

UNIVERSIDADE DO SAGRADO CORAÇÃO

VANDERLÉIA DE OLIVEIRA NASCIMENTO

**MONITORAMENTO DA VIDA ÚTIL DO
LUBRIFICANTE AUTOMOTIVO 15W40**

BAURU
2016

VANDERLÉIA DE OLIVEIRA NASCIMENTO

**MONITORAMENTO DA VIDA ÚTIL DO
LUBRIFICANTE AUTOMOTIVO 15W40**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas da Universidade do Sagrado Coração como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Química, sob orientação da Prof.^a M.^a Bárbara de Oliveira Tessarolli.

BAURU
2016

Nascimento, Vanderleia de Oliveira

N244v

Monitoramento da vida útil do lubrificante automotivo 15W40
/ Vanderleia de Oliveira Nascimento. -- 2016.

42 f. : il.

Orientadora: Profa. M.^a Barbara de Oliveira Tessarolli.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em
Química) - Universidade do Sagrado Coração - Bauru - SP

1. Óleo lubrificante. 2. Análises físico-químicas. 3. Vida
útil. 4. Manutenção Preventiva. 5. Motor. I. Tessarolli,
Barbara de Oliveira. II. Título.

VANDERLÉIA DE OLIVEIRA NASCIMENTO

MONITORAMENTO DA VIDA ÚTIL DO LUBRIFICANTE AUTOMOTIVO 15W40

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas da Universidade do Sagrado Coração como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Química, sob orientação da Prof.^a M.^a Bárbara de Oliveira Tessarolli.

Banca examinadora:

Prof.^a M.^a Bárbara de Oliveira Tessarolli
Universidade do Sagrado Coração

Prof. Dr. Aroldo Magdalena
Universidade Estadual Paulista

Prof. Dr. Herbert Duchatsch Johansen
Universidade do Sagrado Coração

Bauru, 15 de Junho de 2016.

Dedico este trabalho, aos meus pais, Osmarina e Durvalino, que com todo amor me ensinaram a importância de ter responsabilidade. E sempre me deram forças para nunca desistir e batalhar para alcançar minhas conquistas. Amo muito vocês. Ao meu avô José Leal (em memória), a quem eu desejaria muito que estivesse presente nesse momento tão importante para mim.

Aos meus avós Marcelina, Rosalina e Sisínio (em memória), que ficariam muito orgulhosos por essa conquista em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por estar sempre presente em minha vida, e pelas graças recebidas durante todos esses anos acadêmicos.

Aos meus pais, Osmarina e Durvalino, por todo amor, carinho e educação que tenham me presenteado durante toda minha vida. E por sempre me apoiarem.

Ao meu namorado Neizedan, por todo companheirismo, paciência, disposição, amor e carinho, e por sempre estar ao meu lado, me ajudando e incentivando em todos os momentos.

A minha irmã Vanessa e meu cunhado Murillo, por todos conselhos, pelo carinho e ensinamentos que levarei para minha vida toda. Eternamente grata a vocês por tudo!

A minha irmã Vanieli, meu cunhado Fabiano, por sempre torcerem pelo meu sucesso e pelas suas orações.

Aos meus sobrinhos, João Pedro e Maria Vitória, que em vários finais de semana me proporcionaram seus sorrisos e carinhos, me fazendo esquecer as ansiedades e todos os problemas.

Aos meus sogros, Eliane e Sidinei, por todo carinho e apoio para que eu conseguisse concluir esse trabalho.

Às avós do coração, Aparecida e Rita, pelo carinho e paparico que sempre tiveram comigo.

A minha amiga e companheira de estudo e trabalho Camila, que desde o início da nossa carreira estivemos sempre juntas batalhando, em busca dos nossos sonhos.

As minhas amigas, Daniela e Josiane, pela amizade construída durante esses anos e que com certeza será para vida toda.

Aos amigos e “primos” Thiago e Mariana, que me proporcionaram momentos de alegrias e muitas risadas.

A todos os colegas da sala, pela amizade que construímos durante a minha vida acadêmica.

À minha orientadora Barbara Tessarolli, pelas orientações que agregaram muito para o desenvolvimento desse trabalho.

A equipe do laboratório, por toda disponibilidade e ajuda durante o desenvolvimento desse trabalho.

A todos os professores do curso de Química da USC, por terem compartilhado todo conhecimento necessário para minha formação e carreira profissional.

“O saber a gente aprende com os mestres e com os livros. A sabedoria, se aprende é com a vida e com os humildes.”

Cora Coralina

RESUMO

Nos dias atuais a mão-de-obra vem sendo cada vez mais substituída por máquinas, que por sua vez necessitam de lubrificação para obterem sempre o melhor desempenho. Os óleos lubrificantes são fluidos nos quais diminuem o atrito das peças móveis, previnem o desgaste metálico, refrigeram as peças e também limpam e mantêm limpo o motor. Porém após um determinado tempo de uso o lubrificante perde suas características e funções iniciais, ficando ineficaz ao equipamento. A vida útil do óleo lubrificante pode ser determinada através de monitoramento, onde as análises físico-químicas irão mapear as características do lubrificante utilizado. Essas análises são uma ferramenta preventiva onde podem diminuir o risco de falhas prematuras. No presente trabalho, foi realizado um monitoramento no lubrificante retirado de um motor de um determinado equipamento durante o ano de 2015 utilizando das análises de metais, oxidação, viscosidade, índice de viscosidade, ponto de fulgor, índice de acidez e índice de basicidade.

Palavras-Chave: Óleo Lubrificante. Motor. Vida Útil. Análises Físico-Químicas. Manutenção Preventiva.

ABSTRACT

Nowadays the hand labor is being increasingly replaced by machines, which in turn require lubrication to always get the best performance. Lubricating oils are fluids in which decrease the friction of moving parts, prevent metallic wear cool parts, and clean and kill clean the engine. However after a certain time of use the lubricant loses its characteristics and initial functions, being ineffective to equipment. The useful life of the lubricant oil can be determined through a monitoring where the physicochemical analysis will map the characteristics of the lubricant used, these analyzes are a preventive tool which can reduce the risk of premature failure. It conducted a monitoring on the removed an engine lubricant of certain equipment during the year 2015 using the analysis of metals, oxidation, viscosity, viscosity index, flash point, acid index and basicity index.

