

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**MANUTENÇÃO PREDITIVA DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA, À
GASOLINA, ATRAVÉS DA TÉCNICA DE ANÁLISE DE LUBRIFICANTES**

Luis Gustavo Torquatro Malpica

Orientador: Prof. Dr. Aparecido Carlos Gonçalves

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia - UNESP – Campus de Ilha
Solteira, para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Mecânica.

Área de Conhecimento: Mecânica dos
Sólidos

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

M259m Malpica, Luis Gustavo Torquatro.
Manutenção preditiva de motores de combustão interna, à gasolina, através da técnica de análise de lubrificantes / Luis Gustavo Torquatro Malpica. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2007
111 f. : il., fots. (algumas color.)

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Mecânica dos Sólidos, 2007

Orientador: Aparecido Carlos Gonçalves
Bibliografia: p. 108-111

1. Tribologia. 2. Óleos lubrificantes. 3. Mecânica dos sólidos. 4. Desgaste mecânico.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Manutenção Preditiva de Motores de Combustão Interna, à Gasolina, através da Técnica de Análise de Lubrificantes

AUTOR: LUIS GUSTAVO TORQUATO MALPICA

ORIENTADOR: Prof. Dr. APARECIDO CARLOS GONCALVES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em ENGENHARIA MECÂNICA pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. APARECIDO CARLOS GONCALVES
Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. MARCIO ANTONIO BAZANI
Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. ROBERTO HIDEAKI TSUNAKI
Departamento de Engenharia Mecânica / Escola de Engenharia de São Carlos / USP

Data da realização: 05 de novembro de 2007.

Presidente da Comissão Examinadora
Prof. Dr. APARECIDO CARLOS GONCALVES

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Aparecido Carlos Gonçalves, pela orientação, postura profissional, amizade, pelos passes perfeitos para eu marcar gols nas partidas de futebol que realizamos juntos e pelos ensinamentos transmitidos ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

A minha namorada Monica Paiano pela compreensão e apoio durante a realização deste trabalho.

A meus familiares pela atenção, compreensão e apoio concedidos ao longo do desenvolvimento desta pesquisa.

Ao CNPq pela oportunidade de receber uma bolsa DTI e poder trabalhar no Laboratório de Tribologia.

Ao Técnico do departamento Carlos José Santana pelo apoio dado na construção da bancada, e pelas discussões e formas de colaboração ao longo do trabalho,

Ao técnico bolsista CNPq IT Tiago Pacheco pela ajuda técnica na construção da bancada e na realização de ensaios.

A Shell pela doação de óleo lubrificante

Ao departamento de Engenharia Mecânica da FEIS-UNESP pelo apoio e pelas ótimas condições de trabalho oferecidas.

Muito Obrigado.

Luis Gustavo Torquato Malpica – Outubro de 2007.

RESUMO

MALPICA, L.G.T. Manutenção Preditiva de motores de combustão interna, à gasolina, através da Técnica de Análise de Lubrificantes. 2007. 97 F. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

Em um motor de combustão interna todas as peças possuem uma vida útil prevista, sendo essa duração maior ou menor, de acordo com a função específica a elas atribuída. Cada uma das peças tem a sua vida pré-determinada que, em condições normais de funcionamento de todo o conjunto, atende as expectativas. Pela análise do óleo podem-se monitorar as condições destas peças. A técnica de análise de óleo é um tipo de manutenção preditiva. Ela pode ser feita coletando-se o óleo de um equipamento e analisando-o posteriormente ou analisando-o diretamente em sistemas “on line”. 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 condições físicas e químicas. A análise dos óleos é feita por meio de técnicas laboratoriais que envolvem, reagentes, instrumentos e equipamentos. Assim, para se estudar a manutenção preditiva em motores de combustão interna, foi feito um estudo teórico sobre estes motores, sobre os lubrificantes, sobre os problemas e possíveis causas associados a falhas destes, sobre os tipos de manutenção preditivas aplicadas a estes e sobre trabalhos que tratam da manutenção preditiva em motores realizados por outros autores. Para auxiliar os estudos foi proposta a construção de duas bancadas de ensaios compostas de motores de quatro tempos, a gasolina, acoplados a um redutor de velocidades para fornecer carga aos mesmos. Na primeira bancada utilizou-se um motor em estado avançado de deterioração e na segunda um motor novo. Os resultados mostraram que mesmo em estado avançado de deterioração, a geração de partículas nem sempre é grande e que a utilização de apenas uma técnica de análise de lubrificante não é suficiente para se determinar o estado de um motor.

Palavras Chaves: Manutenção preditiva, partículas de desgastes, análise de lubrificantes, tribologia, motores.



ABSTRACT

MALPICA, L.G.T. Predictive Maintenance of gasoline Internal Combustion Engine, through Lubricant Analysis Technique. 2007. 97 F. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

In an internal combustion engine every pieces have a foreseen useful life. This duration is large or small according to the specific function to them attributed. Each piece has its own pre determined life that in normal operation conditions of the set attend to the expectations. By oil analysis one can monitor the pieces conditions. The oil analysis technique is a type of predictive maintenance. It can be done collecting the oil of an equipment and analyzing it latter on or analyzing it directly in systems “on line”. The oil analysis allows identifying the early symptoms of a component wear. The identification is done starting from the study of the particle quantity, size, forms and composition that supplies precise information about the moving superficial conditions without the need of disassembling the set which these parts belong to. Such solid particles are generated by dynamic friction among pieces in contact. According to the study of those particle one can relate the wear set situation and to attribute them to physical and chemical conditions. The oil analysis is done by means of laboratories techniques that involve reagent, instruments and equipments. So, to study the predictive maintenance in internal combustion engine it was done a theoretical study about those engine, about lubricants, about problems and possible causes related to fault of them, about the types of predictive maintenance associated to them and about papers that deal to predictive maintenance in internal combustion engine. To aid the studies it was proposed the construction of two test rig composed of gasoline four cycle internal combustion engine coupled to a reducer to supply load to them. In the first test rig it was used an internal combustion engine in advanced state of deterioration and on the second one it was used a new internal combustion engine. The results showed that even in advanced state of deterioration, the particle generation is not always big and that the use of a unique lubricant analyze technique is not enough to determine the internal combustion engine state.

Keywords: Predictive maintenance, wear particles, lubricant analysis, tribology, internal combustion engine.

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 – Curva da banheira (CTMF)	16
Fig. 2.1 – Curso do pistão	21
Fig.2.2 - Câmara de combustão	23
Fig.2.3 - Definição de taxa de compressão	24
Fig. 2.4 – Ocorrência da pré ignicção	26
Fig.2.5 - Danificação por detonação	27
Fig. 2.6 - Sistema de ignição convencional e o distribuidor	28
Figura 2.7- Admissão da mistura ar/combustível	29
Figura 2.8 – Compressão da mistura ar/combustível	29
Figura 2.10 – Escape dos produtos de combustão	30
Figura 2.11 – Admissão e compressão da mistura ar/combustível	31
Figura 2.12- Explosão e escape da mistura ar/combustível	32
Figura 2.13 - Nível de desempenho segundo a classificação API	35
Figura 3.1 – Desenho esquemático da espectrometria por absorção atômica	44
Figura 3.2 - Espectômetro de emissão óptico portáti	45
Figura 3.3 – Aparelho de Ferrografia Direta	47
Figura 3.4 – Desenho esquemático do Aparelho de Ferrografia	47
Figura 3.5 - Exemplo de um código ISO obtido	51
Figura 3.6 – Desenho esquemático da ferrografia analítica	51
Figura 3.7 – Desenho ilustrando as posições das partículas magnéticas	52
Figura 3.8 - Identificação de partículas no ferrograma	53
Figura 3.9 – Identificação do tamanho, da forma e da geometria das partículas ferrosas e não ferrosas.	54

Figura 3.10 - Distribuição (a) da energia total em um motor em operação; e (b) atrito mecânica total do motor. (Richardson, E.E. (1999), apud Modern Tribology)	58
Figura 3.11 - Variação da força de contato e da pressão de gás com distância abaixo do centro inoperante superior.	61
Figura 4.1 – Bancada construída com o motor da marca Montgomery e o redutor da marca Cestari	66
Figura 4.2 – Bancada construída com o motor Briggs & Stratton	68
Figura 4.3 - Depositador rotativo de partícula.	72
Figura 4.4 - Monitor automático de partículas.	73
Figura 4.5 - Microscópio Óptico Neophot 21.	75
Figura 4.6 - Microscópio Óptico JENAVAL	75
Figura 4.7 - Viscosímetro modelo Rheostat	76
Figura 4.8 - Metodologia para se determinar o número de partículas	78
Figura 5.1 – Partículas de desgaste presentes no óleo SAE 40 API-SF do motor Montgomery. Luz Transmitida. (I) anel interno, (M) anel intermediário, e (E) anel externo	81
Figura 5.2 – Partículas de desgaste presentes no óleo SAE 40 API-SF do motor Montgomery. Luz Refletida. (I) anel interno, (M) anel intermediário, e (E) anel externo	82
Figura 5.3 – Partículas de desgaste presentes no óleo SAE 40 API-SF do motor Montgomery. Filtragem em membrana	83
Figura 5.4 - Fotos do motor Montgomery após o teste. Esquerda, pistão danificado; direita, partes principais desmontadas	84
Figura 5.5 - Partículas de desgaste presentes no óleo SAE 40 API-SF do motor Brings&Stratton. Luz Transmitida. (I) Anel interno, (M) Anel intermediário, e (E) Anel externo	86
Figura 5.6 – Partículas de desgaste presentes no óleo SAE 40 API-SF do motor Briggs & Stratton.. Luz Refletida. (I) anel interno, (M) anel intermediário, e (E) anel externo	87
Figura 5.7 - Partículas de desgaste presentes no óleo SAE 40 API-SF do motor Briggs & Stratton. Filtragem em membrana.	88
Figura 5.8 – Partículas de desgaste presentes no óleo SAE 30 API-SH do motor Briggs & Stratton. Luz Transmitida. (I) anel interno, (M) anel intermediário, e (E) anel externo	90
Figura 5.9 – Partículas de desgaste presentes no óleo SAE 30 API-SH do motor Briggs & Stratton.. Luz Refletida. (I) anel interno, (M) anel intermediário, e (E) anel externo	91

Figura 5.10 - Partículas de desgaste presentes no óleo SAE 30 API-SH do motor Briggs & Stratton. Filtragem em membrana	92
Figura 5.11 – Partículas de desgaste presentes no óleo TIVELA S 150 do motor Briggs & Stratton. Luz Transmitida. (I) anel interno, (M) anel intermediário, e (E) anel externo	94
Figura 5.12 – Partículas de desgaste presentes no óleo TIVELA S 150 do motor Briggs & Stratton.. Luz Refletida. (I) anel interno, (M) anel intermediário, e (E) anel externo	95
Figura 5.13 - Partículas de desgaste presentes no óleo TIVELA S 150 do motor Briggs & Stratton. Filtragem em membrana	96
Figura 5.14 – Partículas de desgaste presentes no óleo TIVELA S 320 do motor Briggs & Stratton. Luz Transmitida. (I) anel interno, (M) anel intermediário, e (E) anel externo	98
Figura 5.15 – Partículas de desgaste presentes no óleo TIVELA S 320 do motor Briggs & Stratton.. Luz Refletida. (I) anel interno, (M) anel intermediário, e (E) anel externo	99
Figura 5.16 - Partículas de desgaste presentes no óleo TIVELA S 320 do motor Briggs & Stratton.	100

Lista de Tabelas

TABELA 2. 1- Classificação de viscosidade para óleos de motores segundo SAE J 300	33
TABELA 2. 2 - Designação de óleos para motores 2T	38
TABELA 2. 3 - Equivalência entre as nomenclaturas	38
TABELA 3. 1 - Elementos detectados na análise do óleo	45
TABELA 3. 2 – Valores referentes à Norma NAS 1638	48
TABELA 3. 3 – Valores referentes à Norma ISO 4406	50
TABELA 4. 1 - Especificações do motor Montgomery	67
TABELA 4. 2 - Especificações do Motor Briggs & Stratton	68
TABELA 4. 3 - Especificações do redutor da marca Cestari	68
TABELA 4. 4 - Especificações do óleo SAE 40 API – SF	69
TABELA 4. 5 - Especificações do Óleo SAE 30 API – SH	70
TABELA 4. 6 - Especificações do Óleo TIVELA S150	70
TABELA 4. 7 - Especificações do óleo TIVELA S 320	71
TABELA 4. 8- Especificações do depositador rotativo de partículas	72
TABELA 4. 9- Especificações do monitor automático de partículas	74
TABELA 5. 1 - Valores obtidos através da absorção atômica do óleo usado SAE 40 API-SF do motor Montgomery (ppm)	84
TABELA 5. 2 - Contagem de Partículas, porcentagem de água e número de bases totais do óleo usado SAE 40 API-SF do motor Montgomery	84
TABELA 5. 3 - Viscosidades, Ponto de Fulgor e Índice de Partículas Magnéticas do óleo usado SAE 40 API-SF do motor Montgomery	84
TABELA 5. 4 - Valores obtidos através da absorção atômica do óleo usado SAE 40 API-SF do motor Briggs & Stratton (ppm)	89
TABELA 5. 5 - Contagem de Partículas, porcentagem de água e número de bases totais do óleo usado SAE 40 API-SF do motor Briggs & Stratton	89
TABELA 5. 6 – Viscosidades, ponto de fulgor e Índice de Partículas Magnéticas do óleo usado SAE 40 API-SF do motor Briggs & Stratton	89
TABELA 5. 7 - Valores obtidos através da absorção atômica do óleo usado SAE 30 API-SH do motor Briggs & Stratton (ppm)	92
TABELA 5. 8 - Valores obtidos através da absorção atômica do óleo usado SAE 30 APISH do motor Briggs & Stratton (ppm)	93
TABELA 5. 9 – Viscosidades, ponto de fulgor e Índice de Partículas Magnéticas do óleo usado SAE 30 API-SH do motor Briggs & Stratton	93
TABELA 5. 10 - Valores obtidos através da absorção atômica do óleo usado TIVELA S150 do motor Briggs & Stratton (ppm)	96

TABELA 5. 11 - Contagem de Partículas, porcentagem de água e número de ácidos totaído óleo usado TIVELA S150 do motor Briggs & Strattor	96
TABELA 5. 12 – Viscosidades, ponto de fulgor e Índice de Partículas Magnéticas do óleo usado TIVELA S150 do motor Briggs & Strattor	97
TABELA 5. 13 - Valores obtidos através da absorção atômica do óleo usado TIVELA S320 do motor Briggs & Strattor (ppm)	101
TABELA 5. 14 - Contagem de Partículas, porcentagem de água e número de ácidos totaído óleo usado TIVELA S150 do motor Briggs & Strattor	101
TABELA 5. 15 – Viscosidades, ponto de fulgor e Índice de Partículas Magnéticas do óleo usado TIVELA S320 do motor Briggs & Strattor	101

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

τ	Tensão de cisalhamento [Pa]
η	Viscosidade dinâmica [Pa.s]
μ	Coefficiente de viscosidade
$\frac{\partial\gamma}{\partial t}$	Taxa de deformação por cisalhamento
Z	Viscosidade [cSt ou mm ² /s]
ρ	Massa específica
Q	Volume desgastado do material mais dúctil, por unidade de distância percorrida [mm ³ /m]
ICE	Ignição por centelha
ICO	Ignição por compressão
PMS	Ponto morto superior
PMI	Ponto morto inferior
CTMF	Curva de Tempo médio de falha
ASTM	American Society for Testing and Materials
L	Número de partículas grandes
S	Número de partículas pequenas
PLP	Porcentagem de partículas grandes
NMMA	National Manufactures Associations
CEC	Coordinating European Council
TC	Taxa de Compressão
VA	Válvula de Admissão
VC	Válvula de Descarga
API	American Petroleum Institute
PQ	Quantidade adimensional de partículas magnéticas
RPD	Depositador rotativo de partículas

SUS Saybolt Universal Second

cSt CentStock

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
1.1 – JUSTIFICATIVA	18
1.2 – OBJETIVOS	19
MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA	20
2.1 – CLASSIFICAÇÃO	20
2.2 – DEFINIÇÕES	21
a - Ponto Morto Superior e Ponto Morto Inferior	21
b - Cilindrada	22
c- Câmara de compressão ou de combustão, Volume Morto	22
d – Taxa de Compressão (Relação)	23
e - Auto-Ignição	25
f – Avanço	27
g - <i>Ciclo</i>	28
2.2 – MOTOR QUATRO TEMPOS	28
2.3 – MOTOR DOIS TEMPOS	31
2.4- LUBRIFICANTE	32
2.4.1 <i>Sistema de Classificação API-SAE-ASTM para óleos de motores de combustão interna</i>	33
2.4.1.1 Categorias para Motores a Gasolina	34
2.4.1.2 Categorias para Motores a Diesel	36
2.4.1.3 Classificação de óleos para motores 2T	37
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	39
3.1 – PROBLEMAS E POSSÍVEIS CAUSAS	40
3.2 – ANÁLISE DO LUBRIFICANTE USADO	42
3.2.1 - Tipos de Ensaios	43
3.2.1.1 – Espectrometria	43
3.2.1.2 – Ferrografia	46
a – Ferrografia Direta	46
b – Ferrografia Analítica	51
3.2.1.3 – TBN e TAN	54
3.2.1.4 – Viscosidade	55
3.2.1.5 – Ponto de Fulgor	56
3.2.1.6 – Insolúveis	56
3.3 – SISTEMAS TRIBOLÓGICOS DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA	57
3.3.1 - Relação Tribológica do anel/camisa	59
A - No projeto mecânico do cilindro	59
B - Furo e curso	60
C - Carga e velocidade	60
D - Camisa, anel, e projeto do pistão	60
E - No ambiente físico do cilindro	61

3.4 – TRABALHOS SOBRE MANUTENÇÃO PREDITIVA EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA	62
MATERIAIS E MÉTODOS	66
4.1 – ANÁLISE DE ÓLEO	71
4.1.1 - Depositador Rotativo de Partículas (RPD)	71
4.1.2 - Monitor Automático de Partículas	73
4.1.3 - Microscópio Óptico	74
4.1.4 - Viscosímetro	76
4.1.5 – Absorção Atômica	76
4.1.6 – TBN e TAN	76
4.1.7 – Contagem de Partículas	77
4.1.8 – Observação da membrana	78
4.1.9 – Porcentagem de água	78
4.1.10 – Ponto de Fulgor	79
RESULTADOS EXPERIMENTAIS	80
5.1 MOTOR MONTGOMERY	80
5.2 MOTOR BRIGGS & STRATOR	85
5.2.1 Com óleo SAE 40 API SF	85
5.2.2 Com óleo SAE 30 API SH	89
5.2.3 Com óleo da marca Shell TIVELA S 150	93
5.2.4 Com óleo da marca Shell TIVELA S320	97
ANÁLISE DOS RESULTADOS	102
6.1 – MOTOR MONTGOMERY	102
6.2 – MOTOR BRIGGS & STRATTON	103
CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	104
7.1. CONCLUSÕES	104
7.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Segundo a ABNT, pode-se dividir a manutenção em corretiva e preventiva.

A lógica da gerência em manutenção corretiva é simples e direta: quando uma máquina quebrar, conserte-a. Este método de manutenção de maquinaria fabril tem representado uma grande parte das operações de manutenção de planta industrial, desde que a primeira fábrica foi construída. Uma planta industrial usando gerência por manutenção corretiva não gasta qualquer dinheiro com manutenção, até que uma máquina ou sistema falhe.

A manutenção corretiva é uma técnica de gerência reativa que espera pela falha da máquina ou equipamento, antes que seja tomada qualquer ação de manutenção. Também é o método mais caro de gerência de manutenção.

Os maiores custos associados com este tipo de gerência de manutenção são os altos custos de estoques de peças sobressalentes, altos custos de trabalho extra, elevado tempo de paralisação da máquina e baixa disponibilidade de produção.

Existem muitas definições de manutenção preventiva. Entretanto, todos os programas de gerência de manutenção preventiva são acionados por tempo. Em outras palavras, as tarefas de manutenção se baseiam em tempo gasto ou horas operacionais. A curva do tempo médio para falha (CTMF) ou curva da banheira (figura 1) indica que uma máquina nova tem uma alta probabilidade de falha, devido a problemas de instalação, durante as primeiras semanas de operação. Após este período inicial, a probabilidade de falha é relativamente baixa por um período prolongado de tempo. Após este período normal de vida da máquina, a

probabilidade de falha aumenta abruptamente com o tempo transcorrido. Na gerência de manutenção preventiva os reparos ou recondiçionamentos da máquina são programados baseados na estatística CTMF.

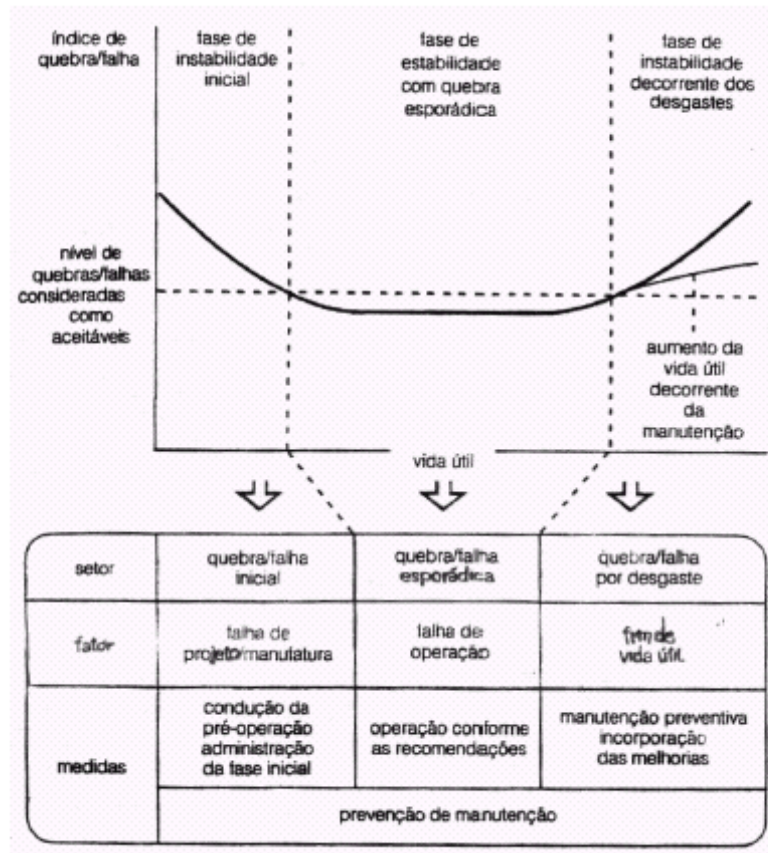


FIGURA 1 – Curva da banheira (CTMF)

A Manutenção Preditiva consiste na definição e no planejamento antecipado das intervenções corretivas, a partir da aplicação sistemática de uma ou mais técnicas de monitoração, como:

- Análise de vibrações de equipamentos rotativos e alternativos;
- Análise de corrente e fluxo magnético de motores elétricos;
- Análise de óleo lubrificante (tribologia e ferrografia);
- Termografia de sistemas elétricos e mecânicos;
- Ultrassom para detecção de vazamentos e defeitos de válvulas e purgadores.

