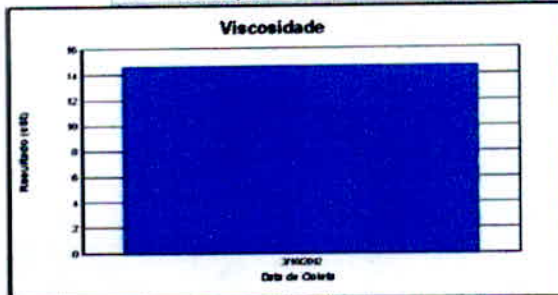


Relatório de Análise de Lubrificantes



INFRAVERMELHO FTIR

Fuligem	FTIR-JOAP	Alc	0
Glicol	FTIR-JOAP	Alc	0,915386
Sulfatos	FTIR-JOAP	Alc	13,215351
Nitratos	FTIR-JOAP	Alc	5,196638
Oxidação	FTIR-JOAP	Alc	4,08729




Os resultados e informações apresentados devem ser utilizados em conjunto com práticas normais de manutenção. Nenhuma garantia contra falhas está implícita ou explícita neste monitoramento.

ANEXO B - Relatório de análise de lubrificantes para a amostra referente à viatura placa HMH 1363

Relatório de Análise de Lubrificantes



CLIENTE: NILTON JOSÉ DE CARVALHO Unidade: N/A Equipamento: VIATURA RESGATE FIAT DUCATO MAXICARG Compartimento: N/A Lubrificante: VS MAX DIESEL 15W40 Tempo de Uso: 40000 KM	Nº Cliente: 00445 Nº Amostra: TO0017820 TAG: F1AE0481T - PLACA HMH 1363 Volume: N/A Data da Coleta: 10/09/2012 Data do Laudo: 8/10/2012	Relatório N.º: AA19228 Status da Amostra  OK - normal
Recomendações: A amostra analisada apresenta-se em condições normais de uso.		

FÍSICO-QUÍMICOS			10/9/2012
Viscosidade (100°C)	D-445	cSt	12,65
Viscosidade (40°C)	D-445	cSt	94,48
Índice de Viscosidade	TestOil		129
TBN	D-4739	mgKOH/g	6,15
Água %	TestOil	%	<0,2

CONTAGEM DE PARTÍCULAS

>4µ	ISO 4406	Qst	N/A
>6µ	ISO 4406	Qst	N/A
>14µ	ISO 4406	Qst	N/A
ISO	ISO 4406		N/A
NAS	NAS-1638		N/A
DR (L)	Ferrog. Análit.		2882,6
DR (S)	Ferrog. Análit.		1863,0
DR (L + S)	Ferrog. Análit.		4752
DR (PLP)	Ferrog. Análit.		21,332

ANÁLISE ESPECTROMÉTRICA DE METAIS

Desgaste

Ferro	D-5185	ppm	64
Cobre	D-5185	ppm	0
Cromo	D-5185	ppm	0
Alumínio	D-5185	ppm	11
Chumbo	D-5185	ppm	22
Prata	D-5185	ppm	0
Estanho	D-5185	ppm	22
Níquel	D-5185	ppm	0
Manganês	D-5185	ppm	0
Titânio	D-5185	ppm	0
Cádmio	D-5185	ppm	0