Key Words: Lubricant. Physical Chemistry analysis. Lifespan. Preventive maintenance. Motor

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Banho Viscosímetro.	15
Figura 2 – Vaso Aberto <i>Cleveland</i>	17
Figura 3 – Titulador Automático.	18
Figura 4 – Espectrofotômetro de Emissão Atômica	20
Figura 5 – Espectrofotômetro de Infravermelho.	21
Figura 6 – Monitoramento de (a) Basicidade.....	34
Figura 6 – Monitoramento do (b) Cálcio.....	34
Figura 7 – Monitoramento da (a) Acidez.....	34
Figura 7 – Monitoramento da (b) Oxidação.....	34
Figura 8 – Monitoramento da (a) Viscosidade	35
Figura 8 – Monitoramento do Ponto de (b) Fulgor.....	35
Figura 9 – Monitoramento do Teor de (a) Cobre.....	35
Figura 9 – Monitoramento do Teor de (b) Ferro.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Monitoramento da Viscosidade a 100 °C, 40 °C e Índice de Viscosidade.	31
Tabela 2 – Monitoramento do Ponto de Fulgor.	31
Tabela 3 – Monitoramento do Índice de Basicidade e Acidez.	32
Tabela 4 – Monitoramento da Concentração de Metais Pesados.	33
Tabela 5 – Monitoramento da Oxidação, Nitração, Fuligem e Sulfatos.	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Al – Alumínio

API – American Petroleum Institute

ASTM – American Society for testing and materials

B – Boro

Ca – Cálcio

Cr – Cromo

Cu – Cobre

Fe – Ferro

IBP – Instituto Brasileiro do Petróleo

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia

Mg – Magnésio

Mo – Molibdênio

NBR – Normas Brasileiras

P – Fósforo

PA – Para Análise

Pb – Chumbo

ppm – partes por milhão

SAE – Society of Automotive Engineers

Si – Silício

Sn – Estanho

TAN – Total Acid Number

TBN – Total Base Number

Zn – Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 JUSTIFICATIVA	13
3 OBJETIVOS	14
3.1 OBJETIVO GERAL	14
3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	14
4 MATERIAIS E MÉTODOS	15
4.1 ENSAIOS FÍSICO-QUÍMICOS	22
4.1.1 Determinação da Viscosidade Cinemática	22
4.1.2 Determinação do Índice de Viscosidade	23
4.1.3 Determinação do Ponto de Fulgor	24
4.1.4 Determinação da Acidez (TAN)	24
4.1.5 Determinação do Índice de Basicidade (TBN)	26
4.1.6 Determinação de Metais	26
4.1.7 Determinação da Oxidação (Infravermelho)	27
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
5.1 O PRETRÓLEO	15
5.2 ÓLEOS LUBRIFICANTES	15
5.3 FUNDAMENTOS DA LUBRIFICAÇÃO AUTOMOTIVA	16
5.4 TIPOS DE LUBRIFICANTES	17
5.5 ADITIVO PARA LUBRIFICANTES	18
5.5.1 Detergentes	18
5.5.2 Anticorrosivos	18
5.5.3 Antiespumante	19
5.5.3 Antioxidantes	19
5.6 CONTAMINAÇÃO E DETEORIZAÇÃO DO ÓLEO LUBRIFICANTE	20
5.7 CONTAMINAÇÃO DO ÓLEO LUBRIFICANTE AUTOMOTIVO	20
5.8 A TROCA DO ÓLEO LUBRIFICANTE AUTOMOTIVO	20
5.9 MUDANÇA DA VISCOSIDADE NO MOTOR	21
5.10 CONTAMINAÇÃO POR DESGASTE METÁLICO	22
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, com o avanço da tecnologia, a mão de obra humana vem sendo substituída, e as máquinas, por outro lado, necessitam de lubrificação para exercerem suas funções com melhor desempenho. Os fabricantes de óleos lubrificantes investem no desenvolvimento de produtos cada vez mais eficientes e que proporcionem melhores rendimentos, tanto industrialmente como no ramo automotivo. (POSSAMAI, 2011)

Óleos lubrificantes são fluídos usados na redução do atrito e diminuição da deteriorização de partes móveis de motores automobilísticos ou equipamentos industriais, onde a lubrificação constante é necessária. Após um tempo de uso, o óleo lubrificante vai se tornando ineficaz devido à degradação de seus aditivos, perdendo assim as características que lhe foram empregadas na fabricação, necessitando da troca. (POSSAMAI, 2011)

Além da lubrificação das superfícies metálicas, os lubrificantes também possuem outras características e funções tais como refrigerar através da troca de calor, "retirando" o calor produzido pelo atrito entre superfícies entrando em contato pelo movimento em motores, havendo também a transferência de calor pelo óleo através do contato entre os componentes. Também limpam e mantêm limpo os motores, pois uma das fundamentais atividades do lubrificante é a retirada das fuligens ou partículas que resultam da combustão incompleta, mantendo-as em suspensão no óleo lubrificante, evitando assim a incrustação dos mesmos. O óleo lubrificante também veda a câmara de combustão, impedindo assim a saída de lubrificantes e a entrada de contaminantes externos no compartimento. (MAIA, 2009)

2 JUSTIFICATIVA

A análise de óleo lubrificante é uma ferramenta preventiva para diminuir o risco de falhas prematuras pelo monitoramento da contaminação do óleo durante o funcionamento do motor. Dentro dessa perspectiva, o presente trabalho busca apresentar dados relacionados para avaliar o desempenho do lubrificante automotivo 15W40 dentro de um simulador, através das análises físico-químicas. Dessa forma, é possível evitar prováveis problemas no motor ocasionado pelo lubrificante contaminado, como também a sua vida útil. As análises do óleo lubrificante podem revelar informações importantes sobre as condições em que o mesmo, no interior do motor do automóvel, determinando a concentração e a natureza dos metais de desgaste, dos contaminantes, bem como as características básicas dos lubrificantes, possibilitando a correção de um problema futuro no motor.

3 OBJETIVOS

Nos próximos itens, serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos, que direcionam esta pesquisa de Trabalho de Conclusão de Curso.

3.1 OBJETIVO GERAL

Identificar a vida útil do óleo lubrificante automotivo 15W40 a partir de análises físico-químicas.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Levantar a especificação do óleo lubrificante 15W40 novo;
- b) Avaliar o desempenho do lubrificante através das análises físico-químicas;
- c) Realizar análises de viscosidade cinemática, índice de viscosidade, ponto de fulgor, índice de basicidade, índice de acidez, metais e oxidação em óleo lubrificante;
- d) Comparar a qualidade em relação a um produto já aprovado segundo ficha técnica;
- e) Determinar a vida útil do lubrificante;
- f) Analisar as condições do óleo dentro do motor;
- g) Conscientizar a troca do óleo adequadamente para evitar a formação da borra.

4 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

4.1 O PETRÓLEO

São várias as teorias sobre o surgimento do petróleo, porém, a mais aceita é que ele originou-se através de rejeitos orgânicos de animais e vegetais situados no fundo de lagos e mares, passando por mudanças químicas e físicas ao longo de milhares de anos. É um líquido viscoso e inflamável e que possui estado físico oleoso e com densidade menor do que a água. Sua composição química é de hidrocarbonetos com diferentes propriedades e pontos de ebulição. (ALEGRE, 2009)

De forma simples pode-se caracterizar o petróleo como sendo a somatória entre hidrocarbonetos e impurezas. Considerado um fluido oleoso, inflamável, e com uma densidade menor que a da água. Dependendo da região de onde é extraído, o petróleo apresenta características diferentes como cor, densidade, viscosidade, acidez, etc. (ALEGRE, 2009)

O modo pelo qual os processos de refino são combinados em uma determinada refinaria depende da composição e características do óleo cru. Basicamente, o refino possui três objetivos:

- Produção de combustíveis;
- Produção de insumos químicos;
- Produção de óleos básicos e parafinas.