A premissa da manutenção preditiva é que o monitoramento regular das condições mecânicas reais das máquinas, e do rendimento operativo dos sistemas de processo, assegurarão o

intervalo máximo entre os reparos. Ela também minimizará o número e o custo das paradas não programadas criadas por falhas da máquina, e melhorará a disponibilidade global das plantas operacionais. A inclusão da manutenção preditiva em um programa de gerência total de uma planta oferecerá a capacidade de otimizar a disponibilidade da maquinaria de processo e reduzirá bastante o custo da manutenção. Na realidade, a manutenção preditiva pode ser vista como um programa de manutenção preventiva acionada por condição.

Um levantamento, em 1988, de 500 fábricas que implementaram com sucesso métodos de manutenção preditiva indicou melhorias substanciais na confiabilidade, disponibilidade, e custos operacionais(Plant Performance Group) (Cunha, 2005).

Tais métodos são capazes de detectar os defeitos de funcionamento sem interrupção do processo produtivo e com antecedência suficiente para programar as intervenções corretivas, de modo a atingir os seguintes benefícios:

- Aumento da segurança e da disponibilidade dos equipamentos, com redução dos riscos de acidentes e interrupções inesperadas da produção.
- Eliminação da troca prematura de componentes com vida útil remanescente ainda significativa.
- Redução dos prazos e custos das intervenções, pelo conhecimento antecipado dos defeitos a serem corrigidos.
- Aumento da vida útil das máquinas e componentes pela melhoria das condições de instalação e operação.

A análise estatística dos dados coletados pela Manutenção Preditiva permite ainda:

- Identificar equipamentos com problemas crônicos e orientar a sua correção.
- Avaliar a eficácia e a qualidade dos serviços corretivos e propor programas de treinamento e a adoção de novas tecnologias, visando o seu aprimoramento.

De um modo geral, pode-se afirmar que a aplicação de programas de Manutenção Preditiva em indústrias de processo resulta, a médio e longo prazo, em reduções da ordem de 2/3 nos prejuízos com interrupções inesperadas de produção e de 1/3 nos gastos com a manutenção, após uma fase inicial de investimentos. (<http://www.aditeq.com.br/preditiva.htm>).

1.1 – JUSTIFICATIVA

A técnica de análise de óleo é um tipo de manutenção preditiva. Ela pode ser feita coletando-se o óleo de um equipamento e analisando-o posteriormente ou analisando-o diretamente em sistemas “on line”.

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 fornecem 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 condições físicas e químicas, (Barraclough et al, 1999), (Anderson et al, 1999). A análise dos óleos é feita por meio de técnicas laboratoriais que envolvem, reagentes, instrumentos e equipamentos.

Em um motor de combustão interna todas as peças possuem uma vida útil prevista, sendo essa duração maior ou menor, de acordo com a função específica a elas atribuída. Cada uma das peças, portanto, tem a sua vida pré-determinada que, em condições normais de funcionamento de todo o conjunto, atende as expectativas.

Mas nem sempre essas expectativas se mantêm, pois fatores internos e/ou externos ao motor podem comprometer uma peça durante o período de funcionamento, diminuindo a sua vida útil.

As causas mais comuns que comprometem a vida útil das peças são:

- Montagem incorreta;
- Usinagem irregular no alojamento da camisa seca;
- Lubrificação insuficiente/ lavagem de cilindro;
- Outros fatores;

Uma simples substituição das peças que sofreram falhas prematuras submeterá a novas peças às mesmas causas que foram responsáveis pelos danos causados na peça anterior. Assim sendo, o mecânico não pode corrigir a falha prematura sem antes descobrir o que a provocou.

Assim, para se estudar a manutenção preditiva, em motores de combustão interna, foi feito um estudo sobre estes motores de combustão interna e seus lubrificantes, os problemas e

possíveis causas associadas a estes motores, os tipos de manutenção preditivas aplicadas a estes motores e sobre trabalhos que tratam da manutenção preditiva em motores realizados por outros autores.

Para auxiliar os estudos foi proposta a construção de duas bancadas de ensaios compostas de motores de quatro tempos a gasolina acoplado a um redutor de velocidades para dar carga ao mesmo. Na primeira bancada utilizou-se um motor em estado avançado de deterioração e na segunda um motor novo.

1.2– OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalhos são:

- Levantamento bibliográfico sobre Motores de Combustão Interna;
- Levantamento bibliográfico sobre Lubrificantes de Motores de Combustão Interna;
- Levantamento bibliográfico sobre análise de óleo como técnica de manutenção preditiva em Motores de Combustão Interna;
- Construção de duas bancadas de ensaios compostas de motores de combustão interna acoplados a um redutor de velocidades para analisar o desgaste dos motores através da análise de partículas de óleo, bem como o seu consumo de combustível;
- Verificação do efeito da troca de óleos com diferentes viscosidades no motor;
- Análise de amostras de óleo para auxiliar os estudos.

Capítulo 2

MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

São Máquinas Térmicas Motoras nas quais a energia química dos combustíveis se transforma em trabalho mecânico (o fluido de trabalho consiste nos produtos da combustão).

2.1 – CLASSIFICAÇÃO

Os Motores de Combustão Interna podem ser classificados quantos ao gás de admissão, quanto ao tipo de ignição, quanto ao movimento do pistão, quanto ao ciclo de trabalho, quanto ao número de cilindros, quanto a disposição dos cilindros e quanto a utilização.

Quanto a propriedade do gás na admissão podem ser classificados em ar (Motores à Diesel) ou Mistura ar-combustível (Ciclo Otto).

Quanto à ignição podem ser por centelha (ICE) e por compressão (ICO).

Quanto ao movimento do pistão em Alternativo (Otto e Diesel) e Rotativo (Wankel, Quasiturbine).

Quanto ao ciclo de trabalho em dois tempos e quatro tempos.

Quanto ao número de cilindros em Monocilindros e policilindros.

Quanto à disposição dos cilindros em cilindros em linha, opostos (boxer), em V e em estrela (radial)

Quanto à utilização em:

ESTACIONÁRIOS - Destinados ao acionamento de máquinas estacionárias, tais como Geradores, máquinas de solda, bombas ou outras máquinas que operam em rotação constante;

INDUSTRIAIS - Destinados ao acionamento de máquinas de construção civil, tais como tratores, carregadeiras, guindastes, compressores de ar, máquinas de mineração, veículos de operação

fora-de-estrada, acionamento de sistemas hidrostáticos e outras aplicações onde se exijam características especiais específicas do acionador;

VEICULARES - Destinados ao acionamento de veículos de transporte em geral, tais como caminhões e ônibus;

MARÍTIMOS - Destinados à propulsão de barcos e máquinas de uso naval. Conforme o tipo de serviço e o regime de trabalho da embarcação, existe uma vasta gama de modelos com características apropriadas, conforme o uso. (Lazer, trabalho comercial leve, pesado, médio-contínuo e contínuo)

2.2 – DEFINIÇÕES

Vários termos são utilizados em Motores de Combustão Interna, entre os quais:

a - Ponto Morto Superior e Ponto Morto Inferior

São nestas posições que o êmbolo muda de sentido de movimento estando no seu máximo (PMS) ou no seu mínimo (PMI), conforme a Figura 2.1

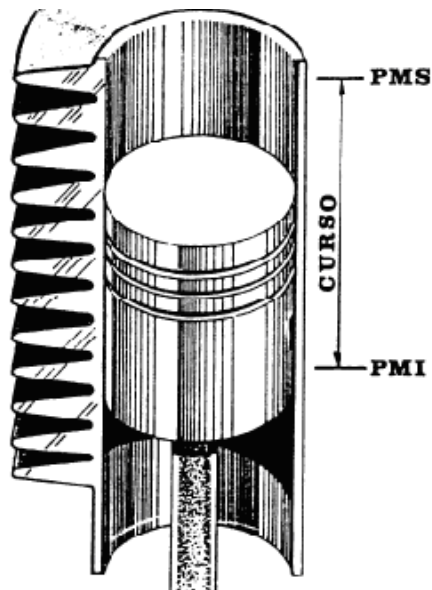


FIGURA 2. 1 - Curso do Pistão

b - Cilindrada

É o volume total deslocado pelo pistão entre o P.M.I. e o P.M.S., multiplicado pelo número de cilindros do motor. É indicada em centímetros cúbicos (cm³) e tem a seguinte fórmula:

$$C = \left(\frac{\pi D^2}{4} \text{Curso} \right) N_{\text{cilindros}} \quad [cm^3] \quad (2.1)$$

Aplicando esta fórmula ao veículo da marca Ômega do fabricante GM, teremos:

Motor Dianteiro Longitudinal M.P.F.I.(Multipoint Fuel Injection)

Número de Cilindros	04
Diâmetro cilindro	86,0 mm
Curso do pistão	86,0 mm
Taxa de Compressão	9,2:1

assim:

$$C = \left(\frac{\pi 8.6^2}{4} 8,6 \right) 4 = 1998,229 cm^3$$

Este veículo é conhecido, no mercado, como 2.0 ou 2,0 litros.

c- Câmara de compressão ou de combustão, Volume Morto

É o espaço livre que fica acima do pistão quando este se encontra no P.M.S. Nela, a mistura ar/combustível do motor a gasolina, que entrou pela válvula de admissão, será comprimida e, após a faísca emitida pela vela, explodirá para que a expansão dos gases movimente o pistão e dê seqüência ao funcionamento do motor.

Dependendo do grau de modernidade do motor, a câmara pode estar inserida no cabeçote ou na cabeça dos pistões – esse último mais comumente encontrado. Basicamente, o volume da câmara de combustão define a Taxa de Compressão do motor. Quanto menor for seu volume,

maior será essa relação e, conseqüentemente, melhor o rendimento do motor. Todos os componentes que atuam em sua formação ou ao seu redor influenciam diretamente em sua eficiência: a posição das válvulas e o desenho dos dutos de admissão, por exemplo.

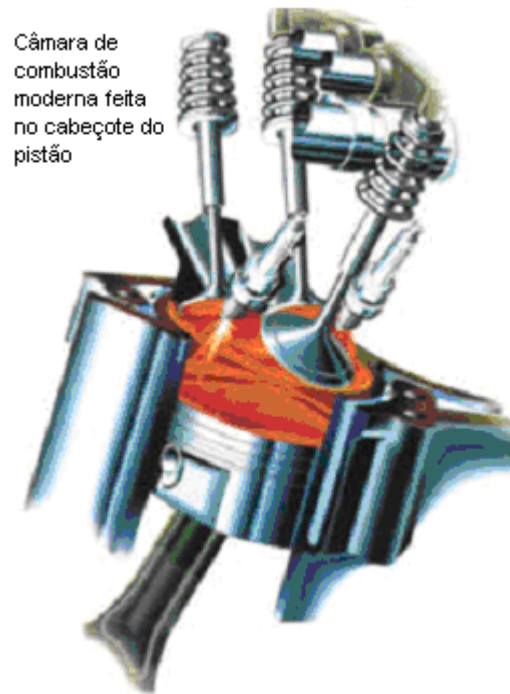


FIGURA 2. 2 - Câmara de Combustão

d – Taxa de Compressão (Relação)

Relação matemática que indica quantas vezes a mistura ar/combustível ou simplesmente o ar aspirado (no caso do diesel) para dentro dos cilindros pelo pistão é comprimido dentro da câmara de combustão antes que se inicie o processo de queima. Assim, um motor a gasolina que tenha especificada uma taxa de compressão de 7,2:1, por exemplo, indica que o volume aspirado para dentro do cilindro foi comprimido 7,2 vezes antes que a centelha da vela iniciasse a combustão, Figura 2.3.

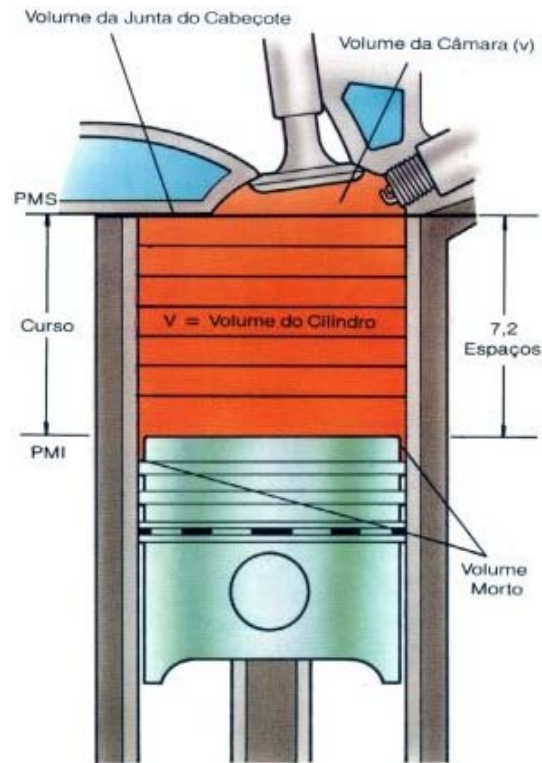


FIGURA 2.3 - Definição de Taxa de Compressão

Do ponto de vista termodinâmico, a taxa de compressão é diretamente responsável pelo rendimento térmico do motor. Assim, quanto maior a taxa de compressão, melhor será o aproveitamento energético que o motor estará fazendo do combustível consumido. Por esse motivo é que os motores diesel consomem menos que um similar a gasolina: funcionando com taxas de compressão altíssimas (17:1 nos turbo-diesel e até 22:1 nos diesel aspirados), geram a mesma potência consumindo menos combustível.

Há limitações físicas e técnicas para a simples ampliação da taxa. No primeiro caso, ocorre a dificuldade de obtenção de câmaras de combustão minúsculas. Já o seguinte apresenta restrições quanto às propriedades do combustível, i.e., técnicas, o quanto cada um “tolera” de compressão antes de se auto-inflamar (octanagem).

A taxa de compressão TC é expressa pela relação:

$$TC = \frac{\text{cilindrada do motor} + \text{volume da câmara de combustão}}{\text{Volume da câmara de combustão}}$$

Chamando de V a cilindrada do motor e v o volume da câmara de combustão (volume morto), têm-se:

$$TC = \frac{V + v}{v} \quad 2.2$$

e - Auto-Igنيção

Em razão das altas temperaturas na câmara de combustão ou octanagem incorreta da gasolina para a taxa de compressão do motor, algumas vezes o efeito auto-ignição pode ocorrer. Pontos quentes no interior da câmara passam a fazer o papel da vela de ignição, incandescendo a mistura ar/combustível antes mesmo de a vela de ignição iniciar o processo através da centelha elétrica. Uma vela com grau térmico muito alto para a situação em que o motor está sendo utilizado pode também ser o motivo da auto-ignição.

Muito prejudicial ao funcionamento do motor, fazendo com que o mesmo perca potência e corra o risco de um superaquecimento ainda maior, a auto-ignição pode levar à destruição da câmara de combustão e, em casos extremos, furos na cabeça dos pistões ou mesmo sua fusão com o cilindro. Seus efeitos devastadores são idênticos aos do motor com ponto de ignição muito adiantado, o que pode acabar provocando detonações.

Pré-ignição: a pré-ignição provoca a queima da mistura antes do tempo normal de combustão (muito cedo), ao contrário da detonação que a atrasa. A pré-ignição ocorre quando a mistura ar/combustível é queimada por uma fonte não controlada antes de ser ignizada pela fásca da vela. A pré-ignição pode destruir um motor em minutos. Ela provoca uma reação muito rápida da mistura ar/combustível porque ela cria duas frentes de chama sendo queimadas simultaneamente. Isto gera altas temperaturas, às vezes acima de 2200°, e ao mesmo tempo, as pressões de pico são aproximadamente o dobro (cerca de 8200 kPa contra 4100 kPa) das pressões de combustão normal. O instante destas pressões de pico agrava ainda mais o problema. Como a mistura foi queimada prematuramente, a pressão de pico é normalmente atingida um pouco antes do P.M.S. (Ponto Morto Superior). Isto deixa menos espaço para os gases em combustão, o que aumenta as pressões de pico. Entretanto, o pistão está sendo forçado para cima contra uma chama do tipo

"maçarico" e, embora o pistão esteja próximo do P.M.S., as paredes do cilindro ficam pouco expostas, havendo assim uma área menor da sua superfície para a troca de calor. À medida que a temperatura das peças se eleva, a pré-ignição começa a ocorrer cada vez mais cedo no ciclo, adiantando-se à faísca da vela e diminuindo a potência do motor. A figura 2.4 mostra como ocorre a pré-ignição.

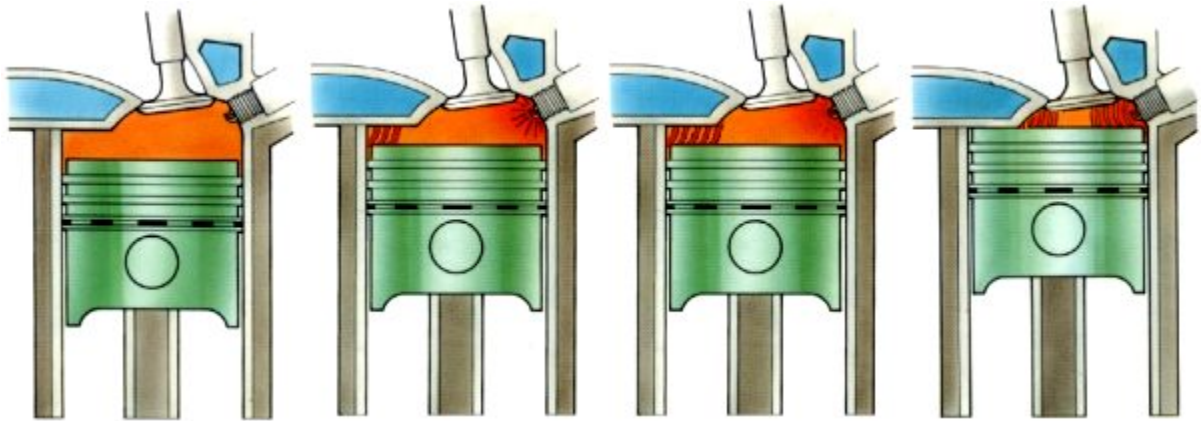


FIGURA 2. 4 – Ocorrência da pré-ignição

Tudo isto significa que uma ou mais das seguintes situações pode estar ocorrendo:

- taxa de compressão elevada
- ponto de ignição das velas adiantado
- má regulagem da mistura de ar/combustível
- combustível de baixa octanagem
- depósitos de carvão que permanecem incandescentes nos pistões ou cabeçote
- velas de tipo excessivamente quente para o motor
- carga excessiva do motor

Detonação: a detonação pode ser definida com uma combustão proveniente da reação rápida e espontânea de uma parte da mistura ar/combustível, quando esta é submetida a pressões e temperaturas crescentes originadas da combustão normal. A mistura é ignizada pela centelha da vela e a combustão se processa normalmente até que a frente de chama avançando superaquece - por compressão e radiação - os gases ainda não queimados. Surge então uma chama não controlada, que pode provocar algo semelhante a uma explosão na câmara. Esta frente de

chama secundária, avança com velocidade supersônica até colidir com a frente original, criando o ruído característico de "batida" e que ressoa sobre as paredes e a superfície da câmara. A detonação cria uma explosão com pressão e velocidades violentas dentro da câmara, como o motor não pode efetivamente utilizar esta energia, ela é dissipada na forma de calor e vibrações de alta frequência, que podem exercer esforços sobre os pistões e anéis além dos seus limites de resistência mecânica. Os topos dos pistões são perfurados, as cabeças sofrem erosão, regiões dos anéis são fraturadas e os próprios anéis quebrados, tudo isto devido a esta energia não utilizada. A figura 2.5 mostra dano por detonação.



FIGURA 2. 2 - Danificação por detonação

f – Avanço

Nome empregado mais comumente para designar o quanto a faísca da vela deverá ser avançada, com relação ao P.M.S. do pistão para iniciar o processo de combustão. Faz-se o avanço para se obter a máxima pressão sobre o pistão quando o mesmo atinge o P.M.S., melhorando a performance do motor.

Em um automóvel, o avanço pode ser de 03 tipos: a vácuo, centrífugo ou eletrônico. Os dois primeiros, absolutamente mecânicos, atuam diretamente sobre o distribuidor como mostrado na Figura 2.6, sendo passíveis de erro operacional.