Aditivos

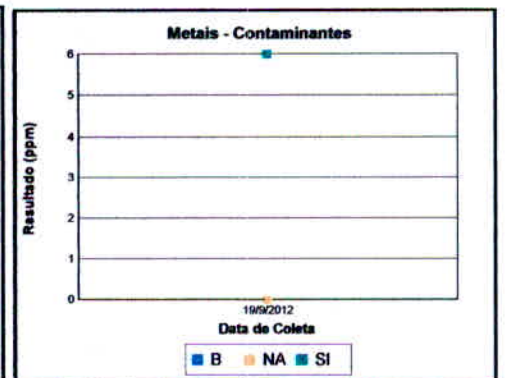
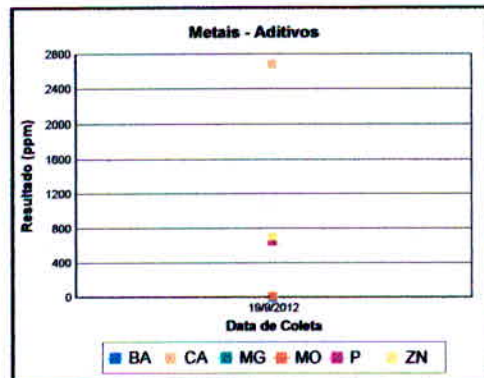
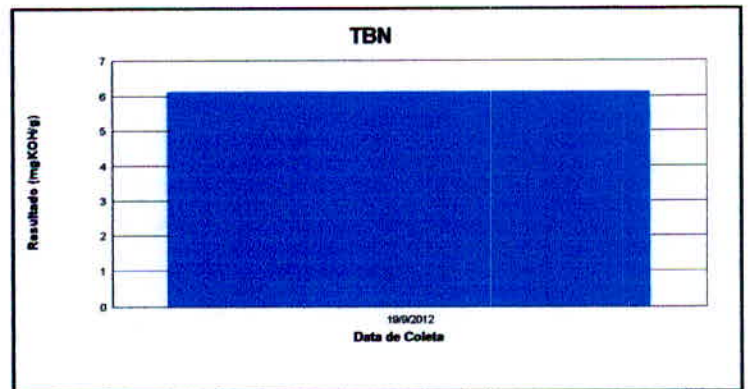
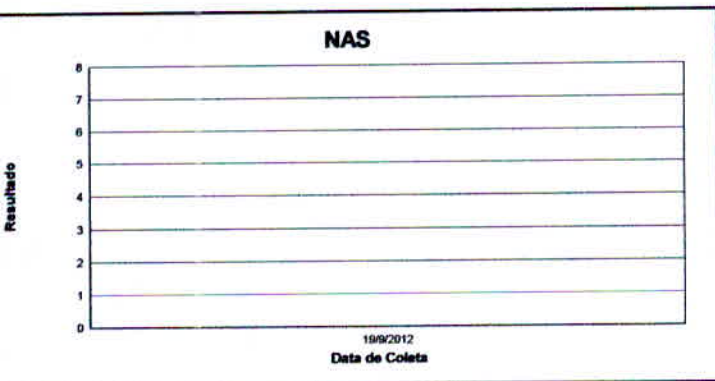
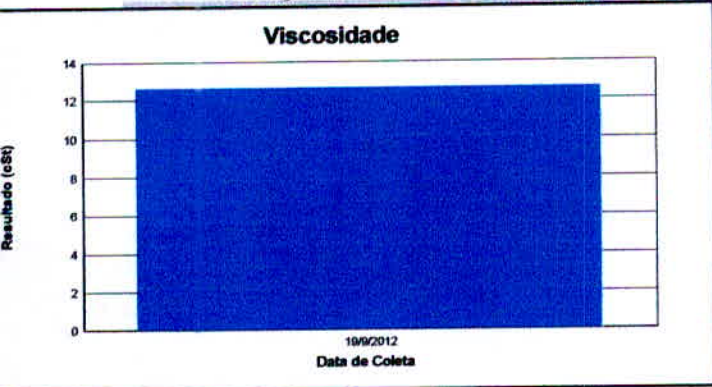
Molibdênio	D-5185	ppm	18
Magnésio	D-5185	ppm	15
Cálcio	D-5185	ppm	2687
Bário	D-5185	ppm	0
Fósforo	D-5185	ppm	655
Zinco	D-5185	ppm	707