4.2 ÓLEOS LUBRIFICANTES

Óleos lubrificantes são usados na redução do atrito e diminuição do desgaste de partes móveis de motores de automóveis ou equipamentos industriais que necessitam lubrificação contínua. O óleo básico é o componente mais importante na formação de um óleo lubrificante. Após um determinado tempo de utilização, o óleo lubrificante perde seu rendimento devido o desgaste de seus aditivos, deixando de ter as propriedades que lhe foram empregues na sua produção, necessitando ser substituído. (POSSAMAI, 2011)

4.3 FUNDAMENTOS DA LUBRIFICAÇÃO AUTOMOTIVA

Os componentes do motor estão submetidos a desgaste contínuo mesmo em condições normais de operação, e isto é minimizado pelo uso de óleos lubrificantes. A lubrificação de um motor afeta o seu desempenho e a vida útil dos componentes. A função primária do sistema de lubrificação é fornecer um filme contínuo de óleo entre as superfícies que estão em movimento relativo com o objetivo de reduzir o atrito, prevenindo o desgaste. Secundariamente, desempenha função de resfriar as partes em movimento, proteger as superfícies metálicas contra corrosão, remover ou prevenir a entrada de contaminantes entre as peças e manter o motor razoavelmente livre de materiais depositados. (POSSAMAI, 2011)

O atrito entre partes metálicas, altas temperaturas, pressão e a corrosão causada por agentes químicos, são os principais causadores desses desgastes. Na medida em que o motor funciona, a concentração de resíduo de metais aumenta, lentamente, devido ao desgaste normal. Este leve aumento indica que todos os componentes do motor estão funcionando normalmente. Porém, se a concentração de um ou mais metais aumentar bruscamente, é possível que algum componente esteja sofrendo desgaste excessivo. As partículas que aparecem no óleo lubrificante, comprometem o motor e vão para coletores, filtros e sensores, podendo causar sérios danos e posterior falha do equipamento. (POSSAMAI, 2011)

O aumento da quantidade de alguns elementos-chaves no óleo lubrificante pode indicar a extensão do desgaste de componentes lubrificados. Por exemplo, um aumento abrupto de níquel, estanho ou cromo indica corrosão em casquilhos (peças encontradas na parte interna de um motor com função de reduzir o desgastes dos mesmos), válvulas e pistões. Ferro indica corrosão em vários componentes, mais provavelmente de cilindros. Sódio indica contaminação de óleo pelo líquido de arrefecimento. Elementos como prata, boro, bário, bismuto, cálcio, cádmio, cobalto, cromo, ferro, mercúrio, magnésio, molibdênio, níquel, fósforo, antimônio, selênio, estanho, titânio e zinco são propositalmente introduzidos em pequenas quantidades nos óleos lubrificantes para conferir requisitos para aplicações especiais. Nestes casos, compostos metal-orgânicos contendo estes elementos atuando como aditivos melhoram a capacidade de lubrificação e as propriedades como antioxidante, anticorrosivo, dispersante, antidesgaste e outros. (POSSAMAI, 2011)

O monitoramento quantitativo do desgaste é um problema complexo e difícil. Uma grande variedade de métodos tem sido desenvolvida para corrigir e quantificar a presença de elementos contaminantes no óleo devido ao desgaste prematuro do motor e a espectrometria de emissão atômica é certamente o método mais utilizado. (POSSAMAI, 2011)

O atrito e o desgaste são eventos influenciados pelo meio em que ocorrem e dependem de variáveis externas e do tipo de material que compõe o sistema tribológico. Antes de se desenvolver qualquer modelo teórico os mecanismos de desgaste devem ser muito bem compreendidos. É sabido que no início do funcionamento de um motor, denominado de amaciamento (*running-in*), as asperezas presentes nas superfícies dos componentes produzem uma quantidade significativa de partículas decorrentes do desgaste inicial normal. Após um período curto de amaciamento do motor, no entanto, as superfícies de atrito estão emparelhadas e com maior área real de contato alcançada, reduzindo o desgaste ou a mudança do mecanismo de desgaste, como, por exemplo, um desgaste oxidativo leve, que é a formação de óxidos nas áreas reais de contato. Após esse período, a tendência é de que haja uma estabilização do nível de desgaste (início do período de vida útil), até que volte a apresentar níveis mais elevados de desgaste em função da utilização dos componentes e degradação natural e esperada. O resultado do desgaste proveniente do período de amaciamento afeta significativamente o comportamento do sistema podendo propiciar um regime de desgaste agressivo e danoso. Um apropriado período de amaciamento é necessário para prolongar a vida útil do motor. (POSSAMAI, 2011)

4.4 TIPOS DE LUBRIFICANTES

É necessária a consulta prévia do manual do veículo para saber qual o lubrificante correto que deve ser adicionado ao automóvel. Alguns dados de referência são de extrema importância, tais como o SAE (Society of Automotive Engineers) que é classificação baseada na viscosidade do lubrificante e a classificação API (American Petroleum Institute), indica o grau de serviço do lubrificante. Abaixo são citados alguns tipos de lubrificantes. (ALEGRE, 2009)

O óleo multiviscoso é o mais comum no mercado, pelo fato de ser adequado a qualquer motor. Ele se adapta à viscosidade conforme a temperatura do motor. O

óleo semissintético é uma mistura do óleo sintético com o mineral, onde é recomendada para motores mais potentes que trabalham em altas rotações. (ALEGRE, 2009)

O óleo sintético mantém-se com viscosidade constante independentemente da temperatura do motor, com isso tende a não carbonizar o motor. (ALEGRE, 2009)

A figura 6 abaixo mostra os diferentes tipos de lubrificantes.

4.5 ADITIVO PARA LUBRIFICANTES

Os aditivos são substâncias que, quando adicionados aos lubrificantes melhoraram certas propriedades específicas, podendo mudá-las profundamente mesmo quando usados em pequenas quantidades. O acréscimo de aditivos em certos lubrificantes veio da necessidade do aperfeiçoamento das máquinas que, por conseguinte, impôs à melhoria das suas qualidades naturais dos lubrificantes para acompanhar esse desenvolvimento. (ALEGRE, 2009)

4.5.1 Detergentes

Os aditivos detergentes fazem parte de uma das categorias principais dos aditivos utilizados em lubrificantes para motores e máquinas. Assim, esse tipo de aditivo são óleos destinados à lubrificação de motores somente, servindo para “limpar” os resíduos de carbono que podem existir durante a combustão. (ALEGRE, 2009)

Dessa forma, esse aditivo mantém o lubrificante em suspensão e, após algum tempo, dispersa o carbono formado na massa de óleo que, após o esvaziamento do cárter, é totalmente eliminado. Além dessa característica, ele deixa as paredes internas dos motores perfeitamente limpas, tirando qualquer resíduo de carbono e vernizes (ALEGRE, 2009)

4.5.2 Anticorrosivos

Os aditivos anticorrosivos fazem parte de uma das categorias principais dos aditivos utilizados em lubrificantes para motores e máquinas. Sua função fundamental é proteger o metal contra o ataque químico da corrosão, existindo dois

tipos, sendo:

- Proteção de partes metálicas da corrosão devido à formação de substâncias ácidas (corrosivas) durante o serviço;
- Proteção contra corrosão atmosférica e contra a umidade durante o armazenamento do óleo e/ou o serviço.