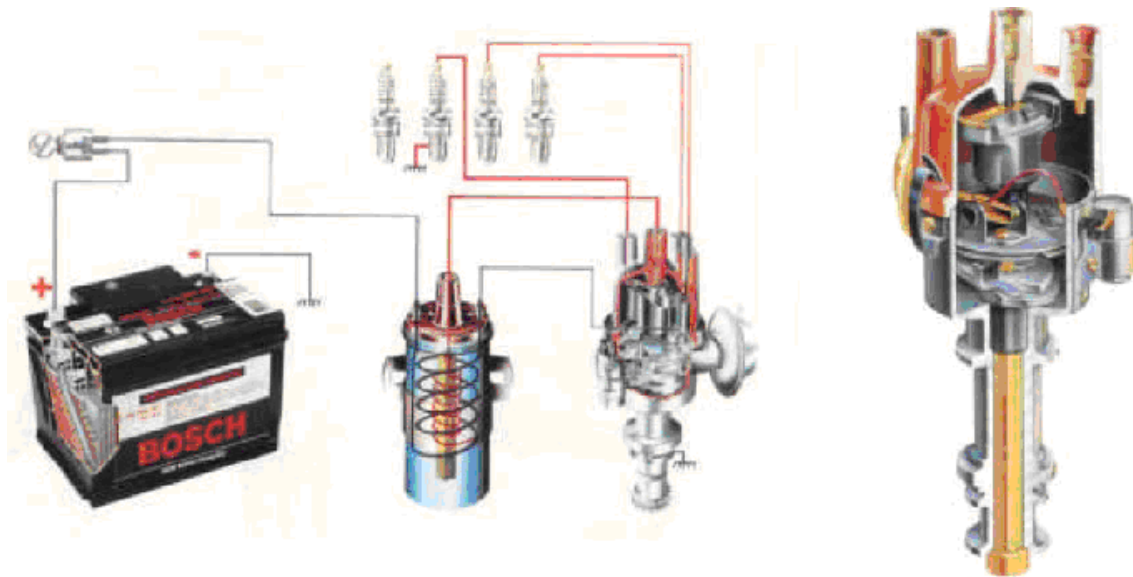


FIGURA 2. 3 - Sistema de ignição convencional e distribuidor

O terceiro tipo de avanço, o eletrônico, existe na memória do sistema de comando da ignição ou, o que é bem mais moderno e comum atualmente, na central eletrônica que comanda a injeção e ignição, simultaneamente.

g - Ciclo

O ciclo mecânico é o mesmo em qualquer motor alternativo. Primeiro introduz-se o combustível no cilindro, depois comprime-se o combustível, queima-se o mesmo, ocorre a expansão dos gases resultantes da combustão, gerando trabalho e expulsão dos gases

Nos motores a pistão, pode completar-se de duas maneiras;

- Ciclo de trabalho a quatro tempos;
- Ciclo de trabalho a dois tempos;

2.2– MOTOR QUATRO TEMPOS

O ciclo se completa a cada quatro cursos do êmbolo, de onde vem a sua denominação.

Um ciclo de trabalho estende-se por duas rotações da árvore de manivelas, ou seja, quatro cursos do pistão.

No primeiro tempo, com o pistão em movimento descendente, dá-se a admissão, que se verifica, na maioria dos casos, por aspiração automática da mistura ar-combustível (nos motores Otto), ou apenas ar (motor Diesel). Na maioria dos motores Diesel modernos, uma ventoinha empurra a carga para o cilindro (turbocompressão).

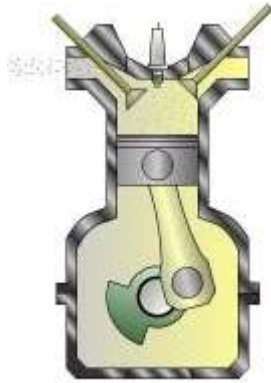


FIGURA 2. 4 - Admissão da mistura ar/combustível

No segundo tempo, ocorre a compressão, com o pistão em movimento ascendente. Pouco antes do pistão completar o curso, ocorre a ignição por meio de dispositivo adequado (no motor Otto), ou a autoignição (no motor Diesel).



FIGURA 2. 5 - Compressão da mistura ar/combustível

No Terceiro tempo, com o pistão em movimento descendente, temos a ignição, com a expansão dos gases e transferência de energia ao pistão (tempo motor).

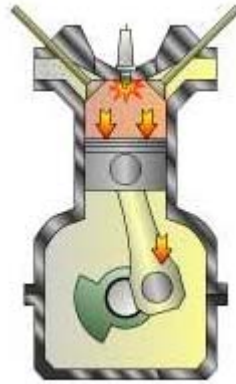


FIGURA 2. 6 - Explosão da mistura ar/combustível

No quarto tempo, o pistão em movimento ascendente, empurra os gases de escape para a atmosfera.

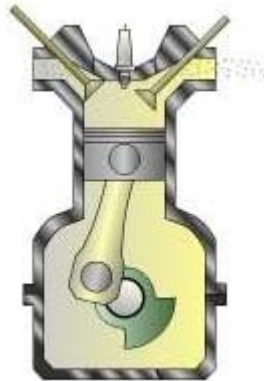


FIGURA 2. 7 - Escape dos produtos de combustão

Durante os quatro tempos – ou duas rotações – transmite-se trabalho ao pistão só uma vez. Para fazer com que as válvulas de admissão e escapamento funcionem corretamente, abrindo e fechando as passagens nos momentos exatos, a árvore de comando de válvulas (ou eixo de cames) gira a meia rotação do motor, completando uma volta a cada ciclo de quatro tempos.

Estando o pistão no PMS, o mesmo começa a descer estando aberta a válvula de admissão (VA) e fechada a válvula de descarga (VD). O êmbolo, ao descer gera um vácuo no interior do cilindro, aspirando a mistura ar/combustível (Ciclo Otto) ou somente ar (Ciclo Diesel) até o PMI, quando o VA se fecha, cumprindo-se meia volta do virabrequim (180°).

Estando VA e VD fechada, a medida que o pistão desloca-se para o PMS, o mesmo comprime o conteúdo do cilindro, aumentando a sua temperatura e pressão interna. O virabrequim gira outros 180° , completando o primeiro giro (volta completa 360°).

Nesta fase produz-se a energia que será transformada em trabalho mecânico.

Pouco antes de atingir o PMS com VA e VD fechadas, a mistura ar/combustível dá origem a uma força no êmbolo, através da biela, ao virabrequim girando (executando mais meia volta- 180°).

Com a VA fechada e o VD aberto, o êmbolo, ao deslocar-se do PMI para o PMS, onde VD se fecha, expulsa os produtos de combustão. O virabrequim executa mais meia volta- 180° , completando o ciclo (720°).

2.3 – MOTOR DOIS TEMPOS

Os motores deste tipo combinam em dois cursos do êmbolo as funções dos motores de quatro tempos, sendo assim, há um curso motor para cada volta do virabrequim. Normalmente estes motores não têm válvulas, eliminando-se o uso de tuchos, hastes, etc. O Carter, que possui dimensões reduzidas, recebe a mistura ar/combustível e o óleo de lubrificação. Deve ser cuidadosamente fechado, pois nele se dá a pré-compressão da mistura.

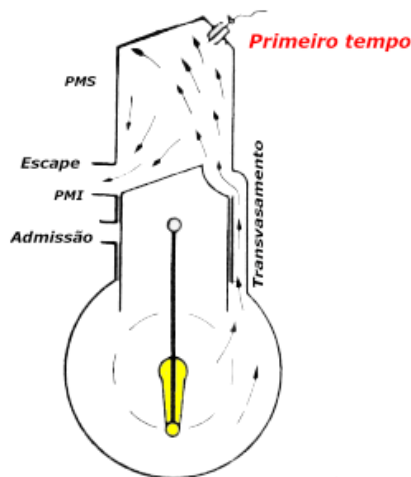


FIGURA 2. 8 - Admissão e compressão da mistura ar/combustível

O êmbolo dirige-se ao PMS, comprimindo a mistura ar-combustível. As janelas de escape e carga são fechadas, abrindo-se a janela de admissão. Com o movimento do êmbolo, gera-se uma pressão baixa dentro do carter e assim, por diferença de pressão admite-se uma nova mistura

ar-combustível-óleo lubrificante, que será utilizado no próximo ciclo. O virabrequim dá meia volta, 180 graus, fechando o ciclo. Pouco antes de atingir o PMS, dá-se a centelha, provocando a combustão da mistura, gerando uma força sobre o êmbolo. Inicia-se então o próximo ciclo.

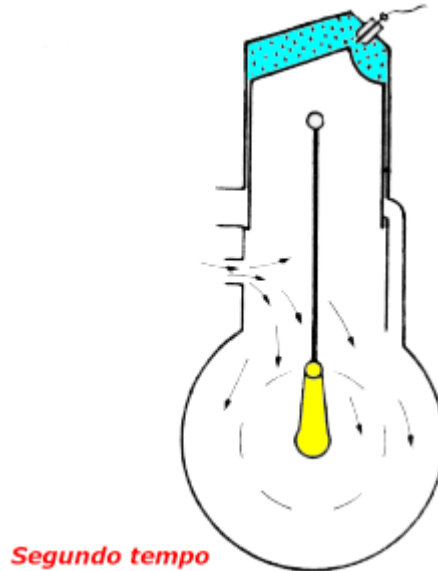


FIGURA 2. 9 - Explosão e escape da mistura ar/combustível

É o curso de trabalho. No PMS, dado início à combustão por meio de uma centelha (*spark*), o êmbolo é forçado até o PMI. Durante o curso, o êmbolo passa na janela de descarga dando vazão aos gases da combustão. Ao mesmo tempo o êmbolo abre a janela de carga permitindo que uma nova mistura ar-combustível entre no cilindro preparando-o para o novo ciclo e forçando os gases provenientes da combustão para fora (lavagem). O virabrequim, neste primeiro tempo, dá meia volta, 180 graus.

2.4- LUBRIFICANTE

A classificação mais conhecida de óleos para motor, deve-se à SAE (*Society Of Automotive Engineers*- Sociedade de Engenheiros Automotivos). Baseia-se única e exclusivamente na viscosidade, não considerando, fatores de qualidade ou desempenho.

TABELA 2. 4- 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.	Máx.	
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-5293

(3) ASTM D-4684

(4) ASTM D-445

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

2.4.1 Sistema de Classificação API-SAE-ASTM para óleos de motores de combustão interna

Em 1969/70, foi elaborada uma classificação, conjuntamente pela API (*American Petroleum Institute* - Instituto de Petróleo Americano), SAE e ASTM (*American Society for testing and Materias* – Sociedade Americana para Testes em Materiais). Tal classificação é a que se encontra em vigor atualmente.

2.4.1.1 Categorias para Motores a Gasolina

SA - Óleo mineral puro sem aditivos, podendo ser antiespumante e abaixador do ponto de fluidez. Indicada para motores trabalhando em condições muito suaves.

SB – Óleo com aditivos que proporcionam certa proteção contra desgaste e contra a oxidação. Indicada para motores operando em condições suaves que requerem um óleo com capacidade de evitar arranhaduras e corrosão dos mancais. Os óleos destinados para tais serviços são usados desde 1930.

SC – Óleo com aditivos que proporcionam bom desempenho antidesgaste, antiferrugem, antioxidação, e anticorrosão, controlando depósitos de alta e baixa temperatura (função do detergente- dispersante). Satisfaz a especificação da Ford ESE-M2C-101- A. Indicada para serviço típico de motores à gasolina dos motores fabricados entre 1964 e 1967.

SD – Óleo com aditivos, proporcionando a mesma proteção que os óleos da classe SC , mas em maior grau. Satisfaz as especificações da Ford ESE-M2C-101 B (1968) e da General Motors GM-6041-M. Indicada para serviço típico de motores à gasolina, dos modelos fabricados entre 1968 e 1970. Pode ser recomendado para certos modelos de 1971, conforme indicação dos fabricantes destes veículos.

SE – Óleo com aditivos, proporcionando a mesma proteção que os óleos de classe SD , mas em maior grau. Satisfaz as especificações da Ford ESE-M2C-101-C e da General Motors GM-6136-M e à especificação MIL-L-41652. Indicada para motores à gasolina montados em carros de passeio e em alguns tipos de caminhões fabricados a partir de 1972. Pode ser recomendada também para alguns veículos fabricados em 1971.

SF – Óleo com aditivos antioxidante, antidesgaste, antiferrugem, anticorrosivo, proporcionando proteção contra a formação de ferrugem. Esta categoria apresenta maior estabilidade quanto à oxidação e menor desgaste do motor em relação às categorias anteriores. Os fabricantes europeus e americanos recomendam óleos desta categoria para uso em motores fabricados a partir de 1980. Satisfaz a especificação militar MIL-L- 46152B.

SG- Óleo com aditivos antioxidante, antidesgaste, antiferrugem, anticorrosivo, proporcionando maior proteção contra a formação de depósitos de alta e baixa temperatura, maior estabilidade contra a oxidação e menor desgaste do motor, em relação as categorias anteriores.

Homologado pela API-ASTM em 1988, é indicado para serviço típico de motores à gasolina em carros de passeio, furgões e caminhões leves, fabricados a partir de 1989.

SH- Categoria introduzida a partir de 01/08/93. Lubrificante recomendado para motores à gasolina, álcool e gás natural veicular, para atender os requisitos dos fabricantes de motores a partir de 1994. Apresentam performance com maior resistência a oxidação e melhor desempenho contra desgaste do que os de classificação anterior.

SJ- Categoria introduzida a partir de 15/10/96. Lubrificante recomendado para motores à gasolina, álcool e gás natural veicular, para atender os requisitos dos fabricantes de motores a partir de 1997. Apresentam características de desempenho com maior proteção contra ferrugem, oxidação e a formação de depósitos. Esta categoria pode substituir as anteriores.

SL- classificação mais recente é superior a API SJ. Os óleos SL passam por todos os testes que um óleo API SJ passa e por mais alguns que os óleos API SJ não passam. Logo, quando é recomendado um óleo com classificação SJ poderá ser usado um óleo SL, porem o contrário não e permitido.

Na figura 2.13 pode-se notar o nível de desempenho segundo a classificação API.

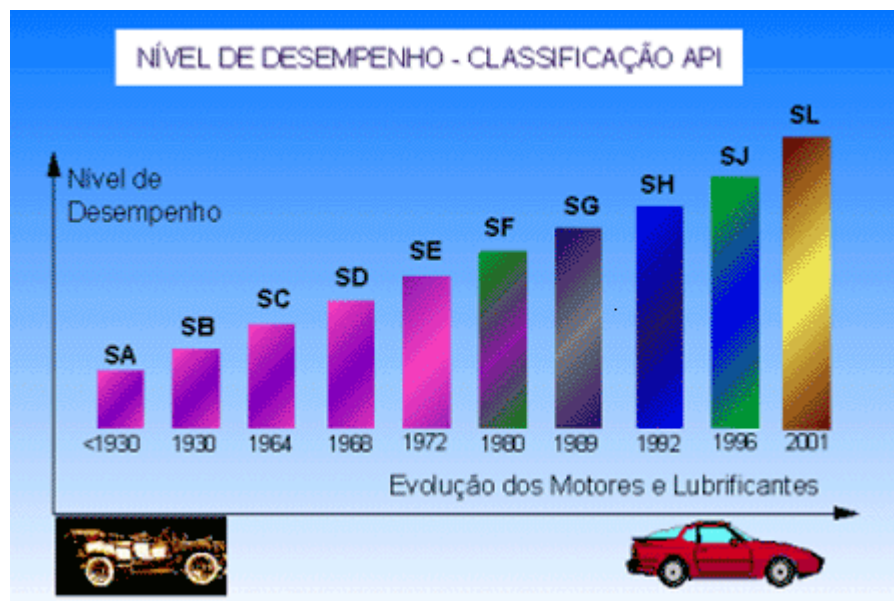


FIGURA 2. 10 - Nível de desempenho segundo a classificação API

2.4.1.2 Categorias para Motores a Diesel

CA- Óleo com aditivos que promovem uma proteção aos mancais, contra a corrosão, desgaste, evitando a formação de depósitos de altas temperaturas. Satisfaz a especificação militar MIL-L-2104-A . Óleo para uso em motores diesel não turbinados (com aspiração normal no ar), operando em condições suaves ou moderadas, com combustível de baixo teor de enxofre (0,4%). Este tipo de óleo foi largamente usado nas décadas de 1940 e 1950.

CB – Óleo com aditivos, proporcionando a mesma proteção que os óleos de Classe CA, mas em maior grau, devido à utilização de um combustível de elevado teor de enxofre. Satisfaz a especificação MIL-L-2104-A , suplemento 1. Óleo para uso em motores diesel, operando em condições suaves ou moderadas, com combustível de elevado teor de enxofre (1%).

CC- Os óleos da classe CC proporcionam proteção contra depósitos de altas temperaturas e formação de borra de baixa temperatura. Também possuem proteção contra ferrugem, desgaste e corrosão. Satisfaz a especificação MIL-L-2104-B. Óleo para uso em motores diesel turbinados com baixa taxa de superalimentação, operando sob condições de moderadas a severas, com qualquer tipo de combustível.

CD – Óleo com aditivos, proporcionando a mesma proteção que os óleos classe CC, mais em maior grau. Indicado para motores diesel turbinados com alta taxa de superalimentação, operando em condições severas e com qualquer tipo de combustível. Satisfaz a especificação MIL-L-2104-C e a especificação da Caterpillar, Série 3.

CD-2 – Motores diesel 2 tempos, trabalhando em serviço severo. Atende os requisitos dos motores Detroit , como por exemplo os da série 149 dos caminhões fora de estrada Haulpak.

CE – Óleo com aditivos, superando a categoria CD em ensaios mais severos de desempenho. Satisfaz as exigências dos fabricantes americanos quanto ao consumo de óleo lubrificante, combustível, controle de depósitos, dispersância, desgaste e corrosão.

Homologada em abril de 1987. Indicado para motores diesel turboalimentados em serviço severo.

CF – Categoria introduzida a partir de 1994, podendo ser usada em substituição a API CE. Para serviços em motores diesel de injeção indireta e outros, incluindo os que usam diesel com alto teor de enxofre (acima de 0.5%). Apresenta efetivo controle dos depósitos nos pistões, corrosão em mancais e desgaste, sendo os motores superalimentados, turbinados ou de aspiração natural. Atende aos testes de motor: CRCL-38 e Caterpillar IMPC.

CF-2- Para serviço em motores diesel de 2 tempos que requerem efetivo controle de desgaste e depósitos. Esta categoria demonstra superior performance em relação aos óleos da classificação CD-2, podendo substituí-la. Atende aos testes de motor : CRL L-38, Caterpillar IM-PC e Detroit Diesel 6 V92TA.

CF-4- Esta classificação foi criada em 1990 para uso em motores diesel quatro tempos operando em altas velocidades. O CF-4 excede os requisitos do API CE no que tange a um maior controle de consumo de lubrificante e depósitos nos pistões: atende os requisitos da CRC L-38, MACK-T6, MACK-T7, CUMMINS NTC 400 e Caterpillar 1K.

CG-4- Categoria introduzida em 1994, desenvolvida especialmente para uso em motores projetados para atender aos níveis de emissão do EPA (Agência de Proteção Ambiental) podendo ser usada nos motores diesel de alta rotação em uso rodoviário, usando óleo diesel com teor de enxofre inferior a 0,5%. Os óleos desta categoria destacam-se pela proteção aos motores contra depósitos em pistões operando em altas temperaturas, espuma, corrosão, desgaste, estabilidade a oxidação e acúmulo de fuligem. Atende aos testes de motor : CRC L-38, sequência IIIE, GM 6.2L, MACK T-8 e Caterpillar 1K.

CH-4- Categoria disponível a partir de dezembro de 1998. A classificação API CH-4 foi desenvolvida para entender à rigorosos níveis de emissão de poluentes, em motores de alta rotação e esforço, que utilizam óleo diesel com até 0,5% de enxofre. Os óleos desta categoria proporcionam especial proteção contra desgaste nos cilindros e anéis de vedação, além de possuírem o adequado controle de volatilidade, oxidação, corrosão. A classificação CH-4 substitui as classificações anteriores para motores de quatro tempos a diesel.

2.4.1.3 Classificação de óleos para motores 2T

Desde 1962, existe somente uma classificação padrão de performance para motores estabelecida pela NMMA (*National Manufacturers association*) chamada BIA TC-W. Estas letras representam *Boating Industry Association Two Cycle-Water-Cooled*. Por causa da existência desta classificação solitária, e da difundida premissa que a maioria dos motores 2T poderiam ser atendidas pelos lubrificantes qualificados no BIA TC-W, numerosos fabricantes de

motores 2T especificavam-na para atender os seus requisitos de óleo lubrificante (Petrobras, 1999).

Este aspecto precipitou a formação em 1976 da tripartite SAE, ASTM e CEC (*Coordinating European Council*) para estabelecer uma classificação padrão de performance para motores 2T, abrangendo todos os tipos e potência de motores, dividida em 4 categorias distintas: TSC-1 até TSC-4.

TABELA 2. 5 - Designação de óleos para motores 2T

Designação	Testes	Parâmetro Avaliado
TSC-1	Motobecane	Arranhamento/Depósitos
TSC-2	Vespa	Arranhamento/Depósitos/Pré-Ignição
TSC-3	Yamaha Y-350 M2 Motobecane	Limpeza/Agarramento do anel Arranhamento/Depósitos
TSC-4(EIA) TC-W I,II,III	OMC(Outboard Marine Corporation)(Johnson85HP)	Arranhamento/Limpeza/Ferrugem Agarramento do anel/Pré-ignição

Por causa da semelhança da nomenclatura TSC-1 até TSC-4 com a área industrial, a API e a ISO desenvolveram uma nova nomenclatura para consumidor de lubrificante 2T.

TABELA 2. 6 - Equivalência entre as nomenclaturas

ATUAL	ISO	API
TSC-1	ISO-L-ETA	API T-A
TSC-2	ISO-L-ETB	API T-B
TSC-3	ISO-L-ETC	API T-C
TSC-4	ISO-L-ETD	API T-D

Capítulo 3

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Muitos séculos após o início da utilização dos primeiros veículos de tração animal, os esforços humanos foram dirigidos à construção de veículos que não dependessem da tração animal. Com a invenção da máquina a vapor no século XVIII, ocorreu sua instalação em veículos. Em 1771 um triciclo a vapor foi o primeiro a ser construído na França. Esse triciclo iniciou um processo que não se interrompeu mais, isto é, a produção de automóveis (veículos com propulsão própria) (Yve, Butsuen e Hedrick, 1989).

A partir deste momento houve uma separação entre veículos com restrição de movimento (locomotivas) e os veículos com liberdade de movimento que deram origem aos atuais automóveis.

Inúmeras foram as conquistas nessa época, porém a produção de veículos automotores veio a atingir grande significância somente no final do século seguinte, com a criação e aperfeiçoamento dos motores de combustão interna (Raghavan, 1996).

A partir da introdução do motor de combustão interna nos veículos, tornou-se necessário o seu monitoramento para que se obtivesse um maior aproveitamento e uma maior vida útil do mesmo.

Em veículos de luxo já existe algum tipo de monitoramento ‘on line’ nos motores. Além de encarecer o produto final este monitoramento é feito somente pela análise do sinal vibratório.

A tendência atual é o monitoramento do lubrificante do motor para se ter uma maior economia de combustíveis, menores emissões de poluentes e uma vida útil maior do motor. Isto pode ser feito através de medidas como a do índice de basicidade total (TBN), da viscosidade e da análise de partículas presentes no óleo lubrificante.