Contaminantes

Sódio	D-5185	ppm	0
Silício	D-5185	ppm	6
Boro	D-5185	ppm	0
Vanádio	D-5185	ppm	0

INFRAVERMELHO FTIR

Fuligem	FTIR-JOAP	A/c	4,990424
Glicol	FTIR-JOAP	A/c	0,181236
Sulfatos	FTIR-JOAP	A/c	18,831206
Nitratos	FTIR-JOAP	A/c	7,636005
Oxidação	FTIR-JOAP	A/c	13,013895




 Manoel Cabral
 Técnico Responsável

ANEXO C - Relatório de análise de lubrificantes para a amostra referente à viatura placa HMH 1519

Relatório de Análise de Lubrificantes



CLIENTE: NILTON JOSE DE CARVALHO Unidade: N.A Equipamento: VIATURA RESGATE FIAT DUCATO MAXICARG Compartimento: N.A Lubrificante: VS MAX DIESEL 15W40 Tempo de Uso: 72000 KM	N° Cliente: 00445 N° Amostra: TO0017818 TAG: F1AE0481T - PLACA HMH 1519 Volume: N.A Data da Coleta: 18/09/2012 Data do Laudo: 8/10/2012	Relatório N.º: AA19225 Status da Amostra Alarme
Recomendações: A amostra analisada apresenta baixa reserva alcalina esta condição facilita a formação de ácidos na qual podem gerar corrosão nos componentes internos. Através da ferrografia analítica é possível identificar partículas de desgaste natural menores que 2 micras, estas partículas não sugerem nenhum desgaste. Recomendamos que seja feita a troca do óleo de acordo com a especificação do fabricante.		

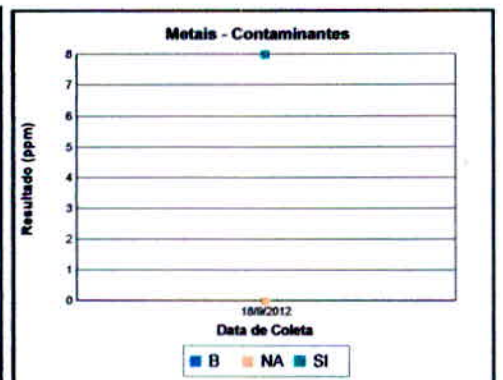
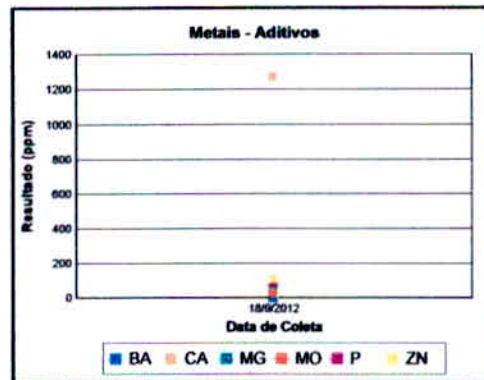
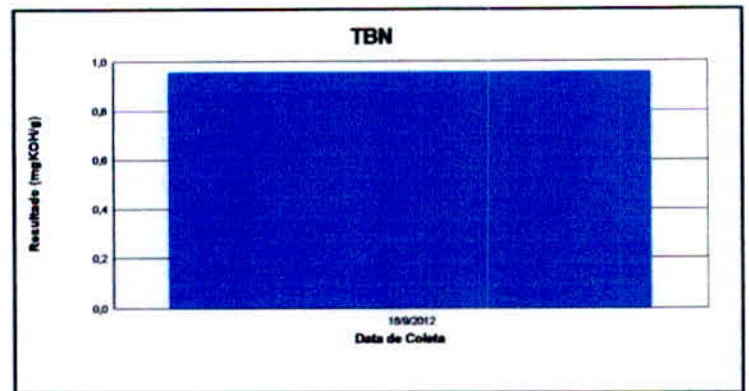
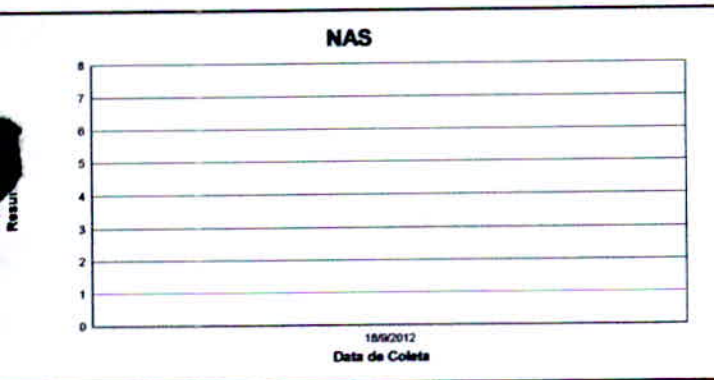
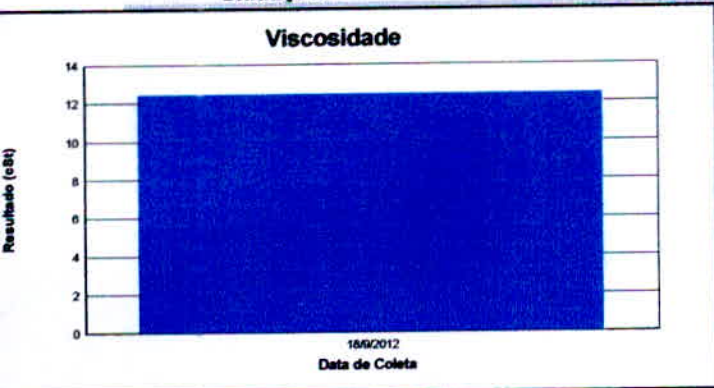
FÍSICO-QUÍMICOS			
		18/9/2012	
		AA19225	
Viscosidade (100°C)	D-445	cSt	12,46
Viscosidade (40°C)	D-445	cSt	102,9
Índice de Viscosidade	TestOil		114
TBN	D-4739	mgKOH/g	0,96
Água %	TestOil	%	<0,2