Mesmo que haja tipos diferentes de aditivos anticorrosivos, eles compreendem sempre duas fases: prevenir o contato entre agente corrosivo e metal através da formação de uma película impermeável sobre os metais e, em segundo, remoção dos agentes de corrosão presentes através da neutralização das substâncias ácidas. (DE MATOS, 2011)

4.5.3 Antiespumante

Os aditivos antiespumantes fazem parte de uma das categorias principais dos aditivos utilizados em lubrificantes para motores e máquinas. Como o próprio nome já diz, esse tipo específico de aditivo visa impedir a formação de espuma, melhorando a resistência ao desenvolvimento desta. (DE MATOS, 2011)

Quando agitados de maneira violenta com o ar, os óleos lubrificantes podem formar espumas indesejáveis em certos casos (sistemas hidráulicos, caixas de engrenagens, entre outros). O aditivo antiespumante desmancha as bolhas de ar no mesmo instante em que elas atingem a superfície livre do óleo. (DE MATOS, 2011)

4.5.3 Antioxidantes

Os aditivos antioxidantes fazem parte de uma das categorias principais dos aditivos utilizados em lubrificantes para motores e máquinas. Esses tipos de aditivos - também conhecidos como inibidores da oxidação - evitam as reações de oxidação, pois possuem maior afinidade química com o oxigênio, não permitindo a oxidação com o metal enquanto existir o aditivo, aumentando a vida útil do equipamento. (DE MATOS, 2011)

Isso ocorre porque os derivados de petróleo podem sofrer oxidação por possuírem oxigênio, assim formando gomas, vernizes e borras – produtos ácidos que

aumentam o risco de corrosão. Com isso acabam por aumentar a vida útil do óleo, além de reduzir os depósitos. Como já dito anteriormente, a presença de antioxidantes pode prolongar a vida útil de utilização de um óleo lubrificante mas, quando o antioxidante é considerado totalmente gasto, ele deve ser trocado mesmo que ainda esteja no prazo de troca estabelecido, pois perde sua principal função: evitar a oxidação. (DE MATOS, 2011)

4.6 CONTAMINAÇÃO E DETEORIZAÇÃO DO ÓLEO LUBRIFICANTE

A contaminação pode ser determinada pelo ensaio de viscosidade, TBN (Total Base Number), TAN (Total Acid Number), oxidação (infravermelho), identificando a presença de glicol, diluição de combustível, nitratos, oxidação, sulfatos e fuligens, composição de aditivos, ponto de fulgor, realizando a contagem de partículas metálicas no óleo lubrificante, pela presença de alumínio, potássio, sódio, silício e outros. (BERTTINATO, 2014)

A deteiorização é um processo onde diminui o rendimento do óleo em realizar as funções que foram empregadas, isto é, lubrificar, proteger, limpar, refrigerar e vedar, causada pela mudança de suas propriedades físicas e químicas, devido às diferenças de condições que é submetido o óleo dentro do motor, tais como as altas temperaturas, grandes tensões de cisalhamento, compostos corrosivos, contaminações, deteiorização etc. (BERTTINATO, 2014)

4.7 CONTAMINAÇÃO DO ÓLEO LUBRIFICANTE AUTOMOTIVO

Entende-se por contaminação do óleo a presença de elementos estranhos, tais como as partículas metálicas e óxidos metálicos, pó advindo da admissão (filtro obstruído), combustível, água e ácidos derivado dos gases de combustão e da própria oxidação do óleo lubrificante. (BERTTINATO, 2014)

4.8 A TROCA DO ÓLEO LUBRIFICANTE AUTOMOTIVO

O lubrificante tem a propriedade de manter sua eficiência quando submetido a temperaturas de funcionamento por períodos longos, e perde o quanto antes essa propriedade quando há uma grande variação nessa temperatura. Em média os

fabricantes estabelecem que para a troca do lubrificante seja feita em torno de 5000 quilômetros rodados. Se a utilização do motor for por um período longo e a uma temperatura constante, sem muitas variações durante os períodos, pode-se então prolongar para 6000 quilômetros para efetuar a troca do lubrificante. (BERTTINATO, 2014)

O contrário acontece se a utilização do motor for em pequenas distâncias e com paradas médias, deixando o óleo pouco aquecido e esfriando logo em seguida, nessas condições deve-se efetuar a troca a cada 2000 ou 3000 quilômetros. (BERTTINATO, 2014)

4.9 MUDANÇA DA VISCOSIDADE NO MOTOR

A viscosidade é uma das características mais significativa dos lubrificantes e está ligada com o atrito entre as moléculas do fluido, e é definida como a resistência ao escoamento ou a resistência oferecida por um fluido (líquido ou gasoso) ao movimento ou ao escoamento. Fluidos com alta viscosidade têm uma alta viscosidade, como o mel, isto é, eles não escorrem facilmente. Fluidos mais “finos”, tais como a água, fluem facilmente, significando que possuem baixa viscosidade. Os óleos lubrificantes são produzidos em várias viscosidades, podendo-se obter outras intermediárias através da mistura entre os óleos básicos. (BERTTINATO, 2014)

O uso de algum produto com viscosidade diferente da especificada pode ocasionar a mudança da viscosidade no motor. Há também outra maneira de se alterar a viscosidade do fluido no motor, que é através da contaminação, abaixo são elencadas algumas formas de contaminação:

- Fuligem;
- Má combustão;
- Ineficiência dos filtros de óleo;
- Vazamentos vindo de compartimentos adjacentes.

A degradação do óleo também ocorre devido à operação a temperaturas acima do indicado, intervalo excessivo de troca de óleo, camisas gastas e refrigeração inadequada. O óleo lubrificante pode ser contaminado facilmente por água através dos sistemas internos de refrigeração do carro, onde a água é condensada e

contamina o lubrificante. (BERTTINATO, 2014)

4.10 CONTAMINAÇÃO POR DESGASTE METÁLICO

A importância dos valores de metais de desgaste varia de acordo com o fabricante do modelo do equipamento e com o tipo de serviço; também devem ser consideradas as condições ambientais, períodos de troca, intervalos de troca de filtros, etc. Os valores não devem ser julgados unicamente por seu níveis absolutos e sim por mudanças abruptas ou rápidas desses níveis, os quais podem indicar uma modificação nas condições mecânicas ou operacionais do equipamento. Estudo da correlação entre metais oriundos de desgaste, tais como: cobre/chumbo, cromo/ferro, estanho/chumbo muitas vezes oferecem indícios que poderão precisar exatamente quais os componentes sofrendo desgaste anormal e a causa deste. (BERTTINATO, 2014)

5 MATERIAIS E MÉTODOS

As análises físico-químicas do óleo lubrificante para o presente trabalho foram realizadas num laboratório situado no município de Lençóis Paulista, interior do estado de São Paulo, a 300 km da capital. O laboratório possui acreditação do Inmetro (Instituto Nacional de Metodologia, Qualidade e Tecnologia) para os ensaios de óleo lubrificante. Além dessas análises também realiza ensaios em tintas e combustíveis.