Este tipo de monitoramento nada mais é do que uma manutenção preditiva que por definição, simplista, é uma manutenção preventiva subordinada a um tipo de acontecimento

predeterminado tais como as informações dadas por um sensor ou a medida de um desgaste que revelam o estado de degradação de um bem (Xavier, 1998).

A medicina e a Mecânica Automotiva já aplicam a "manutenção preditiva". A primeira quando (Anom, 1986)

- i) 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 conseqüência no futuro.
- ii) Monitora a pressão sangüínea. Se estiver muito alta você poderá sofrer algum desmaio.
- iii) 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:

- i) 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;
- ii) Alto consumo de combustível indica a necessidade de regulagem do motor;
- iii) A queda de pressão do óleo indica que se deve desligar o motor e corrigir o defeito imediatamente.

Alguns problemas específicos têm suas causas passíveis de análises.

3.1 – PROBLEMAS E POSSÍVEIS CAUSAS

A formação de borras, lacas e vernizes no motor podem ser devido à período de uso muito longo, baixa qualidade do óleo, contaminação do óleo, superaquecimento ou operação a baixa temperatura, válvula termostática defeituosa e / ou inoperante, vazamento de gases por anéis e válvulas, filtragem de óleo e ar ineficientes, combustível de má qualidade, excessivo uso em marcha lenta, serviços não-contínuos e percursos reduzidos, ventilação do cárter ineficiente e bombas e bicos injetores desregulados.

Deve-se fazer a troca do óleo, independentemente da quilometragem, quando se observar altas temperaturas e superaquecimento, contaminações por combustível, água, fluido refrigerante ou poeira, anéis em más condições e filtragem de óleo e ar deficientes.

Água no óleo pode ser causa de trincas no cabeçote, defeito ou queima na junta do cabeçote, vazamento no radiador de óleo, operação a baixa temperatura, uso exagerado da marcha lenta, contaminações externas, trincas ou porosidades no bloco ou cabeçote, aperto do cabeçote com torque inadequado e vazamento pelos retentores das camisas de cilindros.

Uma diminuição da viscosidade pode ser consequência de diluição com combustível e complementação com óleo de menor viscosidade.

Por outro lado um aumento na viscosidade pode ser causa de intervalo muito longo entre as trocas, sobrecarga, operação em super aquecimento, anéis em mau estado, contaminações por água e /ou fuligem, óleo de baixa qualidade, restrição no filtro de ar ou entrada de ar não filtrado (filtro falso) e complementação com óleo de maior viscosidade.

O desgaste nos anéis pode ser devido à má qualidade do óleo, filtragem de óleo e ar deficientes, intervalo longo entre trocas de óleo, arrefecimento(sistema que controla a temperatura do motor) insuficiente (superaquecimento), entrada de ar não filtrado, distorções nas camisas de cilindros, desgaste nas ranhuras (canaletas) dos pistões, anéis e pistões de medida errada, passagem de óleo nos pistões obstruída e rotação acima do permitido.

Se na inspeção observar-se desgaste e avarias de mancais, isto estará acontecendo devido à baixa pressão do óleo, excesso de carga, tempo de injeção incorreto (motores diesel), montagem errada, fadiga do material, falhas metalúrgicas dos metais, viscosidade do óleo errada, vazamento de água e/ou óleo, espuma e bolhas no óleo, filtragem de óleo e ar deficientes e óleo de má qualidade.

O arranhamento e avarias nas camisas podem ser devido à falta de lubrificação, arrefecimento insuficiente, anéis presos, quebrados ou desgastados, distorções das camisas, defeitos durante a usinagem, polimento inadequado, projeto de pistões e anéis, metalurgia

inadequada, viscosidade do óleo errada, montagem errada, filtragem do óleo e ar deficientes, problemas no período de amaciamento, sobrecarga e excesso de marcha lenta (motores diesel).

Para os motores à diesel uma injeção fora do ponto pode causar desregulagem da bomba injetora, perda de potência, sobrecarga, superaquecimento, arranhamento de camisas, desgaste e avarias nos mancais e trincas de cabeçote.

Alto consumo de óleo combustível aliado a baixa pressão do cilindro, perda de potência, aumento de fumaça escura (emissões), arranhamento de camisas, verniz, borra, agarramento de pistões, depósitos excessivos de cinzas e sobrecarga nos outros cilindros podem ser devido ao mau estado dos anéis.

Dificuldade de engate e desgaste prematuro dos sincronizadores pode ser causado devido ao uso de óleo com viscosidade superior à especificada, uso de óleo com características diferentes das especificadas, contaminação por água, óleo com período de troca ultrapassado e falta de fluido no sistema hidráulico de acionamento.

Desgaste e quebra de engrenagens em caixa de transmissão manual podem ser conseqüência de uso freqüente de "banguela", uso de óleo com desempenho inferior ao especificado, baixo nível de lubrificante, excesso de carga, mudança de marcha sem o uso da embreagem e realizada fora de "tempo", contaminação por água e Engate de marcha à ré com o veículo em movimento para frente

Para se precisar estes e outros problemas existem análises rigorosas e detalhadas que fornecem informações precisas e que requerem maiores conhecimentos científicos.

3.2 – ANÁLISE DO LUBRIFICANTE USADO

A análise do lubrificante consiste em pegar amostras de óleo em um determinado período de funcionamento do motor e, posteriormente, avaliá-los para determinar tanto o estado do motor quanto do lubrificante (Fygueroa, 1997).

Em um motor é detectado um certo grau de contaminação no óleo devido a presença de partículas de desgaste ou substâncias parecidas. O estado em que o óleo sofre determinada

degradação é aquela em que ele perde sua capacidade de lubrificar devido a uma variação das propriedades físicas e químicas de seus aditivos (Fygueroa, 1997).

A contaminação no óleo, que se pode determinar, quantificando uma amostra de lubrificante é:

- Partículas metálicas de desgaste
- Combustível
- Materiais Carbonáceos
- Insolúvel

A degradação pode ser avaliada medindo as seguintes propriedades do óleo:

- Viscosidade
- Detergentes
- Constante Dielétrica

3.2.1 - Tipos de Ensaio

Há diversos métodos e técnicas de análise de óleo para diagnósticos finos e precisos para avarias nos motores, em seguida serão citadas as mais utilizadas.

3.2.1.1 – Espectrometria

A espectrometria fornece uma análise quantitativa elementar das partículas de desgaste presentes no lubrificante (Schilling, 1965), para esta finalidade utiliza os espectrômetro de emissão e de absorção.

Espectrômetro de emissão: utilizam propriedades de átomos no qual é excitado e emitem uma radiação que é função de sua configuração eletrônica e que está composta por longitude de onda característica, razão pela qual elementos diferentes emitem radiações diferentes.

Espectrômetro de absorção atômica: aproveita a propriedade de que a quantidade de luz monocromática absorvida pelos átomos de um elemento excitado é proporcional a sua concentração. Esta técnica relativamente simples é de baixo custo.

Na análise de óleos usados utiliza-se cada vez mais o espectrômetro. Estes métodos do ensaios possuem excelente receptividade e precisão no limite de detecção e apresentam a desvantagem de não detectarem partículas grandes(maior de $5\mu\text{m}$).

O princípio básico da absorção atômica consiste em submeter a amostra do lubrificante a uma alta tensão (15 kV) no qual aquece e libera energia. Os fenômenos especiais da radiação são gerados quando podem diferenciar e atribuir as radiações em diferentes frequências nos elementos específicos constituintes no lubrificante. A intensidade da radiação a uma frequência específica é proporcional à concentração de seu respectivo elemento. A figura 3.1 mostra o desenho esquemático da espectrometria por absorção atômica e a figura 3.2 mostra o espectrômetro de emissão óptica.

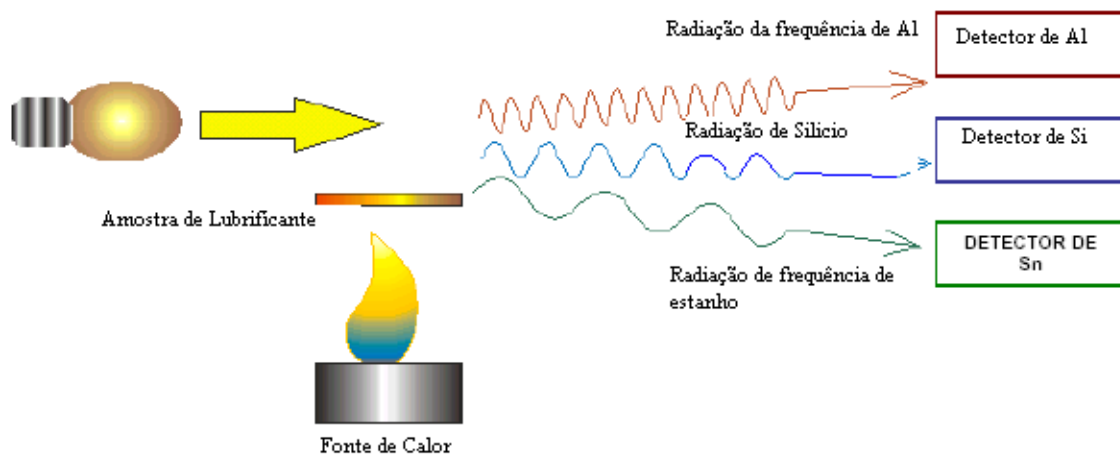


FIGURA 3. 1 - Desenho esquemático da espectrometria por absorção atômica

Alguns dos elementos detectados, em motores de combustão interna, mais importantes estão relacionados na tabela abaixo. (Lucas e Anderson, 1995)



Figura 3.2 - Espectrômetro de emissão óptico portátil

TABELA 3. 4 - Elementos detectados na análise do óleo

Silício	Poeira, aditivos antiespulfantes
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

O fornecedor do óleo conta com tabelas dos valores máximos dos elementos no lubrificante, em relação ao tipo de máquina e do processo produtivo. A contaminação é mostrada

em outra parte do relatório no qual relacionam as concentrações medidas de diversos elementos no máximo permissível (de acordo com o fornecedor). Deve-se considerar que todas as máquinas são diferentes e suas condições de operação, em regiões diferentes, também são.

3.2.1.2– Ferrografia

Existem dois tipos de ferrografia.

a – Ferrografia Direta

A ferrografia direta consiste em uma medida quantitativa da concentração de partículas ferrosas em uma amostra de fluido através da precipitação dessas partículas em um tubo de vidro submetido a um forte campo magnético. Dois raios da luz transportados por fibra óptica impactam no tubo em duas posições que correspondem à posição em que as partículas grandes e pequenas serão depositadas pelo campo magnético. A luz é reduzida com relação às partículas depositadas no tubo de vidro e esta redução é monitorada e medida eletronicamente. Dois jogos das leituras são obtidos das partículas grandes e pequenas (partículas maiores de 5 microns e partículas menores de 5 microns). Geralmente mais de 20.000 partículas/100 ml, maiores de 5 microns indicam um alerta e mais de 40.000 partículas/100 ml, indicam problemas de desgastes em componentes ferrosos da máquina (Rueda, 2005).

A figura 3.3 ilustra um aparelho de ferrografia direta e a figura 3.4 um desenho esquemático do aparelho.



FIGURA 3.3 - Aparelho de Ferrografia Direta

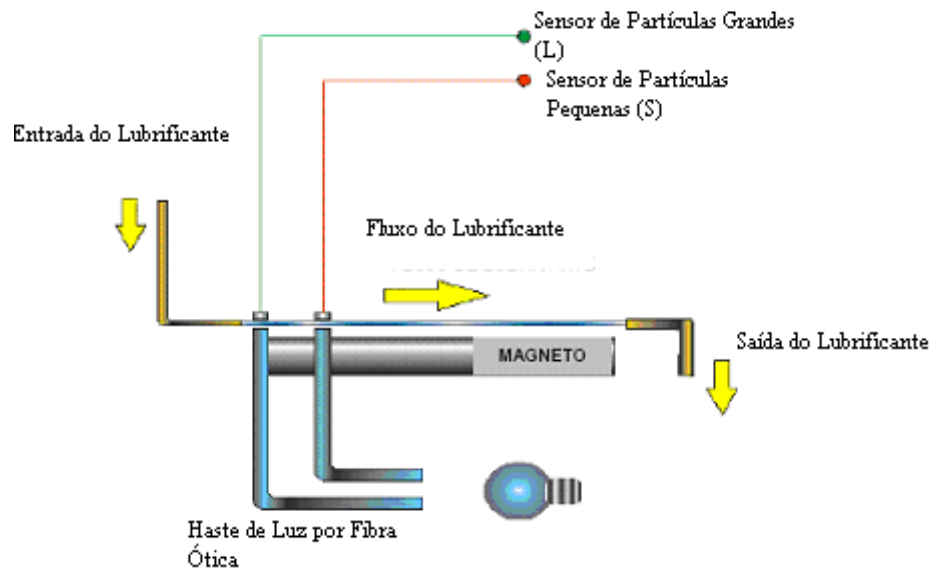


FIGURA 3.4 - Desenho esquemático do Aparelho de Ferrografia

A contagem de partículas é uma tecnologia que contam e classificam, em faixas granulométricas, os contaminantes sólidos existentes no óleo.

Essa técnica, inicialmente usada no controle de fluidos em satélites e naves espaciais, foi gradativamente estendida a sistemas hipercríticos, hidrostáticos, hidráulicos, etc. O controle é,

hoje, recurso indispensável ao departamento de manutenção para que se obtenha melhor desempenho e maior vida útil dos componentes do sistema.

As referências que podem ser usadas são a NAS 1638 onde a especificação mostra o número das partículas permissíveis para cada série de tamanhos de partícula, e a ISO 4406.

TABELA 3. 5 – 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			

- A** - Sistemas hipercríticos, satélites, naves espaciais, sistemas de mísseis.
- B** - Sistemas críticos, controles com micro-servo válvulas e grau do fluido quando novo.
- C** - Sistemas servo controlado, proporcionais, controles de sistemas aéreos, sistemas de navegação.
- D** - Escavadeiras Demag, sistemas hidráulicos industriais de alta pressão, transmissões hidrostáticas.
- E** - Sistemas Mobil, equipamentos de movimentação de terra, guinchos, movimentação de materiais, uso geral de baixa pressão.
- F** - Sistemas manuais, macacos hidráulicos, sistemas de uso esporádico.

A ISO 4406 (International Standards Organization) nível padrão de limpeza, tem obtido uma vasta aceitação em muitas indústrias de hoje. Uma versão modificada vastamente utilizada deste padrão refere-se ao número de partículas maiores que 4, 6 e 14 micrômetros em

um volume de 1 mililitro de fluido. O número de partículas maiores que 4 e 6 micra é usado como ponto de referência para partículas sedimentadas. As partículas maiores que 14 micrômetros, contribuem grandemente para uma possível falha catastrófica no componente. A tabela 3.3 mostra os vários números do código ISO 4406 e a figura 3.5 um exemplo de medida utilizando um código ISO.

TABELA 3. 6 – Valores referentes à Norma ISO 4406.

Tabela de Contagem de Partículas ISO 4406		
Números de Partículas por ml		Números da Escala
Mais que	Até ou Igual	
2.500.000		>28
1.300.000	2.500.000	28
640.000	1.300.000	27
320.000	640.000	26
160.000	320.000	25
80.000	160.000	24
40.000	80.000	23
20.000	40.000	22
10.000	20.000	21
5.000	10.000	20
2.500	5.000	19
1.300	2.500	18
640	1.300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2.5	5	9
1.3	2.5	8
0.64	1.3	7
0.32	0.64	6
0.16	0.32	5
0.08	0.16	4
0.04	0.08	3
0.02	0.04	2
0.01	0.02	1
0.005	0.01	0
0.0025	0.005	00

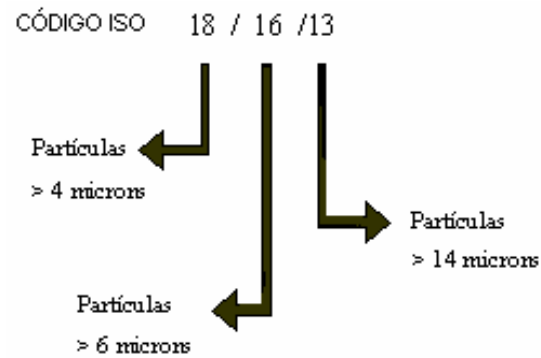


Figura 3.5 - Exemplo de um Código ISO obtido

b – Ferrografia Analítica

A ferrografia analítica trata-se da separação magnética das partículas encontradas no lubrificante. Uma lâmina repousa em um magneto que atrai as partículas ferrosas e permite a adesão destas partículas na lâmina. A figura 3.6 mostra o desenho esquemático da ferrografia analítica

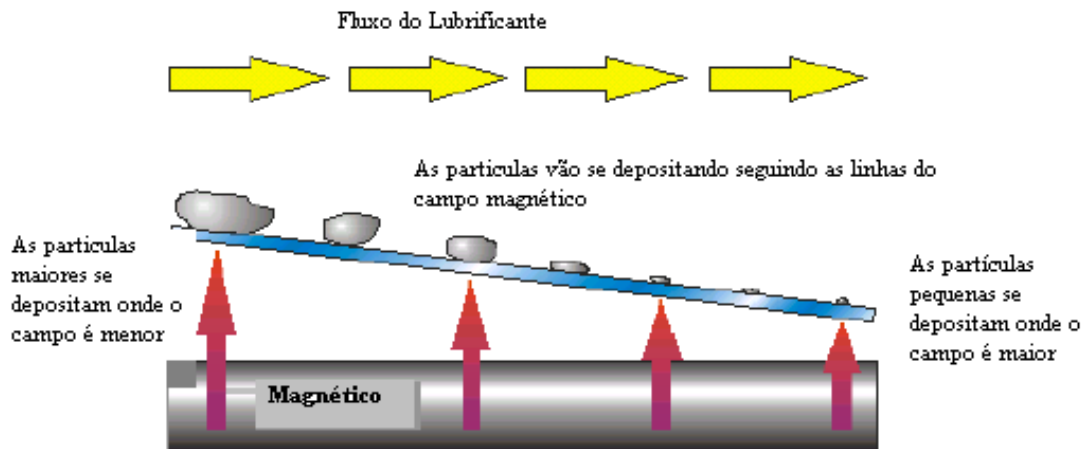


FIGURA 3. 6 - Desenho esquemático da Ferrografia Analítica

Devido ao campo magnético as partículas ferrosas são alinhadas em correntes horizontais durante toda a lâmina. As partículas grandes se depositam no ponto de entrada e as pequenas no ponto de saída. As não ferrosas são depositadas aleatoriamente em toda a lâmina acumulando-se sobre as correntes de partículas ferrosas que agem como barreiras. A ausência de partículas ferrosas reduz substancialmente a eficácia da análise das não ferrosas. A figura 3.7 mostra o desenho ilustrando as posições das partículas magnéticas

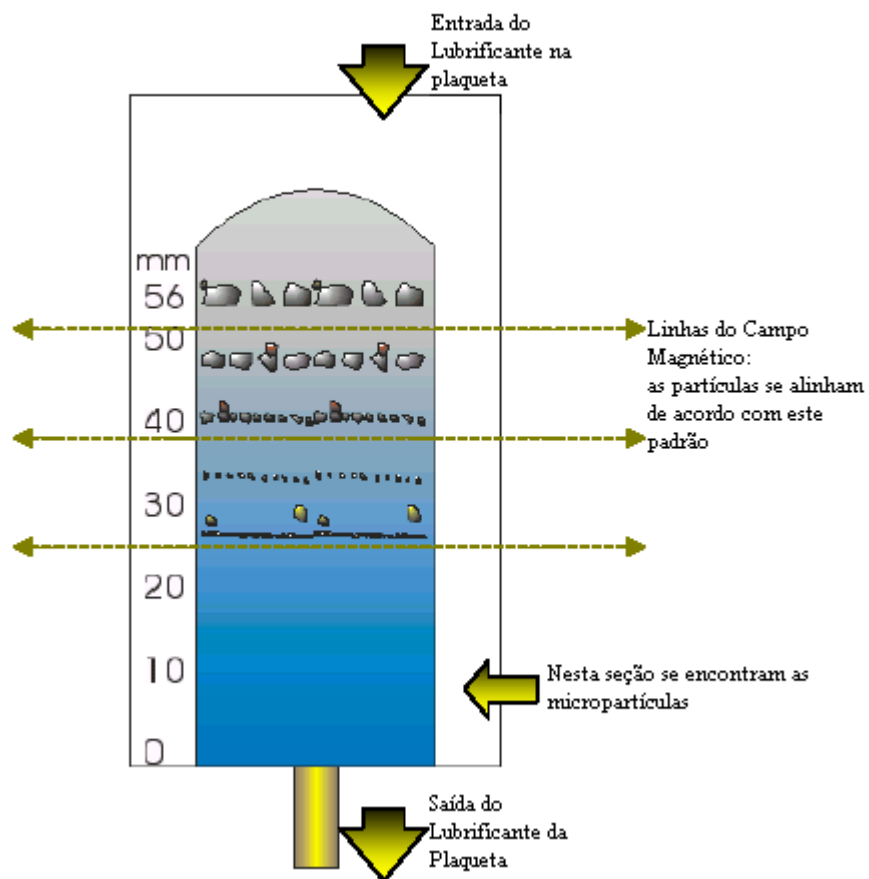


FIGURA 3. 7 - Desenho ilustrando as posições das partículas magnéticas

A lâmina preparada desta maneira com estas correntes se denomina ferrograma. O ferrograma está agora pronto para a inspeção ótica usando um microscópio bicromático.

O ferrograma é examinado por um microscópio bicromático polarizado e equipado com uma câmera digital. O microscópio utiliza duas luzes: uma superior da cor vermelha (refletida) e

uma inferior da cor verde (transmitida). Este jogo de luzes ajudas a distinguir o tamanho, a forma e a geometria das partículas ferrosas e não ferrosas. As partículas são classificadas para determinar o tipo de desgaste e sua causa. Para ajudar à identificação da composição o analista pode aquecer o ferrograma por dois minutos a 330°C. A figura 3.8 mostra a identificação de partículas no ferrograma e a figura 3.9 mostra a identificação do tamanho, da forma e da geometria das partículas ferrosas e não ferrosas.