CONTAGEM DE PARTÍCULAS			
>4µ	ISO 4406	Ct/cd	N/A
>6µ	ISO 4406	Ct/cd	N/A
>14µ	ISO 4406	Ct/cd	N/A
ISO	ISO 4406		N/A
NAS	NAS-1638		N/A
DR (L)	Ferrog. Analit.		17575
DR (S)	Ferrog. Analit.		18931
DR (L + S)	Ferrog. Analit.		36506
DR (PLP)	Ferrog. Analit.		3,714

ANÁLISE ESPECTROMÉTRICA DE METAIS			
Desgaste			
Ferro	D-5185	ppm	64
Cobre	D-5185	ppm	10
Cromo	D-5185	ppm	5
Alumínio	D-5185	ppm	10
Chumbo	D-5185	ppm	27
Prata	D-5185	ppm	0
Estanho	D-5185	ppm	20
Níquel	D-5185	ppm	0
Manganês	D-5185	ppm	0
Titânio	D-5185	ppm	0
Cádmio	D-5185	ppm	0
Aditivos			
Molibdênio	D-5185	ppm	28
Magnésio	D-5185	ppm	43
Cálcio	D-5185	ppm	1273
Bário	D-5185	ppm	0
Fósforo	D-5185	ppm	87
Zinco	D-5185	ppm	110
Contaminantes			
Sódio	D-5185	ppm	0
Silício	D-5185	ppm	8
Boro	D-5185	ppm	0
Vanádio	D-5185	ppm	0

INFRAVERMELHO FTIR

Fuligem	FTIR-JOAP	A/c	20,909728
Glicol	FTIR-JOAP	A/c	0,692897
Sulfatos	FTIR-JOAP	A/c	19,166701
Nitratos	FTIR-JOAP	A/c	9,482017
Oxidação	FTIR-JOAP	A/c	13,196378



Assinatura
 Identificação: [illegible]
 Controle: [illegible]