5.1 ENSAIOS FÍSICO-QUÍMICOS

Os ensaios que foram realizados no óleo lubrificante serão listados abaixo, os quais são instruídos pela norma NBR 17025 (norma brasileira) e normas específicas.

5.1.1 Determinação da Viscosidade Cinemática

Para este ensaio utilizou-se o procedimento indicado pela norma e NBR 10441, que diz sobre “Produtos de petróleo — Líquidos transparentes e opacos — Determinação da viscosidade cinemática e cálculo da viscosidade dinâmica”.

O tempo é medido para que um volume fixo de líquido escoe sobre ação da gravidade através do capilar de um viscosímetro de marca Petrodidática, conforme Figura 1 abaixo, calibrado a uma temperatura conhecida e rigorosamente controlada.

Figura 1: Banho viscosímetro cinemático



Fonte: Arquivo particular do autor

A viscosidade cinemática é o produto do tempo de escoamento medido pela constante de calibração do viscosímetro. O resultado da viscosidade cinemática é a medida de duas determinações aceitáveis.

Foram medidas viscosidades cinemáticas a 40 e 100 °C, onde se usou como solvente de limpeza o querosene de aviação e como solvente de secagem a propanona, conforme recomendado pela norma. A temperatura do banho foi controlada, para que a mesma não virasse mais que 0,02 °C.

5.1.2 Determinação do índice de viscosidade

Para este ensaio se utilizou o procedimento indicado pela norma NBR 14358, que diz sobre a “Determinação do índice de viscosidade a partir da viscosidade cinemática”.

O índice de viscosidade de um produto de petróleo deve ser calculado com base na média dos valores de viscosidade cinemática determinados. Os dados em duplicata para a viscosidade cinemática só devem ser considerados aceitáveis quando estiverem dentro dos limites de aceitação estabelecidos na NBR 10441 para a repetitividade e reprodutibilidade.

5.1.3 Determinação do Ponto de Fulgor

Para este ensaio utilizou-se o procedimento indicado pela norma NBR 11341, que diz sobre “Determinação do ponto de fulgor e de combustão vaso aberto *Cleveland*”.

Ponto de fulgor é a menor temperatura (°C) na qual um líquido libera vapor ou gás em quantidade suficiente para formar uma mistura inflamável. O ensaio é realizado em vaso aberto *Cleveland*, conforme ilustra a Figura 2 abaixo.

Figura 2: Vaso aberto *Cleveland*



Fonte: Arquivo particular do autor

Por mistura inflamável, para fins de apuração do ponto de fulgor, entende-se a quantidade de gás ou vapor misturada com o ar atmosférico suficiente para iniciar uma inflamação em contato com uma chama (isto é, a queima abrupta do gás ou vapor), sem que haja a combustão do líquido emitente. Outro detalhe verificado é que, ao se retirar a chama, acaba a inflamação (queima) da mistura. Trata-se de dado importante para classificação dos produtos combustíveis, em especial no que tange à segurança e aos riscos de transporte, armazenamento e manuseio.

5.1.4 Determinação da Acidez (TAN)

Para este ensaio se utilizou o procedimento indicado pela norma NBR 14448, que diz sobre “Óleos lubrificantes, produtos de petróleo e biodiesel - Determinação do número de acidez pelo método de titulação potenciométrica”.

O índice de acidez é entendido como a quantidade de hidróxido de potássio (KOH) 56,105 g/mol por grama de amostra. Uma amostra foi dissolvida em uma mistura de tolueno 92,13 g/mol e isopropanol 60,1 g/mol e, em seguida são tituladas potenciométricamente com uma solução hidróxido de potássio 0,1 N alcoólico (KOH) 56,105 g/mol, usando eletrodo indicador de vidro. Utilizou-se um modo dinâmico de adição ao titulante com o equipamento DL53 Titrator, conforme Figura 3 a baixo.

Figura 3: Titulador automático



Fonte: Arquivo particular do autor

Durante a titulação, a velocidade e o volume da adição variaram em função da taxa do sistema. O incremento do volume variou de 0,05 a 0,5 mL. Foi necessário, antes de cada medida de acidez, verificar a resposta do par de eletrodos para a leitura de soluções-tampão não aquosas com pH 4 e 11.

5.1.5 Determinação do Índice de Basicidade (TBN)

Para este ensaio se utilizou o procedimento indicado pela norma NBR 5798. Que diz sobre “Número de Basicidade Total de Produtos de Petróleo (Titulação Potenciométrica com Ácido Perclórico)”.

A amostra é dissolvida em um solvente de monoclorobenzeno (C_6H_5Cl) 112,56 g/mol e ácido acético glacial (CH_3COOH) 60,05 g/mol, em seguida é titulada potenciométricamente com a solução de ácido perclórico ($HClO_4$) 100,46 g/mol, em ácido acético glacial ($CH_3H_6O_3$) 60,05 g/mol e anidrido acético ($C_4H_6O_3$) de concentração 102,09 g/mol. É empregado um eletrodo de pH combinado de vidro que deve estar em contato com a solução da amostra por meio de uma ponte salina. As leituras são inseridas em um gráfico contra os respectivos volumes de solução titulante, e o ponto final é obtido pela inflexão na curva resultante.

Após cada titulação, devem-se lavar primeiramente os eletrodos com um solvente de titulação para remover algum material oleoso aderente da titulação anterior. Em seguida os eletrodos são lavados com água para dissolver algum perclorato de sódio ($NaClO_4$) que tenha se formado em volta da junta esmerilhada do eletrodo de referência e para restaurar a camada de gel aquoso do eletrodo de vidro. Posteriormente, deve-se enxaguar novamente com solvente de titulação. Antes de iniciar uma série de titulações de amostra, seguir o procedimento de enxágue e depois fazer uma ou duas titulações em branco do solvente para condicionar os eletrodos. Caso seja necessário, repetir a titulação com um padrão.

5.1.6 Determinação de Metais

Para este ensaio utilizou-se o procedimento indicado pela norma ASTM D6595 (*American Society for testing and materials*), que diz sobre “*Determination of wear metals and contaminants in used lubricating oils or used hydraulic fluids by rotating disc electrode atomic emission spectrometry*”. (Determinação de metais de desgaste e contaminantes em fluidos hidráulicos utilizados óleos lubrificantes ou utilizados por eletrodo rotativo disco de espectrometria de emissão atômica).

Com a intenção de quantificar os metais presentes no óleo lubrificante utilizou-se o espectrofotômetro de emissão atômica Spectroil M/C-W, que são aparelhos onde

medem a emissão óptica de átomos excitados para determinar a concentração de elementos metálicos presentes. Através dessa técnica é possível quantificar a presença de: Fe, Cu, Cr, Pb, Al, Si, Sn, B e Mo. A Figura 4 abaixo ilustra o equipamento utilizado no experimento.

Figura 4: Espectrofotômetro de emissão atômica



Fonte: Arquivo particular do autor

Esse método fornece resultados rápidos e precisos dos contaminantes inorgânicos presente na amostra de óleo. Esses componentes são de especial interesse para se avaliar problemas na lubrificação das partes móveis do motor, podendo ocasionar o desgaste de peças ou alguns problemas provenientes do mau funcionamento do sistema de filtragem do ar.