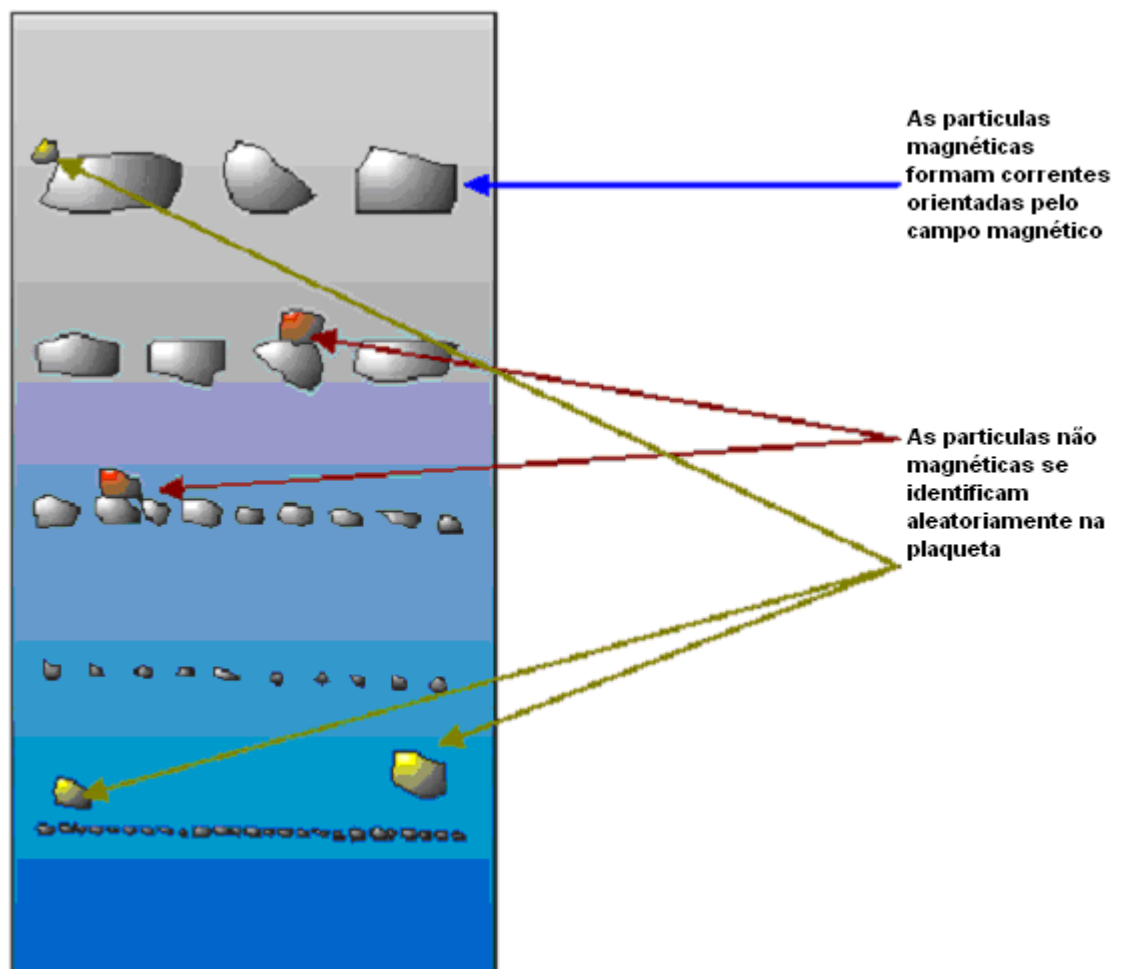


FIGURA 3. 8 - Identificação de partículas no ferrograma

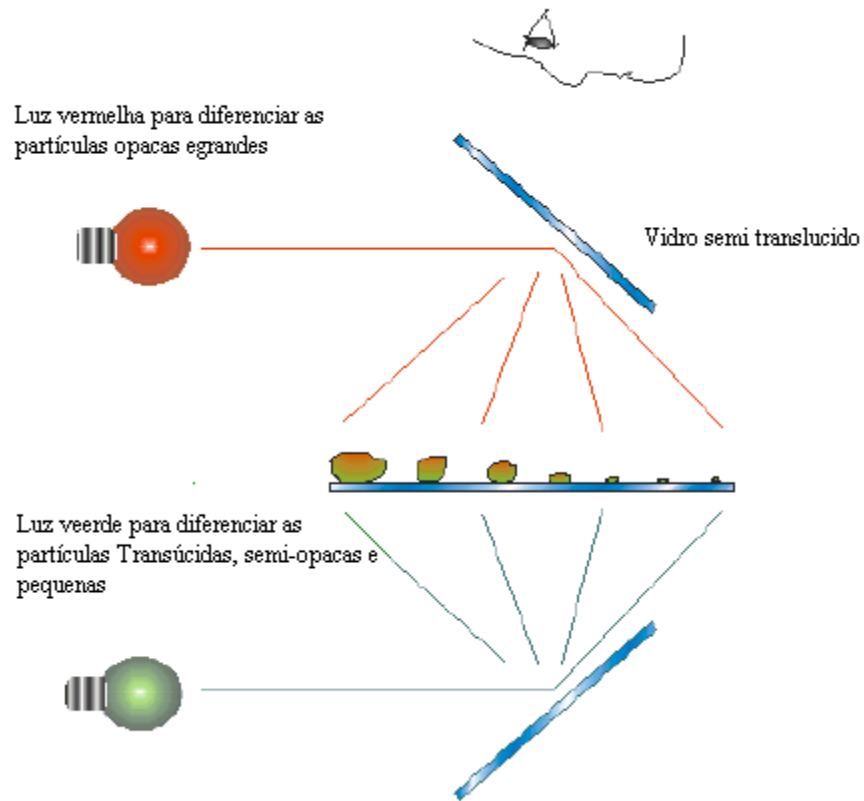


FIGURA 3. 9 - Identificação do tamanho, da forma e da geometria das partículas ferrosas e não ferrosas

3.2.1.3 – TBN e TAN

O TBN (Total Base Number) determina a eficácia e o controle dos ácidos que surgem durante o processo de combustão. Quanto maior o TBN, maior a eficácia em eliminar os contaminadores que causam o desgaste e em reduzir os efeitos corrosivos dos ácidos sobre um período de tempo prolongado. A medida associada ASTM D2896 ou NBR 05798 varia geralmente de 6-80mg KOH/g em lubrificantes modernos, de 7-10mg para o uso automotriz geral e de 10-15 para operações a Diesel. Os lubrificantes marinhos geralmente funcionarão de 15-50mgKOH/g, mas podem ser tão elevados como 70 ou 80mg KOH/g. Quando o TBN é medido em 2mg KOH/g ou menos o lubrificante é considerado inadequado para a proteção do motor,

com isto pode ocorrer a corrosão. Um combustível com teor maior de enxofre diminuirá o TBN mais rapidamente devido ao aumento de ácido sulfúrico.

O TAN (Total Acid Number) representa a massa em mgKOH/g necessária para neutralizar um grama de óleo: é a medida de todas as substâncias contidas no óleo que reagem com hidróxido de potássio. Os constituintes mais comuns de tais produtos ácidos são ácidos orgânicos, sabões de metais, produtos de oxidação, nitritos e nitrocompostos e ainda outros compostos, que podem estar presentes como aditivos e que reagem com hidróxido de potássio.

Qualquer óleo cujo ph esteja compreendido entre valores 4,0 e 11,0 apresentará um TBN, expresso em mg KOH/g, equivalente a quantidade de ácido necessário para levar o ph do valor em que está até o ph 4,0 em um TAN expresso em KOH/g necessário para levar o ph até o limite superior, ph 11,0 (Borges Neto, 2005).

Como resultado da progressiva oxidação do óleo, podem formar-se ácidos orgânicos; sendo que os sabões metálicos são, então, resultantes da reação destes ácidos com metais.

3.2.1.4 – Viscosidade

A viscosidade é a propriedade dos fluidos correspondente ao transporte microscópico de quantidade de movimento por difusão molecular. Ou seja, quanto maior a viscosidade, menor a velocidade em que o fluido se movimenta. Define-se pela lei de Newton da viscosidade:

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad \text{-----} \quad 3.1$$

onde a constante μ é o coeficiente de viscosidade, viscosidade ou viscosidade dinâmica e du/dy é a derivada da velocidade em função da altura de um fluido.

Muitos fluidos, como a água ou a maioria dos gases, satisfazem os critérios de Newton e por isso são conhecidos como fluidos newtonianos. Os fluidos não newtonianos têm um comportamento mais complexo e não linear.

Viscosidade pode ser entendida como a medida da resistência de um fluido à deformação causada por um torque. É comumente percebida como a "grossura", ou resistência ao despejamento. Assim, a água é "fina", tendo uma baixa viscosidade, enquanto óleo vegetal é "grosso", tendo uma alta viscosidade.

3.2.1.5 – Ponto de Fulgor

Ponto de fulgor é a menor temperatura(°C) na qual um líquido libera vapor ou gás em quantidade suficiente para formar uma mistura inflamável. 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.

3.2.1.6 – Insolúveis

O teste Blotter Spot é usado para avaliar a concentração dos insolúveis e estimar o poder dispersivo do óleo usado. Depois que uma gota do óleo usado é colocada em um tipo especial de filtro de papel, a interpretação visual da mancha determina se o óleo é de caráter dispersante ou não.

ASTM D 893 descreve o método do centrifugador para determinar insolúveis no óleo usado. Dois procedimentos estão disponíveis. Em um, o óleo usado é misturado com o pentano e depois centrifugado. No outro, a amostra de óleo usado é misturada com uma solução do pentano-coagulante e então centrifugado. Em ambos os procedimentos, o precipitado é lavado, secado e pesado para dar o conteúdo dos insolúveis. O método de centrifugação tornou-se contraproducente quando os aditivos modernos do dispersante nos lubrificantes necessitaram a adição de coagulantes à amostra a fim de efetuar uma separação mais completa dos sólidos durante a centrifugação.

O método de filtração para medir os insolúveis começa com uma quantidade pesada de amostra do óleo usado que é diluída com o pentano ou o heptano antes de ser filtrado através de

uma membrana. A porcentagem dos insolúveis é calculada do peso aumentado da membrana após a filtração e a secagem. Quando os filtros da membrana puderem ser selecionados de acordo com o tamanho do poro para medir insolúveis, acima de um tamanho crítico pré-selecionado, as partículas grandes podem obstruir os poros do filtro e assim introduzir um erro mantendo para trás insolúveis menores do que o tamanho do poro. Este procedimento usa solventes altamente inflamáveis.

A Termogravimetria pode também ser aplicada para a determinação dos insolúveis no óleo usado. Os instrumentos automáticos são usados para o teste em que uma amostra pesada do óleo usado é aquecida em um fluxo de nitrogênio nos fornos até 650°C. Após alguns minutos, o peso da amostra é gravado e 10% do ar é introduzido no fluxo de nitrogênio para oxidar o carbono e formar fuligem. O índice do ar é aumentado gradualmente a 100%. Quando o peso da amostra estiver estabilizado, o teste estará completo. A vantagem preliminar do teste termogravimétrico é a habilidade de quantificar separadamente a combustão formada pelo carbono ou a fuligem e as parcelas não-combustíveis da amostra de óleo usado e esta técnica demora uma hora por amostra, a determinação termogravimétrica insolúvel raramente é aplicada em um programa rotineiro da análise de óleo usado.

3.3 – SISTEMAS TRIBOLÓGICOS DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

Baseado na função, os componentes do cilindro de um motor de combustão interna podem ser divididos em oito sistemas com relações tribológicas: camisa/anel; o anel e o sulco do anel, a saia da camisa/pistão, pino do pistão e os furos do pistão, pino do pistão e biela, saia do pino do pistão/pistão (pistão articulado), coroa do pistão/camisa (pistão articulado), e o anel de óleo/mandril.

O desgaste pode ocorrer em qualquer destes oito sistemas. Para todas as finalidades práticas, os motores são reconstruídos quando o consumo de óleo e o sopro se tornam excessivos.

Uma saia do pistão corretamente projetada tem uma película lubrificada adequada entre esta saia e a camisa, ou seja, tem uma camada de lubrificante entre a saia e a camisa.

O desgaste causado por um contato mecânico em um pino e em um furo bem projetados operando em circunstâncias normais é mínimo. As partículas incrustadas, devido ao processo de lapidação ou polimento, podem conduzir um desgaste excessivo no furo. Uma falha anormal do

furo ocorre quando um motor quente faz uma parada repentina. O óleo refrigerador do pistão para de fluir e a área da coroa do pistão fica mais quente do que as saliências e o pino do pistão. Em conseqüência, o calor é transferido da coroa quente ao furo do pistão, que sofre maiores temperaturas do que em condições normais. Estas altas temperaturas na bucha do furo do pistão podem conduzir à degradação do material do rolamento. Uma outra falha anormal pode ser causada pelo pino curvado, que resulta na distribuição de carga não uniforme, com as tensões elevadas nas bordas internas do furo. Nesta situação trincas causadas pela fadiga são observadas na bucha do pistão. Na figura 3.10 está apresentada a distribuição (a) da energia em um motor em operação, e (b) atrito mecânico total do motor.

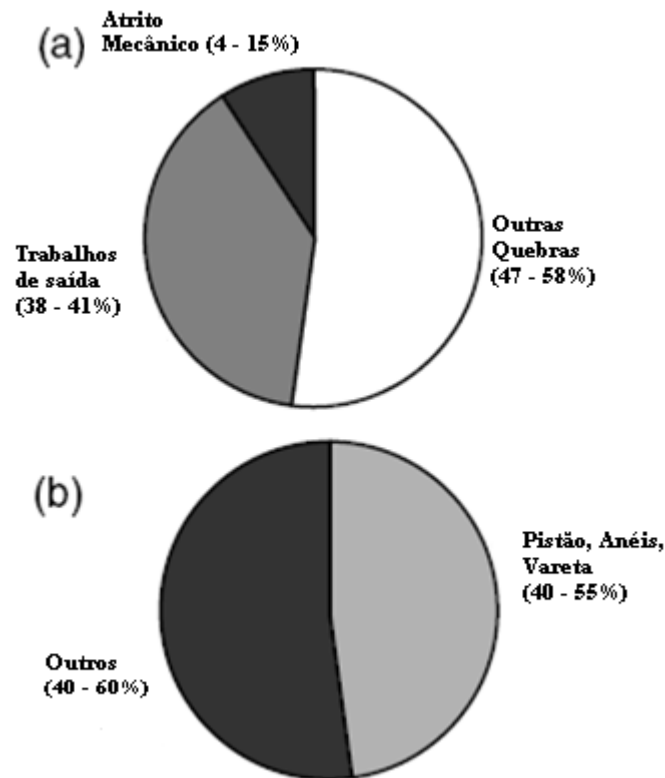


FIGURA 3. 10- Distribuição (a) da energia em um motor em operação, e (b) atrito mecânico total do motor. (Richardson, 1999) apud Modern Tribology

O contato entre a coroa do pistão e a camisa são lubrificadas. Um sistema bem projetado operando em circunstâncias normais mostra que o desgaste é mínimo. As causas potenciais do desgaste elevado da camisa do pistão incluem depósitos de óleo excessivos e contaminadores externos.

O consumo de óleo é controlado primeiramente pela tensão do anel. É elevado em baixa pressão da unidade, diminui com um aumento e é constante acima de alguma pressão. Normalmente os anéis são projetados na região de pressão da unidade onde o consumo de óleo é constante.

Nos motores que empregam anéis com alargador, a pressão do óleo pode cair quando o alargador se desgastar com o tempo ou quando a mola encaixa no diâmetro interno do anel. Isto resulta no aumento do consumo de óleo. A deposição com Cr ou nitretação gasosa são técnicas de modificação superficial usadas para prolongar a vida de um anel.

3.3.1 - Relação Tribológica do anel/camisa

Kodali et al. (1999) revisaram os fatores principais que influenciam o desgaste da camisa do cilindro. A maioria destes fatores é válida também para o desgaste do anel. As seguintes seções discutem as principais variáveis que influenciam o desgaste de anel/camisa, incluindo o aspecto do projeto, da escolha de materiais, de parâmetros de operação do motor, de enxofre do combustível, de depósitos no motor, de fuligem, e de aditivos do lubrificante.

A - No projeto mecânico do cilindro

O projeto de componentes do cilindro de potência pode ter um efeito significativo no desgaste do sistema. Os princípios fundamentais no projeto para o baixo desgaste dos cilindros de potência são:

- projeto do sistema para a lubrificação hidrodinâmica, que impede o contato direto entre superfícies de deslizamento.
- escolha de materiais compatíveis para as superfícies de deslizamento, que resulta no baixo desgaste quando o contato ocorre entre superfícies de deslizamento.

Os parâmetros de projeto do motor que modificam as dimensões do cilindro podem influenciar o desgaste da camisa. É necessário compreender o efeito dos parâmetros tais como a distribuição da pressão de gás, a força do contato na interface anel/camisa, o projeto e a posição do bloco do anel, e o tipo do pistão.

B - Furo e curso

O tamanho do furo tem pouco efeito no desgaste de anel/camisa porque as pressões que agem no anel permanecem as mesmas. O comprimento do curso e da biela afetam a velocidade do pistão. Isto pode ter efeito nas películas hidrodinâmicas do óleo que são desenvolvidas sob a face do anel. As distorções excessivas do furo resultam no aumento do desgaste do anel/camisa.

C - Carga e velocidade

A carga do motor é governada pela pressão do cilindro. Quanto maior a pressão do cilindro agindo nos anéis, maior será o potencial para o aumento do desgaste. Cargas maiores tendem também a aumentar a temperatura do pistão. Uma maior temperatura diminui a viscosidade do óleo, reduz a espessura da película do óleo, e aumenta o desgaste; podem também causar as distorções que podem conduzir um desgaste elevado.

A velocidade do motor é uma indicação do número das vezes que o anel e a camisa contatam perto do ponto morto superior (PMS). Uma maior velocidade resulta no aumento do desgaste causado por um aumento no número dos contatos do anel e da camisa no PMS. Elevada RPM (rotação) aumenta também a velocidade do pistão, que pode reduzir taxas de desgaste pelo aumento da espessura da película do óleo.

D - Camisa, anel, e projeto do pistão

O projeto da camisa é crítico ao minimizar a distorção do furo que pode conduzir um desgaste excessivo. Em condições de lubrificação limite, o acabamento superficial da camisa influencia o desgaste desta.

Durante altas pressões no cilindro, a espessura do anel afeta a força radial que age neste anel. Menores espessuras podem diminuir esta força e reduzir o desgaste. O perfil da face do anel influencia a força líquida devido a pressão do gás e a lubrificação hidrodinâmica na face do anel, e deve ser otimizada para minimizar o desgaste.

O desgaste da camisa é também uma função do projeto do pistão. Se a folga superior não for projetada corretamente, o carbono pode ser formado. Estes depósitos de carbono, quando presos entre o pistão e a camisa, resultam no polimento do furo na área contrária do topo do anel. O polimento do furo resulta em uma quantidade significativa de perda de material e de perda do óleo.

Folgas e espessuras do sulco afetam o fluxo dos gases através do bloco do anel. Isto afeta as forças que agem nos anéis e, portanto, o desgaste. Folgas pequenas podem resultar no desgaste excessivo e um possível desgaste pelo roçamento. Folgas grandes entre o anel e o sulco do anel podem conduzir à ruptura do anel.

E - No ambiente físico do cilindro

O fator mais importante que influencia o desgaste abrasivo em um motor é o contato entre duas superfícies em movimento relativo. As circunstâncias ambientais que afetam a pressão do contato entre duas superfícies são a pressão no cilindro, a temperatura e a velocidade do pistão.

Altas pressões do cilindro forçam o anel e a camisa. Se estes movem relativamente um ao outro, o desgaste irá acontecer. Com um projeto apropriado, os efeitos da pressão podem ser minimizados.

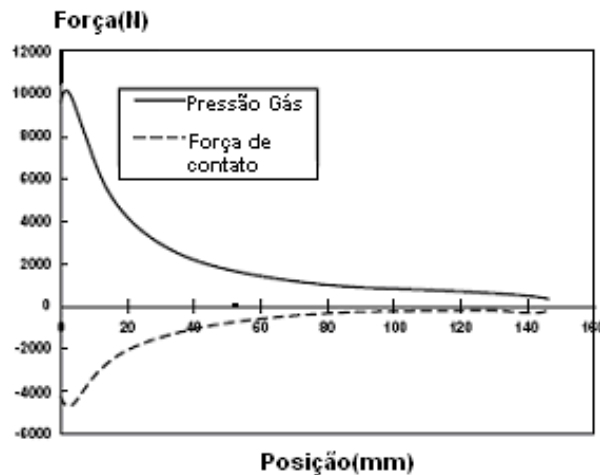


FIGURA 3. 11- Variação da força de contato e da pressão de gás com distância abaixo do centro inoperante superior

Por exemplo, a força radial líquida que age em um anel pode ser diminuída pelo projeto apropriado do anel e pode ajudar a compensar a alta pressão do cilindro.

As pressões mais elevadas do cilindro ocorrem durante os cursos da compressão e da expansão. A pressão de pico ocorre tipicamente depois do PMS. A figura 3.9 ilustra a distribuição da pressão do gás e a força de contato em função da distância da pressão do PMS. A pressão do gás e a carga de contato estão no máximo num ponto logo abaixo do PMS.

A temperatura em que o anel/camisa ou a camisa/saia do pistão deslizam influencia o desgaste da camisa. A refrigeração imprópria da camisa pode resultar em altas temperaturas interfacial do anel/camisa. Por exemplo, a expansão diferencial, que pode ser causada de uma refrigeração não uniforme em torno da circunferência e do comprimento da camisa, pode conduzir a uma distorção do furo. A temperatura da parede do anel/camisa afeta o desgaste abrasivo indiretamente através da viscosidade cinemática do lubrificante. O desgaste da camisa/anel pode aumentar com o decréscimo da viscosidade do óleo em consequência do aumento da temperatura. Temperaturas de deslizamento mais altas podem também agravar o desgaste da camisa por causa da degradação local do lubrificante.

As condições da lubrificação na interface anel/camisa são governadas pela velocidade do pistão. No meio do curso, o pistão está movendo mais rápido, tendo por resultado a lubrificação hidrodinâmica.