5.1.7 Determinação da Oxidação (Infravermelho)

Para este ensaio utilizou-se o procedimento indicado pela norma ASTM E2412-10 - *Standard Practice for condition monitoring of In-Service Lubricants by Trend Analysis Using Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectrometry.*

A análise de óleos usados provê informações sobre o estado do óleo, isto é, a máquina das quais vem. A análise é executada obtendo o espectro de um óleo usado e comparando isto com um espectro de um mesmo óleo quando era novo. O Espectro de Infravermelho de marca Perking Elmer OILXPRESS 4, modelo Spectrum Two, consegue detectar essa variação causada pela oxidação, através de um gráfico comparativo, a Figura 5 a seguir mostra o espectro de infravermelho.

Figura 5: Espectrofotômetro de infravermelho



Fonte: Arquivo particular do autor

Onde através da linha de banda ira traçar os picos e os resultados de oxidação será calculado pelo software. Após o término do ensaio, é utilizado o reagente heptano PA para limpeza do equipamento.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste momento serão apresentados os resultados após todo o monitoramento realizado no lubrificante. Os dados foram tabelados de acordo com as análises específicas. Com a finalidade de comparação, são apresentados os resultados do óleo novo com 0 km rodado e os resultados analíticos com as suas perspectivas quilométragens. A Tabela 1 a seguir mostra o monitoramento da viscosidade.

Tabela 1: Monitoramento da viscosidade a 100 °C, 40 °C e índice de viscosidade.

	0 km	15000 km	25000 km	30000 km	45000 km
Viscosidade 40°C "mm ² /s"	105,8 ± 0,2	100,3 ± 0,3	89,4 ± 0,2	86,6 ± 0,2	78,1 ± 0,2
Viscosidade 100°C "mm ² /s"	14,5 ± 0,3	13,8 ± 0,2	12,7 ± 0,2	12,5 ± 0,2	11,5 ± 0,2
Índice de Viscosidade	139,0 ± 0,5	139 ± 0,5	139,0 ± 0,2	140 ± 0,2	139 ± 1,0

Fonte: Elaborado pelo autor

Nos primeiros 15.000 quilômetros rodados a viscosidade esta dentro dos parâmetros, com o tempo de uso ocorreu à redução onde mostra a sua degradação que ira ocasionar o desgaste excessivo do equipamento. As principais causas para se ocorrer a degradação da viscosidade pode se dar a perda do filme de óleo, aumento do atrito mecânico causando um consumo excessivo de energia, vazamentos internos e externos. (RUNGE, 1994). Abaixo segue a Tabela 2 onde mostra o monitoramento do ponto de fulgor.

Tabela 2: Monitoramento do ponto de fulgor

	0 km	15000 km	25000 km	30000 km	45000 km
Ponto de Fulgor °C	226 ± 0,3	224 ± 4,1	218 ± 1,7	204 ± 3,4	192 ± 4,1

Fonte: Elaborado pelo autor

Os primeiros 15.000 quilômetros rodados o lubrificante ainda estava atendendo os limites estabelecidos conforme a especificação. Com o tempo de uso o ponto de fulgor foi diminuindo, identificando a contaminação por combustível. As principais causas da contaminação pode se dar pela reposição com óleo lubrificante de ponto de fulgor mais baixo, contaminação por combustível (diluição), o que pode conduzir a condições favoráveis a uma explosão no cárter, craqueamento térmico do lubrificante

devido a um superaquecimento localizado (sob condições não oxidantes), recipiente de coleta de amostra contaminada com solvente em consequência de secagem incompleta após a lavagem. (RUNGE, 1994) A tabela 3 a seguir mostra o monitoramento do índice de basicidade e acidez.

Tabela 3: Monitoramento do índice de basicidade e acidez

	0 km	15000 km	25000 km	30000 km	45000 km
TAN	2,0034 ± 0,00005	2,039 ± 0,00141	2,366 ± 0,00368	2,443 ± 0,050	2,873 ± 0,002
TBN	10,26 ± 0,074	9,912 ± 0,004	9,412 ± 0,013	9,013 ± 0,004	8,611 ± 0,013

Fonte: Elaborado pelo autor

Os ensaios de Índice de acidez e basicidades são correlacionados. Conforme a acidez foi aumentando a basicidade diminuiu. Ocasionalmente a degradação oxidativa (deteriorização), o aumento do desgaste metálico e a perda da carga de aditivos. O principal objetivo do acompanhamento do TBN é saber o status do pacote de aditivos (se eles foram consumidos). (RUNGE, 1994). A tabela 4 abaixo mostra o monitoramento da concentração de metais.

Tabela 4: Monitoramento da concentração de metais pesados

	0 km	15000 km	25000 km	30000 km	45000 km
Cálcio	3500 ± 16,7	3219 ± 8,4	2908 ± 6,6	2750 ± 6,1	2414 ± 13,5
Fósforo	1130 ± 6,6	1123 ± 3,3	1106 ± 2,9	1090 ± 2,1	958 ± 3,1
Zinco	1180 ± 1,9	1150 ± 3,7	1115 ± 3,7	1002 ± 3,8	734 ± 3,6
Magnésio	9 ± 0,8	9 ± 0,9	10 ± 0,9	10 ± 1,6	10 ± 1,2
Ferro	10 ± 0,8	15 ± 1,6	26 ± 2,1	56 ± 2,2	125 ± 3,6
Cobre	4 ± 0,8	4 ± 0,8	5 ± 1,7	35 ± 3,9	42 ± 2,2
Cromo	1 ± 0,5	1 ± 0,5	1 ± 0,5	1 ± 0,5	1 ± 0,5
Chumbo	5 ± 0,9	5 ± 0,8	6 ± 1,7	9 ± 1,6	15 ± 1,7
Alumínio	4 ± 1,2	5 ± 0,5	5 ± 0,9	2 ± 1,2	6 ± 0,8
Silício	5 ± 0,8	9 ± 0,9	12 ± 1,7	21 ± 2,1	44 ± 1,4
Estanho	1 ± 0,5	1 ± 0,8	1 ± 0,9	1 ± 0,2	1 ± 0,6
Boro	1 ± 0,5	1 ± 0,8	1 ± 0,9	1 ± 0,2	2 ± 0,6
Molibdênio	2 ± 0,9	2 ± 1,4	3 ± 1,7	2 ± 1,9	4 ± 1,2

Fonte: Elaborado pelo autor

Os elementos metálicos (Ca, P, Zn e Mg) sofreram uma perda durante o tempo de uso, indicando a redução dos aditivos presentes no óleo lubrificante. Em respeito aos metais de desgaste (Fe, Cu, Pb e Si), houve um aumento ocasionado por danificações nas peças e compartimentos. O comportamento ao desgaste dos materiais é ditado pelos mecanismos atuantes de desgaste (abrasão, adesão, corrosão e fadiga), os quais dependem da estrutura do tribosistema (corpo, contracorpo, interface e meio ao redor), a forma de ação dos elementos tribológicos (rolamento, deslizamento, impacto e escoamento) e dos parâmetros de operação (carga, velocidade, temperatura, tempo). (RUNGE, 1994). A Tabela 5 abaixo apresenta o monitoramento da oxidação.

Tabela 5: Monitoramento da oxidação, nitração, fuligem e sulfatos

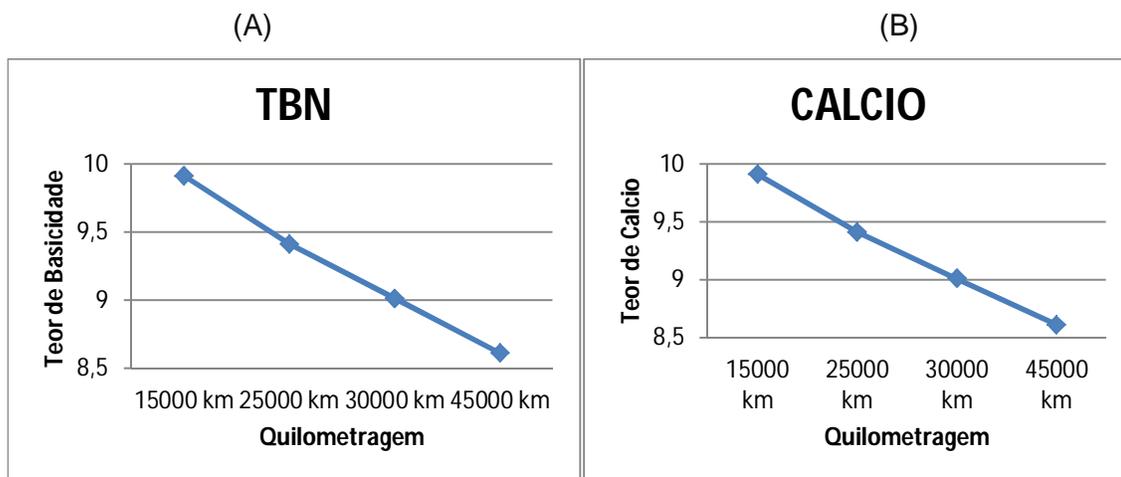
	0 km	15000 km	25000 km	30000 km	45000 km
Oxidação, Abs/cm	1,5 ± 0,1	1,7 ± 0,2	2,5 ± 0,3	8,8 ± 0,3	17,6 ± 0,4
Fuligem, %	0,2 ± 0,05	0,3 ± 0,08	0,5 ± 0,12	1,2 ± 0,26	2,1 ± 0,29
Nitração, Abs/cm	3,5 ± 0,2	3,7 ± 0,2	3,9 ± 0,1	5,8 ± 0,2	6,8 ± 0,2
Sulfatos, Abs/cm	5,4 ± 0,05	5,4 ± 0,12	6,6 ± 0,14	6,5 ± 0,12	10,74 ± 0,02

Fonte: Elaborado pelo autor

A oxidação teve um leve aumento, mas só na última análise ocorreu uma elevação maior onde sua principal causa pode indicar uma máquina que aquece demais ou uma depreciação do aditivo antioxidante devido a um período de mudança do lubrificante em relação ao estipulado. A fuligem teve um aumento nas duas últimas análises causadas pela operação com mistura rica, bicos injetores defeituosos ou entrada de ar de admissão obstruída. A nitração aumenta pela formação de verniz ou laca, a nitração é conhecida também como nitro-oxidação e indica uma relação de ar/combustível incorreta, uma faísca com tempo incorreto, cargas excessivas, baixa temperatura operacional ou pistão soprando. (RUNGE, 1994)

A seguir seguem as Figuras 7 e 8 onde mostram a relação dos ensaios de degradação do óleo lubrificante.

Figura 6: Monitoramento de Basicidade (a), Monitoramento do Cálcio (b).

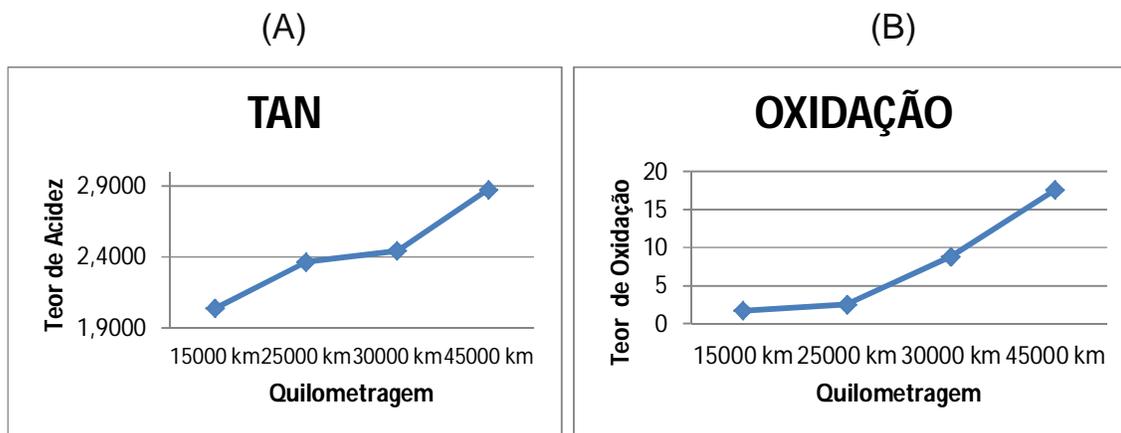


Fonte: Elaborado pelo autor

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 7: Monitoramento da Acidez (a),

Monitoramento da oxidação (b).



Fonte: Elaborado pelo autor

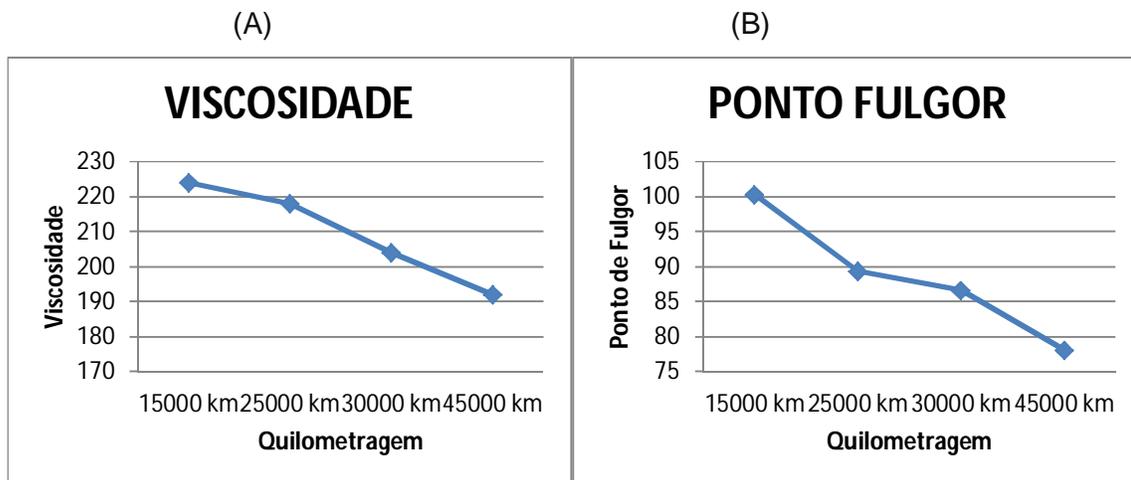
Fonte: Elaborado pelo autor

Observa-se na Figura 7 a relação do cálcio e TBN, pois os mesmos diminuem com o decorrer da quilometragem, devido a depreciação dos aditivos antioxidante e contaminantes externos diferentemente da figura 8 onde os resultados de oxidação e TAN são inversamente proporcionais, pode indicar um alto aquecimento máquina ou uma depreciação no aditivo antioxidante, devido ao uso acima do tempo determinado.