Entretanto, nos pontos mortos, a velocidade do pistão vai a zero e rompe a lubrificação hidrodinâmica. Isto pode resultar em contato superficial anel/camisa que causa perda de material dos dois componentes.

3.4 – TRABALHOS SOBRE MANUTENÇÃO PREDITIVA EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

São vários os trabalhos envolvendo o Estado da condição de Motores de combustão interna, sendo que a maioria deles se refere à análise dos lubrificantes parcial ou totalmente.

Abaixo são descritos alguns trabalhos de autores que descrevem o estado atual dos trabalhos relacionados ao apresentado nesta dissertação.

Mousa (2006) estudou a morfologia dos contaminantes sólidos e partículas de desgastes retidas nos filtros de óleos após a troca dos mesmos. Sua intenção era a obtenção de informações sobre a performance e monitoramento do motor. Concluiu que os filtros contêm informações significantes sobre partículas de desgastes e sobre contaminantes sólidos e que o método adotado é viável porém há a necessidade da troca do filtro.

Plunthey, (1998) objetivou a compreensão da contribuição do combustível na formação das partículas e transporte de cinzas, no sentido de estabelecer parâmetros para projetos de filtros de óleos automotivos. Para isto mediu o aumento da emissão de partículas mudando-se o teor de

enxofre no combustível. Concluiu que o combustível com maior teor de enxofre teve maior taxa de emissão.

Raadnuis (2005) descreveu análises simples “Low-Tech” para monitoramento de máquinas, dentre as quais motores de combustão interna. Utilizou técnicas simples e de baixo custo para aplicações específicas. Para os motores de combustão interna utilizou a análise de partículas presentes nos filtro. Estas foram separadas do filtro através da submersão deste filtro em um solvente com posterior aplicação de limpeza ultrasônica por quinze minutos. Após este procedimento as partículas foram capturadas através de membranas de policarbonatos com auxílio de vácuo. Através dos formatos das partículas concluiu o tipo de desgaste que ocorreu no interior do motor.

Borin(2003) propôs metodologias qualitativas para avaliar o grau de degradação e o tipo do lubrificante utilizados e duas metodologias quantitativas para a determinação de contaminantes e parâmetros de qualidade como viscosidade e número de base total. Afirmaram que estas metodologias, baseadas na espectrometria no infravermelho por reflectância total e quimioterapia, podem ser aplicadas no controle de lubrificantes com o objetivo de tornar as análises mais rápidas, práticas, econômicas, seguras e eficientes. Para a determinação qualitativa das condições dos lubrificantes de motor de ônibus empregaram as cartas de controle multivariadas onde foi possível detectar lubrificantes que ainda estavam em condições de uso e que não necessitavam ser trocados, evitando assim desperdícios. Para a determinação do tipo de lubrificante automotivo utilizado foi proposta a utilização da Análise de Componentes Principais onde foi possível separar nitidamente quatro tipos de lubrificantes. Para a quantificação dos contaminantes: água, etileno glicol e gasolina, presentes em lubrificantes automotivos foi empregado o Infravermelho.

Vahaoja (2006) descreveu teoricamente vários tipos de ensaios realizados em Máquinas e equipamentos através da manutenção preditiva. Deu maior ênfase a Óleos de motores de combustão interna.

Em um (Boletim Técnico PH , 08/2001), que trata de Motores à diesel, é afirmado que a presença de enxofre no combustível favorece a formação de ácido sulfúrico, que desce para o cárter e contamina o lubrificante. Como a oxidação do óleo é um fenômeno auto-catalisado, sua

velocidade é bastante acelerada quando o TAN ultrapassa 1,0. Assim é afirmado que o TAN também deve ser controlado neste caso.

Lantos (2002) descreveu um método parecido com o princípio do método do insolúvel ASTM D 893 “Insolubles in Used Lubricating Oils” em motores de combustão interna. Neste método ele utilizou n-heptano e tolueno e manteve em arquivo as tiras de papel absorvente utilizadas para futuras comparações com novas amostras.

Na intenção de avaliar o desempenho de um sensor desenvolvido, (Wang, 2002), ensaiou motores com dinamômetros e motores em campo. As amostras foram coletadas periodicamente e as medidas de TAN e de viscosidade foram efetuadas. Este pesquisador comparou o TAN medido pela titulometria e por um processo que ele determinou de eletroquímico. O sensor foi submerso em uma amostra de óleo contido em um becker, com temperatura controlada através de um forno a 80 °C . Este autor concluiu que o sensor mediria três estágios de degradação do lubrificante através desta técnica e não apenas a degradação completa e que o sensor deveria ser aperfeiçoado para sinalizasse o estágio de inutilização do óleo.

Myshkin, et all (2001), pesquisaram um método para classificar partículas metálicas geradas em motores de combustão interna através das cores. As partículas foram extraídas através do RPD e colocadas num microscópio ótico com câmara CCD. Eles concluíram que as partículas analisadas ocupavam diferentes domínios no plano de classificação, que o modelo HSI (Hue, Saturation , Intensity = cor, saturação e intensidade) é o mais apropriado para o processamento das cores e que se pode distinguir partículas baseadas nas ligas de cobre, óxidos vermelhos e escuros e partículas de aço.

Ishibashi et all (2004) utilizaram óleos usados de motores de combustão interna como óleo de corte em usinagens de peças. Eles compararam estes óleos com óleos de cortes comerciais e concluíram que, ao contrário do esperado, as vidas mais longas das ferramentas foram obtidas quando se utilizou óleos usados de motores de combustão interna ao invés de óleo de corte de engrenagem. Também concluíram que estes tipos de óleos podem ser utilizados como óleo de corte se os riscos à saúde dos trabalhadores forem minimizados.

Geach (1994) pesquisou um método automático para se medir a diluição com combustível dos óleos de motores de combustão interna através da cromatografia gasosa (GC). As amostras foram injetadas no sistema automaticamente, através de um sistema e software ligados a um computador IBM AT instalado na placa de aquisição de dados do cromatógrafo.

Fitch (2005) discutiu os métodos empregados por especialistas na contagem de partículas presentes nos óleos usados de motores de combustão interna. Comentou alguns métodos aplicados como a diluição do lubrificante usado com solvente, ou com outro fluido automotivo, ou com fluido hidráulico limpo com posterior passagem do lubrificante por membranas de porosidades conhecidas. Conclui que, apesar da pouca aplicação por parte dos laboratórios, a tendência é a utilização da contagem de partículas em motores de combustão interna, não importando o método. O que importará é a tendência dos números medidos e não o valor absoluto, pois cada método empregado apresentará um valor.

Capítulo 4

MATERIAIS E MÉTODOS

Para este trabalho foram construídas duas bancadas de ensaios compostas por dois motores de combustão interna acoplados a um redutor de velocidade para dar carga nos motores. Primeiramente utilizou-se um motor da marca Montgomery, em estado avançado de deterioração, com potência de 3,5 HP. Apenas um ensaio foi realizado com este motor, pois o mesmo apresentou problemas durante o funcionamento e teve que ser descartado. A figura 4.1. ilustra a bancada inicialmente construída com este motor. As especificações do motor estão na tabela 4.1.

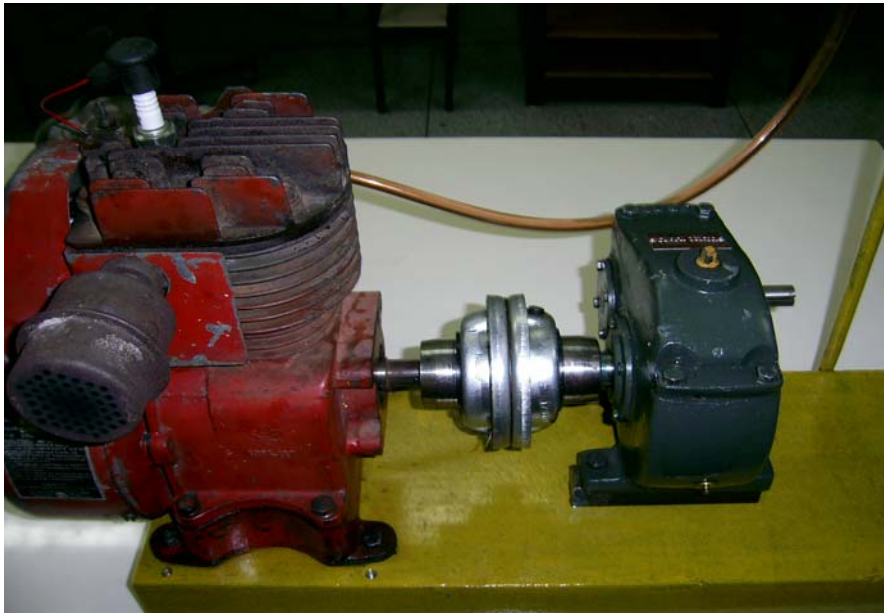


FIGURA 4. 1 - Bancada construída com o motor da marca Montgomery e o redutor da marca Cestari

TABELA 4. 2 - Especificações do motor Montgomery

Tipo	Estacionário
Tempo	4
Ano de Fabricação	1976
Potência	3,5 HP
Capacidade do reservatório	800 ml
Rotação	3000 rpm

Uma segunda bancada foi construída utilizando-se um motor da marca Briggs & Stratton com potência de 8 HP acoplado a um redutor de velocidades da marca Cestari para dar carga constante ao motor durante o período dos ensaios. A figura 4.2 ilustra a bancada construída com este motor e com este redutor, a tabela 4.2 apresenta as especificações deste motor e a tabela 4.3 as especificações do redutor.



FIGURA 4. 2 - Bancada construída com o motor Briggs & Stratton

TABELA 4. 2 - Especificações do Motor Briggs & Stratton

Marca	Briggs & Stratton
Tempo	4
Ano de Fabricação	2000
Potência	8 HP
Capacidade do reservatório	600 ml
Rotação	1800 rpm

TABELA 4. 3 - Especificações do redutor da marca Cestari

Marca	Cestari
Tipo	ISO 44
Redução	1:2
Rotação nominal (rpm)	1750
Potência (CV)	5

Para os ensaios no motor Montgomery utilizou-se o óleo SAE 40 API-SF com as especificações apresentadas na tabela 3.4. Inicialmente era para ter rodado por 25 horas, mas devido as paradas súbitas durante os ensaios, não foi possível. Assim foi analisado o lubrificante após 605 minutos de ensaio.

TABELA 4. 4 - Especificações do óleo SAE 40 API - SF

Densidade a 20/4 ° C	0,8963
Ponto de fulgor (VA) °C	262
Ponto de fluidez (°C)	-6
Viscosidade a 40°C (cSt)	163,5Cst
Viscosidade a 100°C (cSt)	15,46Cst
Índice de viscosidade	95
Índice de Basicidade Total (mgKOH/g)	11,4

<http://www.br.com.br/portabr/pdf/automotivos/md400.pdf>

Decidiu-se, então, mudar o motor analisado. Escolheu-se um motor da marca Brigg & Stratton. Foi analisado o óleo após 25 horas de ensaio, sendo que quatro tipos de óleos foram analisados. O primeiro óleo analisado foi o SAE 30 API – SH, com as especificações apresentadas na tabela 4.5. O segundo lubrificante analisado foi o SAE 40 API-SF, que foi o mesmo lubrificante usado no motor Montgomery, cuja as especificações estão apresentadas na tabela 4.4. O terceiro lubrificante analisado foi o TIVELA S150, cuja as especificações estão na tabela 4.6, e o quarto lubrificante foi o TIVELA S 320, cujas especificações estão na tabela 4.7.

TABELA 4. 5 - Especificações do Óleo SAE 30 API - SH

Densidade a 20/4 ° C	0,8941
Ponto de fulgor (VA) °C	256
Ponto de fluidez (°C)	-18
Viscosidade a 40°C (cSt)	109Cst
Viscosidade a 100°C (cSt)	11,9Cst
Índice de viscosidade	97
Índice de Basicidade Total (mgKOH/g)	11,4

<http://www.br.com.br/portalbr/pdf/automotivos/md400.pdf>

TABELA 4. 6 - Especificações do Óleo TIVELA S150

Densidade a 20/4°C	0,8830
Ponto de Fulgor(°C)	280
Ponto de Fluidez(°C)	-18
Viscosidade a 40°C	145
Viscosidade a 100°C	14,2
Índice de Viscosidade	95

TABELA 4. 7 - Especificações do óleo TIVELA S 320

Viscosidade a 40°C (ASTM D-445)	299-353 cSt
Viscosidade a 100°C (ASTM D-445)	27.94-33.34 cSt
Ponto de Fulgor ° F/° C (ASTM D-92)	490° / 254°
Ponto de Chama ° F/° C (ASTM D-92)	540° / 282°

Todas as análises foram realizadas com os motores a 2200 ± 100 rpm, com uma gasolina Comum da marca Petrobrás. As rotações foram medidas através de um tacômetro da marca Oppama modelo PET- 2000DX.

4.1 – ANÁLISE DE ÓLEO

Na análise das amostras de óleo coletadas foram utilizados vários equipamentos como: separador de partículas, monitor automático de partículas ferrosas, viscosímetro, microscópio óptico, TBN e TAN, contagem de partículas pelo método da filtragem, Ponto de Fulgor e absorção atômica. Os ensaios TBN e absorção atômica foram feitas em uma firma comercial na cidade de Ribeirão Preto.

4.1.1 - Depositador Rotativo de Partículas (RPD)

O separador de partículas utilizado é o RPD mostrado na figura 4.3 e especificado na tabela 4.8. Este depositador rotativo de partícula extrai partículas presentes numa amostra de óleo pela ação de forças magnéticas, centrífugas e gravitacionais que atuam sobre as mesmas. As partículas são depositadas sobre uma lamina de vidro formando três anéis concêntricos, durante esta deposição ocorre uma separação das partículas em relação ao seu tamanho, na qual partículas maiores ($50-200\mu\text{m}$) se depositaram no anel interno, medias ($10-50\mu\text{m}$) no anel médio e partículas pequenas ($1-10\mu\text{m}$) no anel externo. As lâminas de vidro são observados em um microscópio óptico, uma vez que se deseja saber a forma, tamanho, concentração e composição das partículas presentes.

As partículas brilhantes que poderiam ser identificadas ou como Al ou como Cr simultaneamente, foram tratadas quimicamente para posterior conclusão. Colocou-se pequena

quantidade de hidróxido de sódio sobre a lâmina e observou-se a partícula em questão se dissolvia. Caso ela se dissolvesse seria tida como Al. Caso contrário, colocava-se pequena quantidade de ácido hidrocloreto e aparecia uma nuvem esverdeada indicando que a partícula era composta de Cr.



FIGURA 4. 3 - Depositador rotativo de partículas

As partículas separadas também podem ser medidas quantitativamente colocando a lamina em um PQA (monitor de partículas automático).

TABELA 4. 8- Especificações do depositador rotativo de partículas

Fabricante	Kittiwake Developments Ltd
Voltagem nominal	110/240 V
Frequência	47 a 63 Hz
Consumo	75 watts
Dimensão	360 x 360 x 450 mm
Peso	5,5 Kg
Velocidade de rotação	0-200 rpm (4 velocidades prefixadas)

4.1.2 - Monitor Automático de Partículas

O monitor utilizado foi o PQA que é mostrado na figura 4.4 e cujas especificações estão na tabela 4.9. O PQA é um magnetômetro com duas bobinas organizadas de forma que a bobina de amostra (sensor) e a bobina de referência estão em equilíbrio quando não há nenhuma amostra no sensor. O sistema é projetado para assegurar cuidadosamente que ambas as bobinas respondem igualmente as mudanças na temperatura do ambiente. Quando uma amostra de óleo que contém partículas ferromagnéticas é colocada no sensor (bobina de amostra), o equilíbrio entre as bobinas é alterado. O sinal resultante causado pelo desequilíbrio é ampliado, é filtrado, e é exibido como um "índice" de PQ; isto relaciona diretamente à massa das partículas ferromagnéticas na amostra.



FIGURA 4. 4 - Monitor Automático de partículas

O PQA é diretamente controlado por botões montados no painel dianteiro ou remotamente do teclado de um computador PC associado. Uma exibição alfanumérica no painel dianteiro do

PQA permite a seleção de modos alternativos de operação e dá uma exibição local dos dados do índice de PQ depois de cada medida. Dados de um grupo de amostras são armazenados na memória do PQA.

Foram coletadas amostras de 2ml em um pote plástico, através de uma pipeta, estes potes foram fechados, com tampas e colocados para medição no aparelho. Depois de medida, cada pote é entregue a uma calha de disposição. Entre as medidas a calibração do PQA é verificada automaticamente contra um padrão conhecido montado permanentemente debaixo do carrossel de medida.

TABELA 4. 9- Especificações do monitor automático de partículas

Fabricante	Kittiwake Developments Ltd
Voltagem nominal	110/240V
Frequência	47 a 63 Hz
Consumo	15 watts
Diâmetro Máximo da Amostra	53 mm
Temperatura Ambiente	20°C - 30°C

4.1.3 - Microscópio Óptico

As amostras preparadas no RPD são analisadas e fotografadas no microscópio Neophot 21 (figura 4.5) e JENAVAL (figura 4.6), ambos da marca Carl Zeiss de Jena. O microscópio Neophot 21 permite aumentos de até 2.000 vezes, com imersão da objetiva em óleo especial para microscópio óptico.



FIGURA 4. 5 - Microscópio Óptico Neophot 21



FIGURA 4. 6 - Microscópio Óptico JENAVAL

4.1.4 - Viscosímetro

A viscosidade do óleo foi medida utilizando o viscosímetro modelo Rheostat 2 (figura 4.7) fabricado por VEB Kombinant, Alemanha. O Rheostat 2 é um viscosímetro de rotação e serve para determinar a viscosidade dinâmica de lubrificantes e graxas. Tem capacidade dinâmica entre 1 a 4×10^8 m.Pa.s.



FIGURA 4. 7 - Viscosímetro modelo Rheostat

4.1.5 – Absorção Atômica

Foi realizada por firma especializada através de aparelho de absorção atômica da marca “GEMINI” modelo 12475.

4.1.6 – TBN e TAN

O TBN foi realizado segundo a norma NBR 05798 pelo método potenciométrico. O TAN foi realizado segundo a norma NBR 14248 também pelo método potenciométrico.

4.1.7 – Contagem de Partículas

A contagem de partículas foi realizada em Membrana de Éster de Celulose através da adição de Pentano a 25 ml de lubrificante. A comparação foi feita através do “ISO Classification Guide” Os seguintes passos foram utilizados:

- 1- Introduziu-se um funil no alto de uma bomba manual de vácuo;
- 2- Removeu-se o parte do funil no alto da bomba de vácuo;
- 3- Usando-se uma pinça colocou-se uma membrana de filtro da marca Millipore, de 25 milímetros de diâmetro e 4 μm de porosidade, na superfície do interior do funil e retornou-se a parte superior do funil na base branca;
- 4- Agitou-se a amostra e derramou-se o óleo no funil até a marca de 25 mL;
- 5- Encheu-se o funil até a marca de 50 mL com solvente mineral (Pentano);
- 6- Extraiu-se a amostra diluída através do filtro ativando a bomba de vácuo até que o funil estivesse vazio;
- 7- Encheu-se o funil novamente até a marca de 25 mL com o Pentano;
- 8- Extraiu-se o solvente através do filtro, ativando a bomba de vácuo, até que o funil estivesse vazio;
- 9- Utilizando uma pinça, removeu-se o filtro e colocou-o em uma superfície limpa para secar por 10 minutos.
- 10- Verificou-se a contagem de partículas através de comparação com o “ISO Classification Guide”

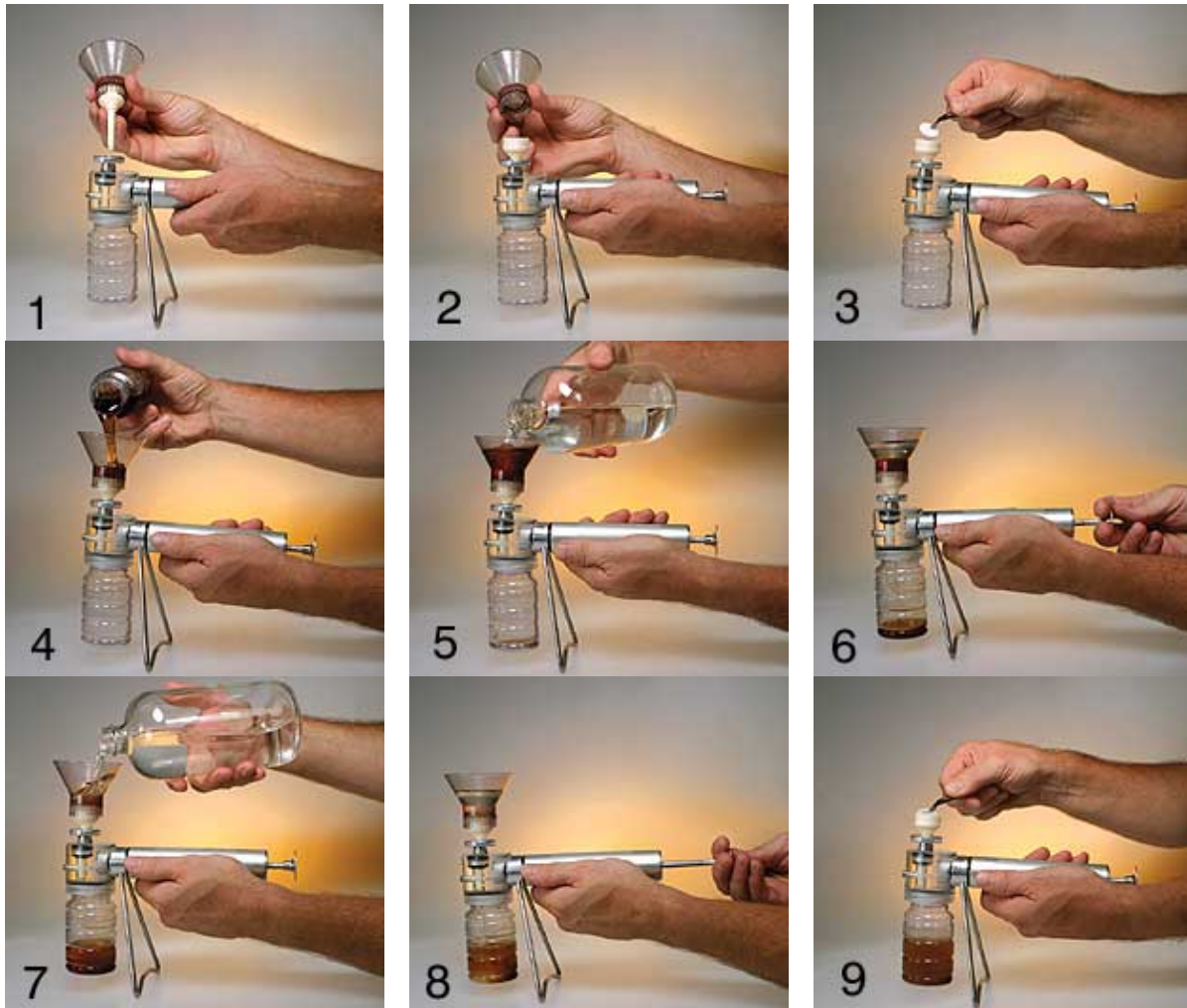


FIGURA 4. 8 - Metodologia para se determinar o número de partículas

4.1.8 – Observação da membrana

No mesmo dispositivo do item anterior, foram preparadas as membranas para visualização das partículas presentes no lubrificante. Para isto foi utilizado 10 ml de lubrificante juntamente com 5 ml de hexano. Este procedimento foi adotado para auxiliar o RPD na confirmação do tipo de partículas presentes nas amostras.

4.1.9 – Porcentagem de água

Foi realizada através do método Karl Fischer segundo a norma NBR 11348

4.1.10 – Ponto de Fulgor

Foi realizado segundo a norma ASTM D 92 e norma NBR 11341 em vaso aberto Cleveland. Neste ensaio uma cuba é cheia com a amostra até um nível especificado. A temperatura da amostra é aumentada, de início rapidamente e depois lentamente, a uma taxa constante na medida em que se aproxima do ponto de fulgor. A intervalos de tempo especificados, uma pequena chama-piloto é passada sobre a cuba. A mais baixa temperatura, na qual a aplicação da chama-piloto provoca a ignição dos vapores acima da superfície do líquido, é tomada como o ponto de fulgor.

Capítulo 5

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

As amostras de óleo foram postas no Depositador Rotativo de Partículas – RPD e então analisadas utilizando os microscópios Neophot 21 e Jenaval. O Depositador Rotativo de Partículas separa as partículas em três anéis distintos, dependendo do tamanho da partícula. Devido a isto foi necessário capturar as imagens observando estes três anéis separadamente. Utilizando o Monitor automático de partículas ferrosas obtivemos o índice PQ presente em 2 ml de óleo. Foram obtidos também a viscosidade a 40⁰C e 100⁰C , o teor de água, o TAN e TBN, o ponto de fulgor, a contagem e observação visual das partículas através de membrana de filtração e os componentes químicos presentes no óleo através da absorção atômica.

5.1 MOTOR MONTGOMERY

O óleo utilizado neste motor foi o SAE 40 API-SF.

Após 605 minutos de funcionamento do motor, amostras de óleo foram retiradas para análise.

A Figura 5.1 apresenta os resultados obtidos no ensaio RPD do lubrificante deste motor com luz transmitida, a Figura 5.2 com luz refletida e a Figura 5.3 algumas partículas obtidas pela filtração em membrana. A Figura 5.4 apresenta o motor após o ensaio. A Tabela 5.1 apresenta os resultados obtidos através da absorção atômica; a Tabela 5.2 o resultado obtido pela contagem de partículas, porcentagem de água e TBN; a Tabela 5.3 apresenta as viscosidades a 40⁰C e 100⁰C, o ponto de fulgor e o Índice PQ.

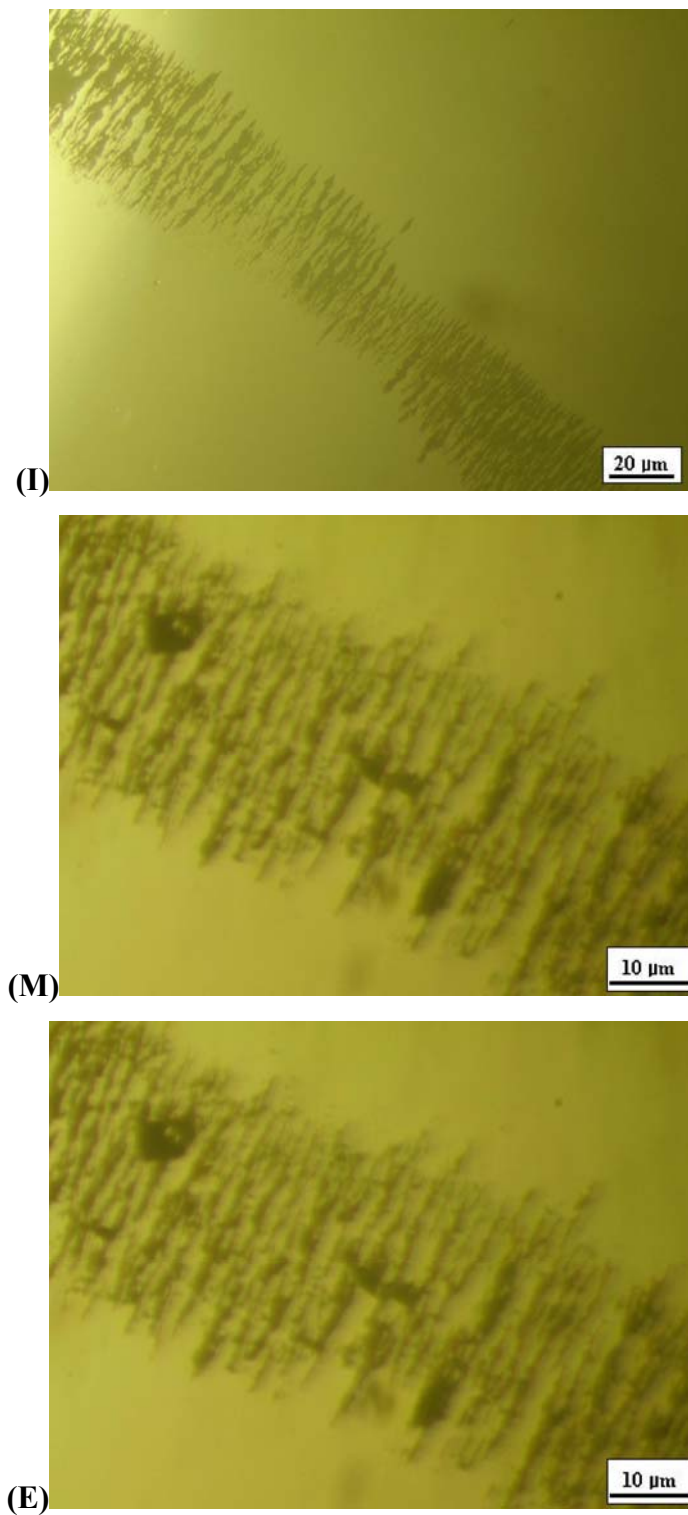


FIGURA 5. 1 - Partículas de desgaste presentes no óleo SAE 40 API-SF do motor Montgomery. Luz Transmitida. (I) anel interno, (M) anel intermediário, e (E) anel externo.

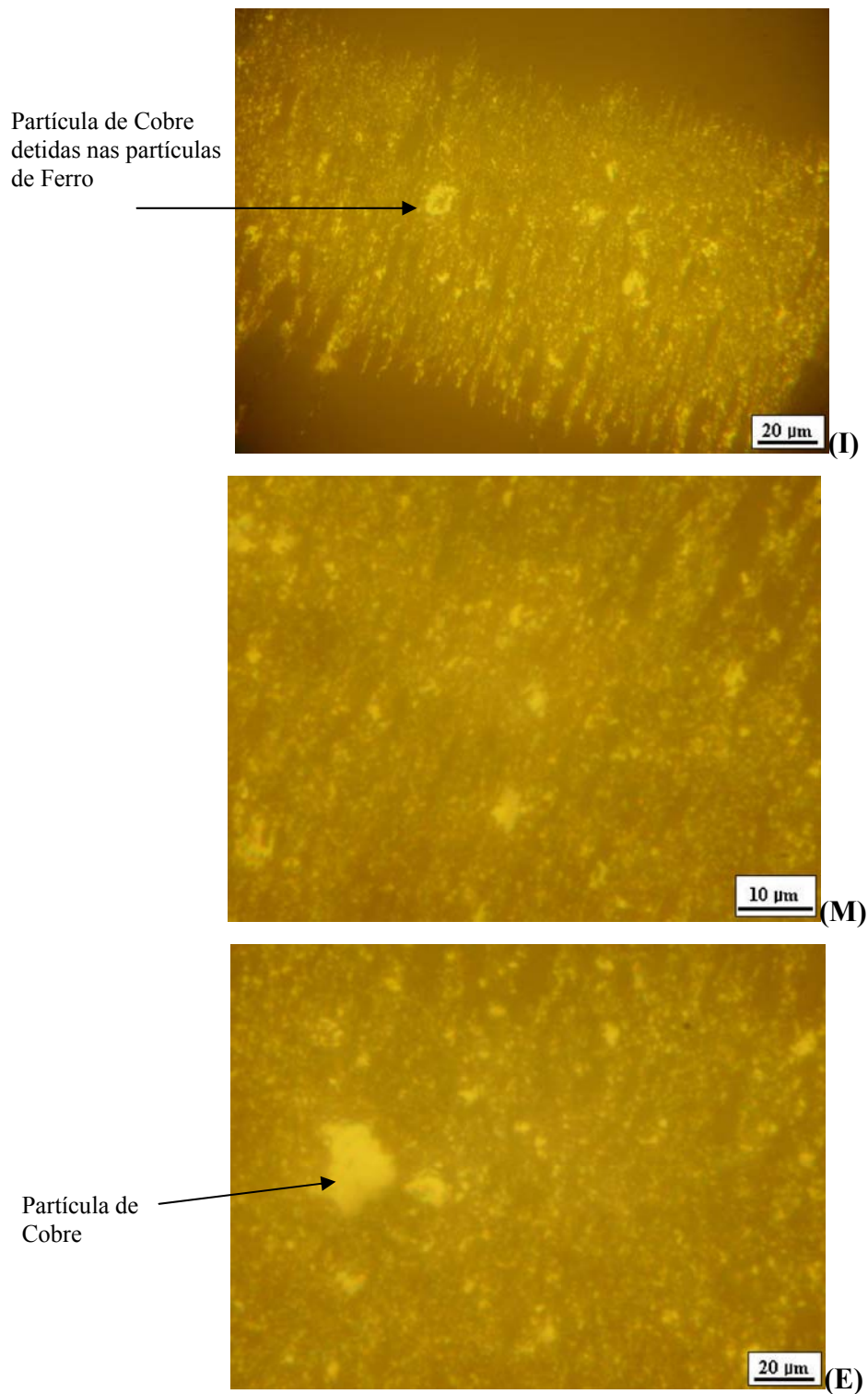


FIGURA 5. 2 – Partículas de desgaste presentes no óleo SAE 40 API-SF do motor Montgomery. Luz Refletida. (I) anel interno, (M) anel intermediário, e (E) anel externo.

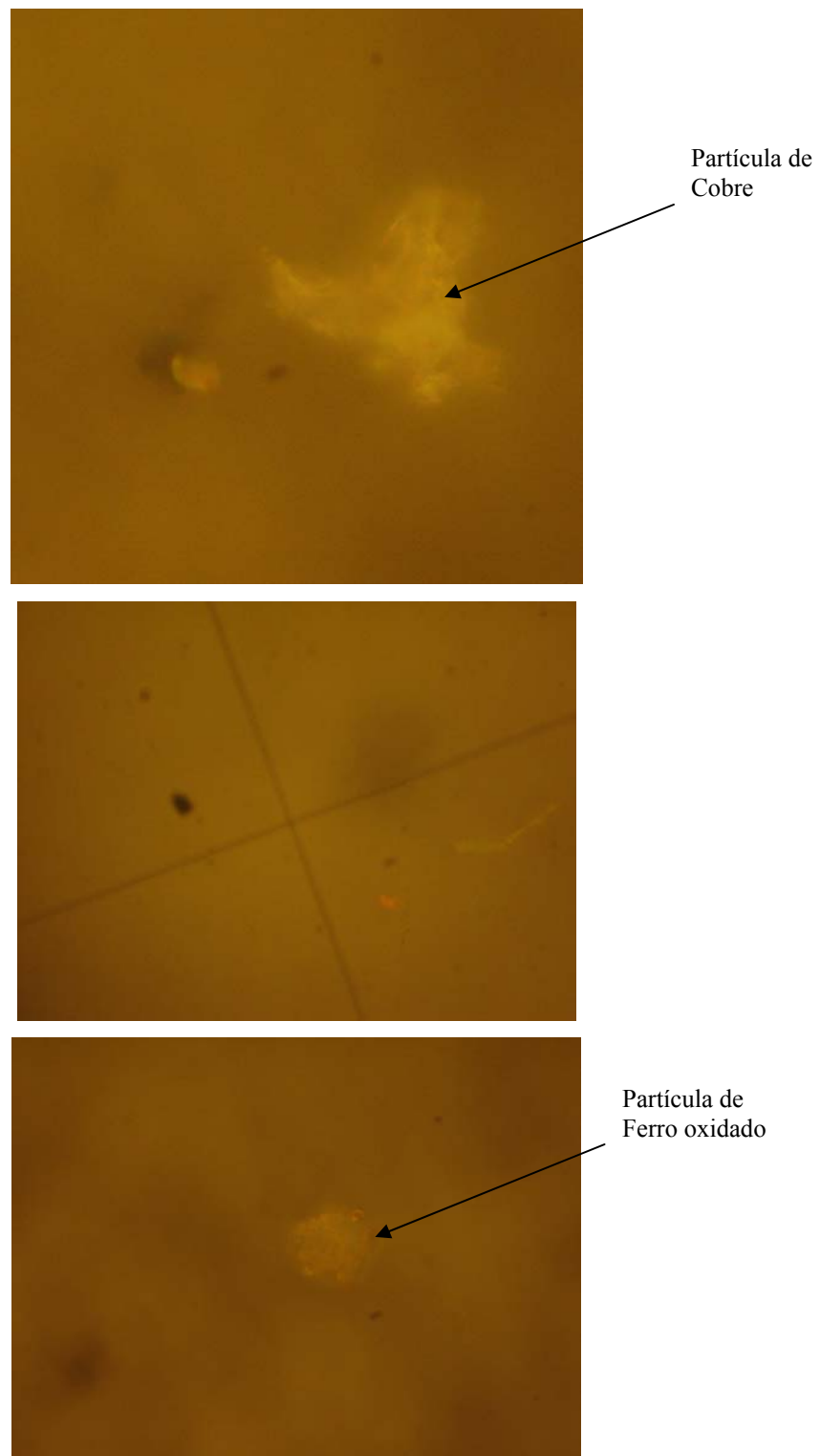


FIGURA 5. 3 – Partículas de desgaste presentes no óleo SAE 40 API-SF do motor Montgomery. Filtragem em Membrana.

TABELA 5. 16 - Valores obtidos através da absorção atômica do óleo usado SAE 40 API-SF do motor Montgomery (ppm)

Cu	Si	Al	Fe	Pb	Cr	Ni
9	51	22	125	13	10	1

TABELA 5. 17 - Contagem de Partículas, porcentagem de água e número de bases totais do óleo usado SAE 40 API-SF do motor Montgomery

ISO 4406	% água	TBN
23/22/21	0,00	5,24

TABELA 5. 18 - Viscosidades, Ponto de Fulgor e Índice de Partículas Magnéticas do óleo usado SAE 40 API-SF do motor Montgomery

Viscosidade cinemática a 40 ^o C (cSt)	Viscosidade cinemática a 100 ^o C (cSt)	PQ	Ponto de Fulgor (°C)
100,69	11,21	54	240

O consumo médio de combustível foi de 156,13 min/litro.



FIGURA 5. 4 – Fotos do Motor Montgomery após o teste. Esquerda, pistão danificado; direita, partes principais desmontadas.

5.2 MOTOR BRIGGS & STRATOR

Este motor foi analisado com quatro tipos de óleos, sendo que a cada 25 horas de funcionamento as amostras eram retiradas para análises. Este período foi estabelecido de acordo com o catálogo do fabricante do motor.

5.2.1 Com óleo SAE 40 API SF

A Figura 5.5 apresenta os resultados obtidos no ensaio RPD do lubrificante deste motor com luz transmitida, a Figura 5.6 com luz refletida e a Figura 5.7 algumas partículas obtidas pela filtração em membrana. A Tabela 5.4 apresenta os resultados obtidos através da absorção atômica; a Tabela 5.5 o resultado obtido pela contagem de partículas, porcentagem de água e TBN; a Tabela 5.6 apresenta as viscosidades a 40⁰C e 100⁰C, o ponto de fulgor e o Índice PQ.

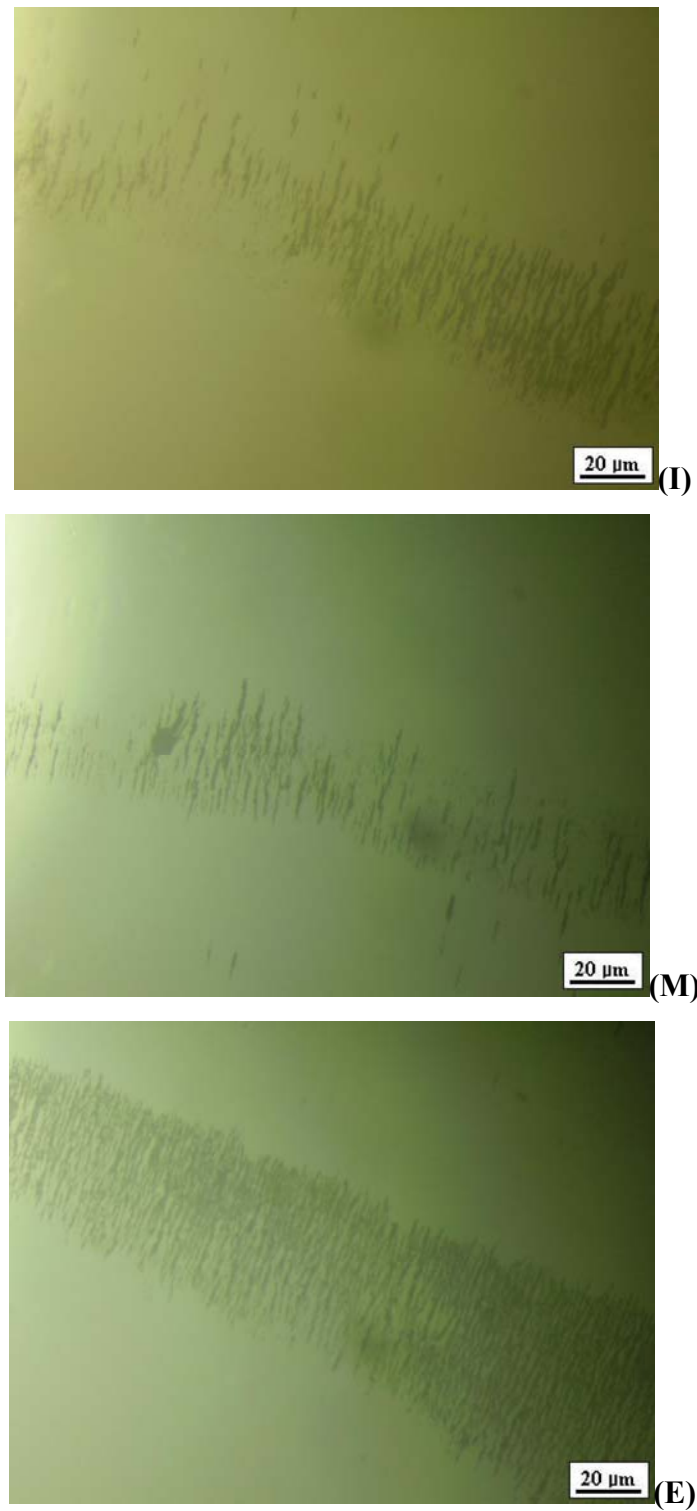


FIGURA 5. 5 - Partículas de desgaste presentes no óleo SAE 40 API-SF do motor Briggs & Stratton. Luz Transmitida. (I) anel interno, (M) anel intermediário, e (E) anel externo

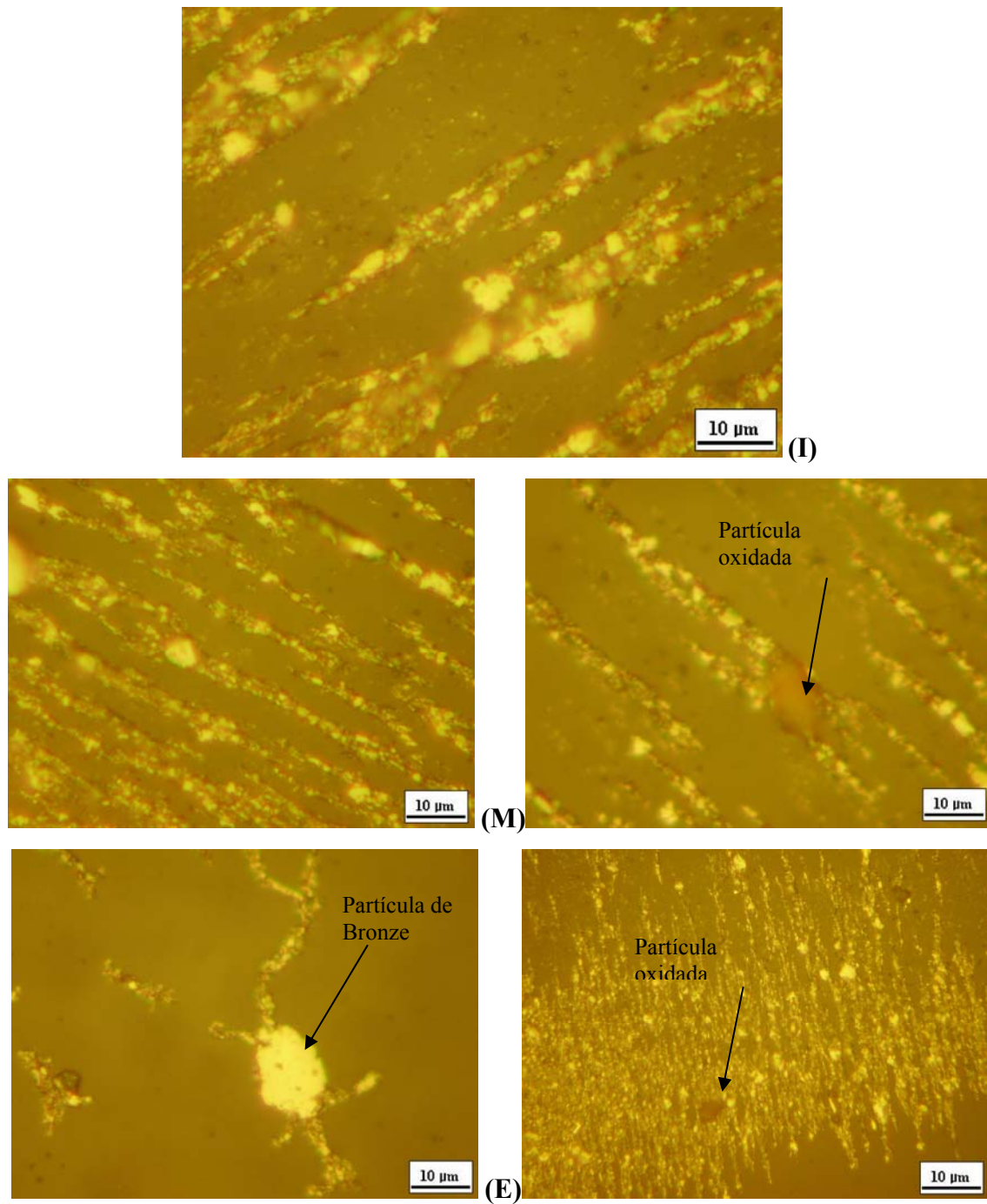


FIGURA 5. 6- Partículas de desgaste presentes no óleo SAE 40 API-SF do motor Briggs & Stratton. Luz Refletida. (I) anel interno, (M) anel intermediário, e (E) anel externo