As Figuras 8 e 9 apresentam os resultados da correlação da contaminação do

lubrificante devido à falha mecânica.

Figura 8: Monitoramento da viscosidade(a) Monitoramento do ponto de fulgor(b)

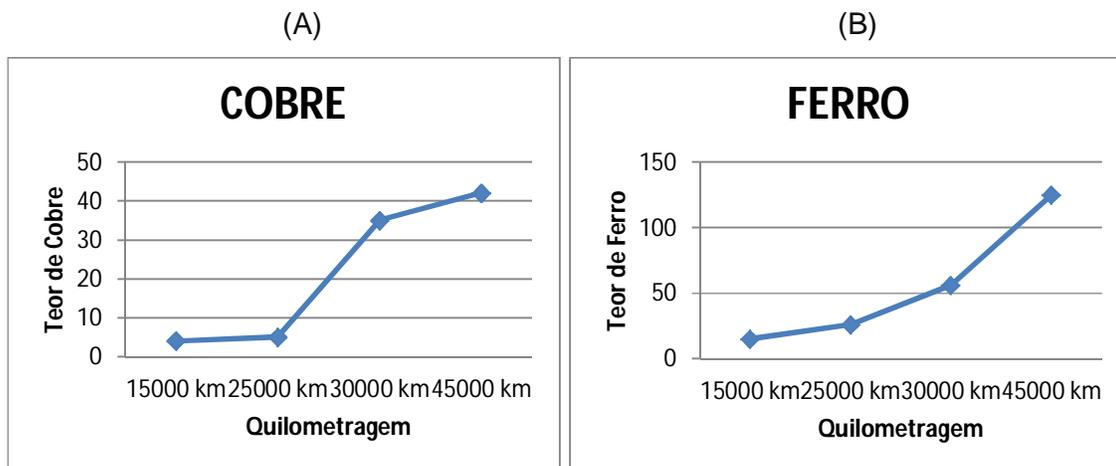


Fonte: Elaborado pelo autor

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 9: monitoramento do teor de cobre

Figura 10: monitoramento do teor de ferro



Fonte: Elaborado pelo autor

Fonte: Elaborado pelo autor

Observa-se na Figura 9 a relação da viscosidade e o ponto de fulgor, pois os mesmos diminuem com o decorrer da quilometragem, devido a contaminação por combustível diferentemente da Figura 10, onde os resultados do teor de cobre e ferro são inversamente proporcionais, onde são ditados pelo mecanismo atuantes de desgastes.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho foi desenvolvido para determinar a vida útil do óleo lubrificante 15W40 automotivo usado, através das análises físico-químicas. A princípio foram realizadas análises do óleo novo e sem uso a fim de se utilizar como padrão para comparação das demais medidas feitas com o óleo já usado.

As análises do óleo lubrificante são um ótimo recurso para auxiliar o desempenho e a manutenção do motor ou equipamento, além de baixar os custos, gastos com lubrificantes e determinar as intervenções necessárias ao bom desempenho da máquina em execução. Podem ainda revelar alteração da viscosidade, contaminação por elementos sólidos e líquidos externos ao motor, contaminação por elementos metálicos externos no motor e a diluição do lubrificante por combustível.

O monitoramento foi feito durante o ano de 2015, onde as análises foram feitas de acordo com a quilometragem do veículo, o parâmetro da viscosidade é o mais importante no monitoramento, pois é o fator crucial na determinação da vida útil do lubrificante.

A partir dos dados foi observado que a partir de 30.000 km o óleo lubrificante já não irá apresentar um bom desempenho no motor do automóvel para este caso em específico, devido a perda das suas propriedades ocasionados pelo desgaste excessivo das peças, a contaminação por combustível e a perda do filme do óleo ocasionado pela degradação da viscosidade.

Aconselha-se que já ocorra a troca do mesmo a fim de não precisar futuramente de alguma manutenção proveniente da má lubrificação das peças internas do motor.

Os resultados das análises mostram importantes revelações sobre o estado e a vida útil do lubrificante, pois os fatores que podem influenciar na degradação e contaminação são vários e devem ser considerado com as informações sobre o estado em geral do equipamento, as condições de operação, o histórico de manutenção, reposições do lubrificante, etc. Em vista desses fatores sobre as interpretações dos resultados das análises, pode-se determinar se o lubrificante continua sendo utilizado ou se já esta no seu limite e tempo de troca.

REFERÊNCIAS

ALEGRE, Guilherme Henrique Mayer Alegre. **Avaliação do uso de mancais ativos em motores de combustão interna**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D6525**: Prática padrão para monitoramento de condições de lubrificantes utilizados pelas análises de tendências usando Fourier Transform Infrared (FT -IR) Espectrometria. West Conshohocken, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E2412-10**: Método de Teste Padrão para Determinação de metais de desgaste e contaminantes em óleos lubrificantes usados ou espectrometria de emissão atômica. West Conshohocken, 2011

ANALISE visual. **mgmdiag.com.br**, [?].Disponível em <<http://www.mgmdiag.com.br/mgm/site/index.php?pg=ensaios>> Acesso em 24 Abr. 2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10441**: Produtos de petróleo - líquidos transparentes e opacos - determinação da viscosidade cinemática e cálculo da viscosidade dinâmica. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14358**: Produtos de petróleo – Cálculo do índice de viscosidade a partir da viscosidade cinemática. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11341**: Derivados de petróleo – Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland. Rio de Janeiro, 2008

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14448**: Óleos lubrificantes, produtos de petróleo e biodiesel – Determinação do número de acidez pelo método de titulação potenciométrica. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5798**: Produtos de petróleo – Determinação do índice de basicidade por titulação potenciométrica com ácido perclórico. Rio de Janeiro, 2014.

BERTINATTO, Rovian. **Análise da contaminação e degradação do óleo lubrificante e desgaste de um motor otolizado alimentado por biogás**. 2014. Dissertação (Mestre em energia na agricultura). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2014.

DE MATOS, Paulo Roberto Rodrigues. **Utilização de Óleos Vegetais como Bases Lubrificantes**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

MAIA, Júlio Cesar da Costa. **Monitoramento de lubrificantes através de reações de oxidação**. 2008. Monografia (Bacharel em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

POSSAMAI, Lisiane et al. **Eficácia da análise de amostras de óleo lubrificante por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado na detecção de desgaste em motores Diesel após amaciamento**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

RUNGE, Peter R. F. **Lubrificação Automotiva**. 1ª Edição. São Paulo: do autor, 1994