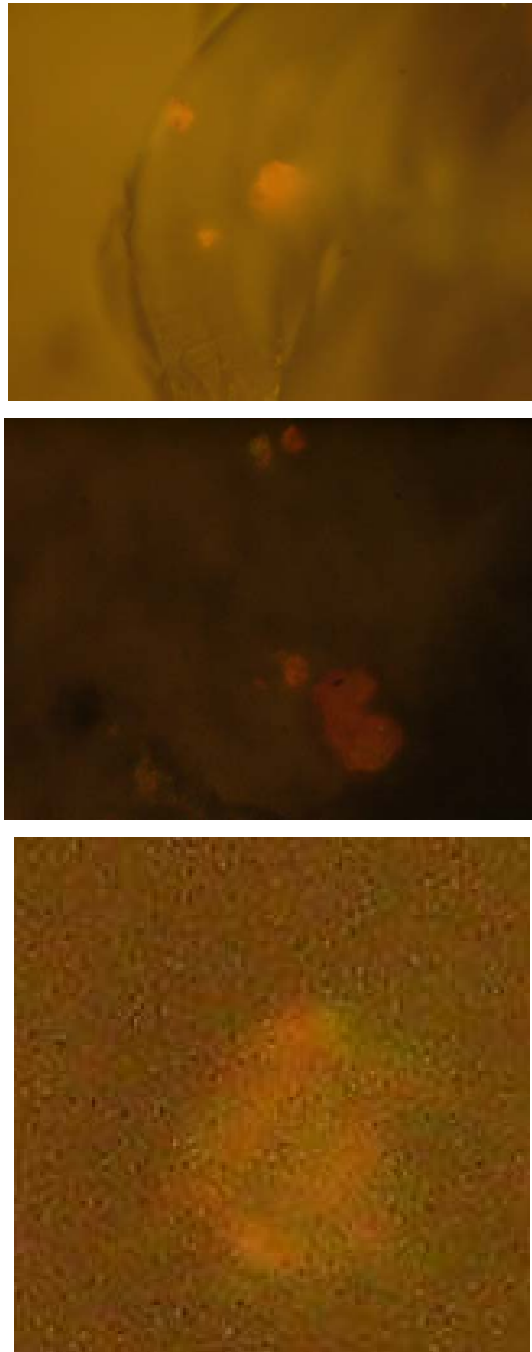


FIGURA 5. 7 - Partículas de desgaste presentes no óleo SAE 40 API-SF do motor Briggs & Stratton. Filtragem em Membrana. Partículas de bronze.

TABELA 5. 19 - Valores obtidos através da absorção atômica do óleo usado SAE 40 API-SF do motor Briggs & Stratton (ppm)

Cu	Si	Al	Fe	Pb	Cr	Ni
5	69	0	33	13	10	3

TABELA 5. 20 - Contagem de Partículas, porcentagem de água e número de bases totais do óleo usado SAE 40 API-SF do motor Briggs & Stratton

ISO 4406	% água	TBN
23/22/21	0,00	10,92

TABELA 5. 21 – Viscosidades, ponto de fulgor e Índice de Partículas Magnéticas do óleo usado SAE 40 API-SF do motor Briggs & Stratton

Viscosidade cinemática a 40 ^o C (cSt)	Viscosidade cinemática a 100 ^o C (cSt)	PQ	Ponto de Fulgor (°C)
130,54	13,76	15	250

O consumo médio de combustível foi de 81,52 min/litro.

5.2.2 Com óleo SAE 30 API SH

A Figura 5.8 apresenta os resultados obtidos no ensaio RPD do lubrificante deste motor com luz transmitida, a Figura 5.9 com luz refletida e a Figura 5.10 algumas partículas obtidas pela filtragem em membrana. A Tabela 5.7 apresenta os resultados obtidos através da absorção atômica; a Tabela 5.8 o resultado obtido pela contagem de partículas, porcentagem de água e TBN; a Tabela 5.9 apresenta as viscosidades a 40^oC e 100^oC, o ponto de fulgor e o Índice PQ.

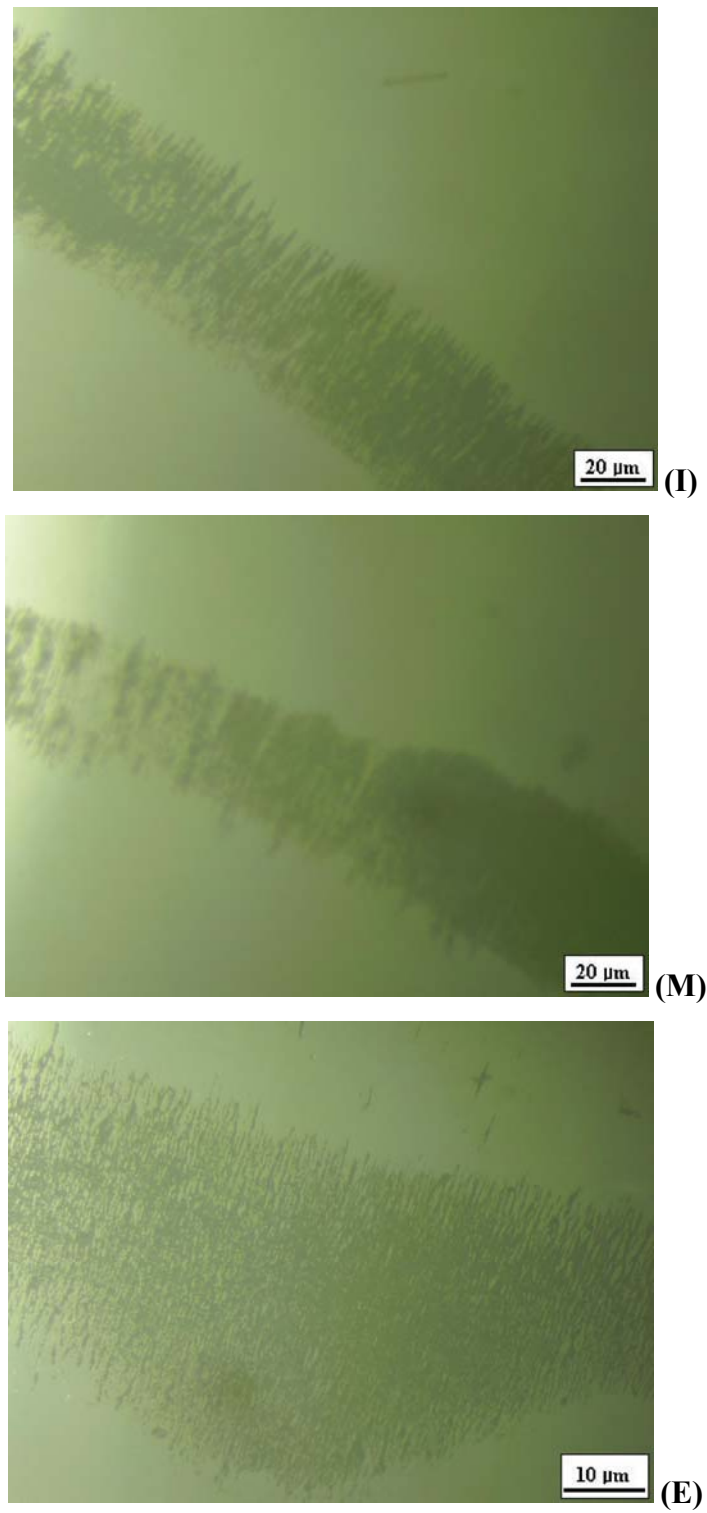


FIGURA 5. 8 - Partículas de desgaste presentes no óleo SAE 30 API-SH do motor Briggs & Stratton. Luz Transmitida. (I) anel interno, (M) anel intermediário, e (E) anel externo

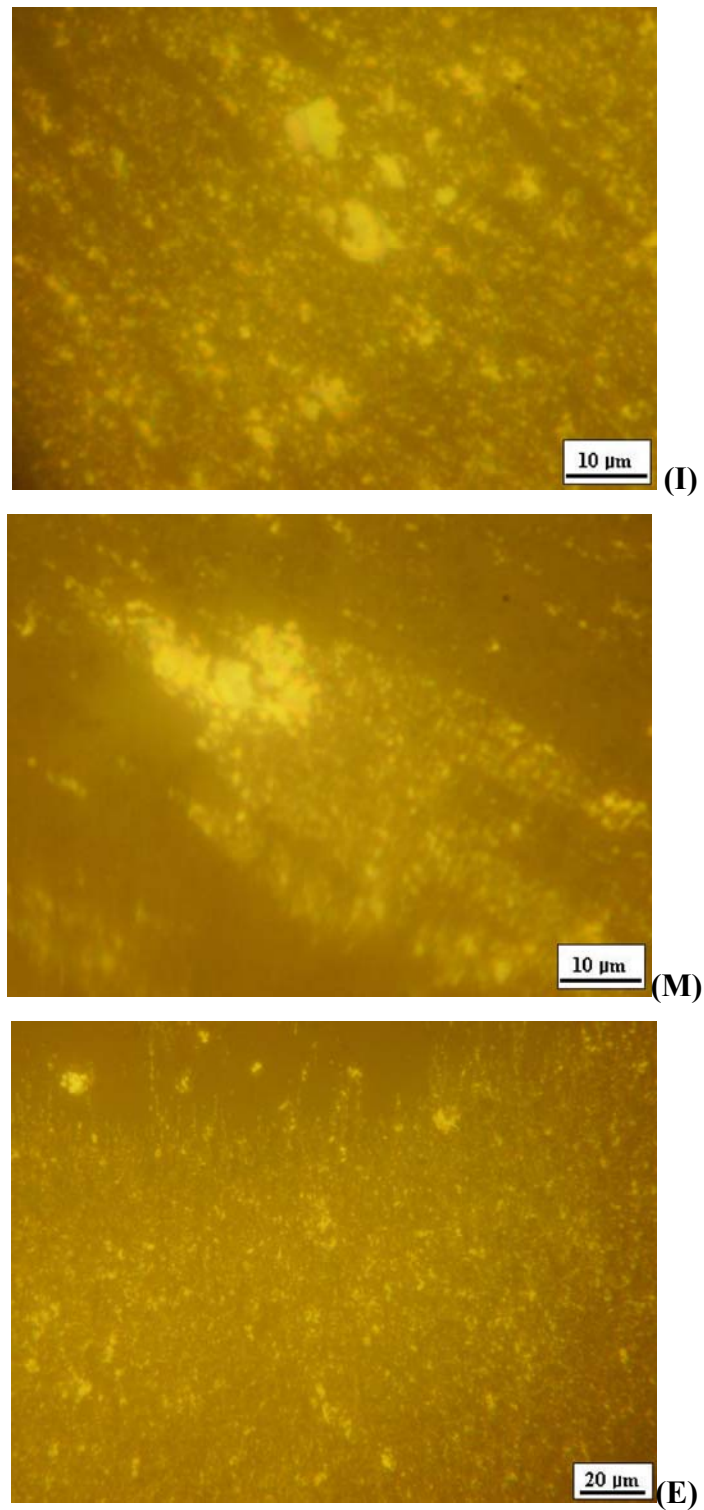


FIGURA 5. 9 - Partículas de desgaste presentes no óleo SAE 30 API-SH do motor Briggs & Stratton. Luz Refletida. (I) anel interno, (M) anel intermediário, e (E) anel externo

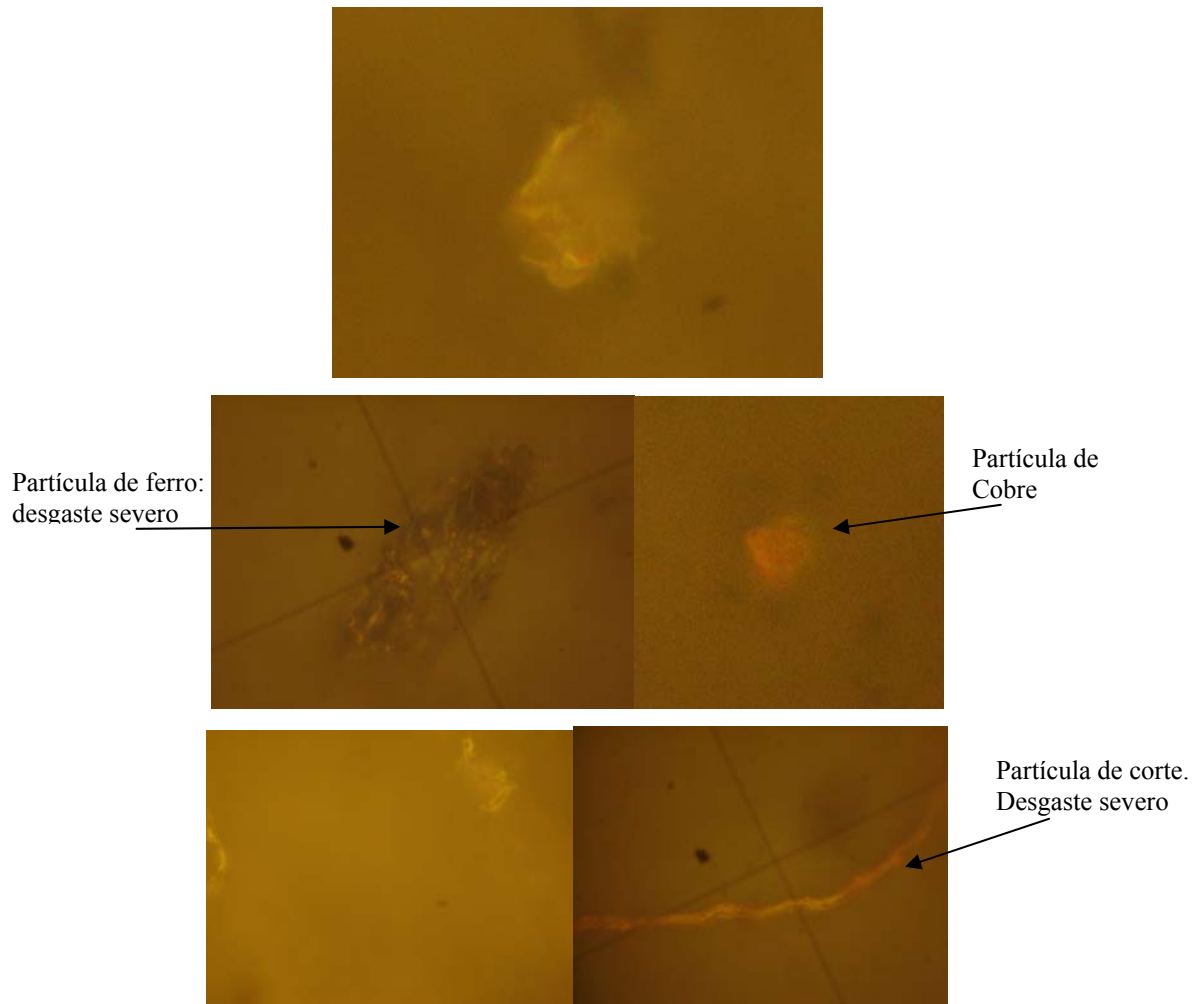


FIGURA 5. 10 - Partículas de desgaste presentes no óleo SAE 30 API-SH do motor Briggs & Stratton. Filtragem em membrana.

TABELA 5. 22 - Valores obtidos através da absorção atômica do óleo usado SAE 30 API-SH do motor Briggs & Stratton (ppm)

Cu	Si	Al	Fe	Pb	Cr	Ni
5	54	17	63	16	11	2

TABELA 5. 23 - Valores obtidos através da absorção atômica do óleo usado SAE 30 API-SH do motor Briggs & Stratton (ppm)

ISO 4406	% água	TBN
23/22/21	0,00	4,30

TABELA 5. 24 – Viscosidades, ponto de fulgor e Índice de Partículas Magnéticas do óleo usado SAE 30 API-SH do motor Briggs & Stratton

Viscosidade cinemática a 40 ^o C (cSt)	Viscosidade cinemática a 100 ^o C (cSt)	PQ	Ponto de Fulgor (°C)
91,83	10,85	30	250

O consumo médio de combustível foi de 83,33 min/litro.

5.2.3 Com óleo da marca Shell TIVELA S 150

A Figura 5.11 apresenta os resultados obtidos no ensaio RPD do lubrificante deste motor com luz transmitida, a Figura 5.12 com luz refletida e a Figura 5.13 algumas partículas obtidas pelo filtragem de partículas. A Tabela 5.10 apresenta os resultados obtidos através da absorção atômica; a Tabela 5.11 o resultado obtido pela contagem de partículas, porcentagem de água e TAN; a Tabela 5.12 apresenta as viscosidades a 40^oC e 100^oC, o ponto de fulgor e o Índice PQ.

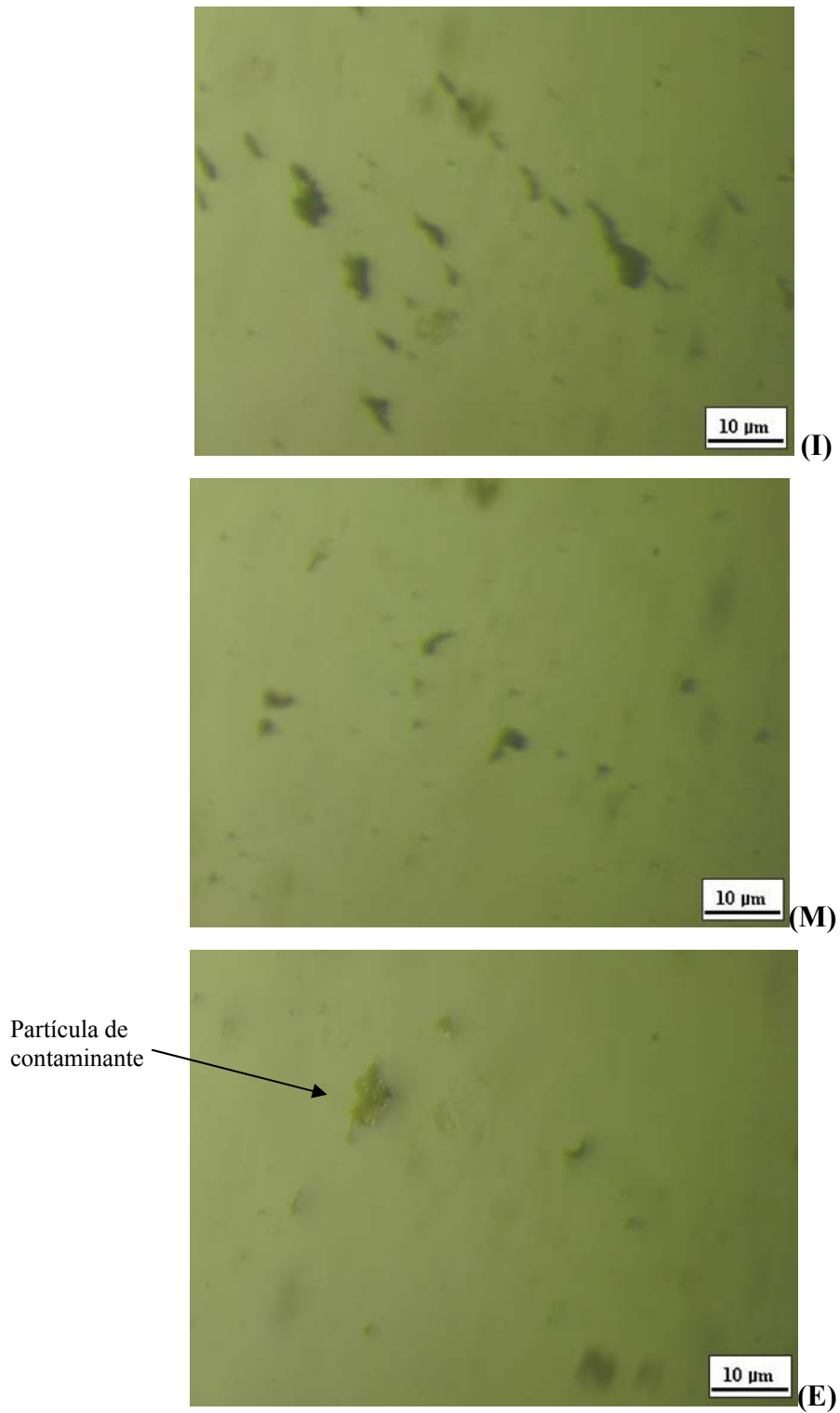


FIGURA 5. 11 - Partículas de desgaste presentes no óleo TIVELA S 150 do motor Briggs & Stratton. Luz Transmitida. (I) anel interno, (M) anel intermediário, e (E) anel externo

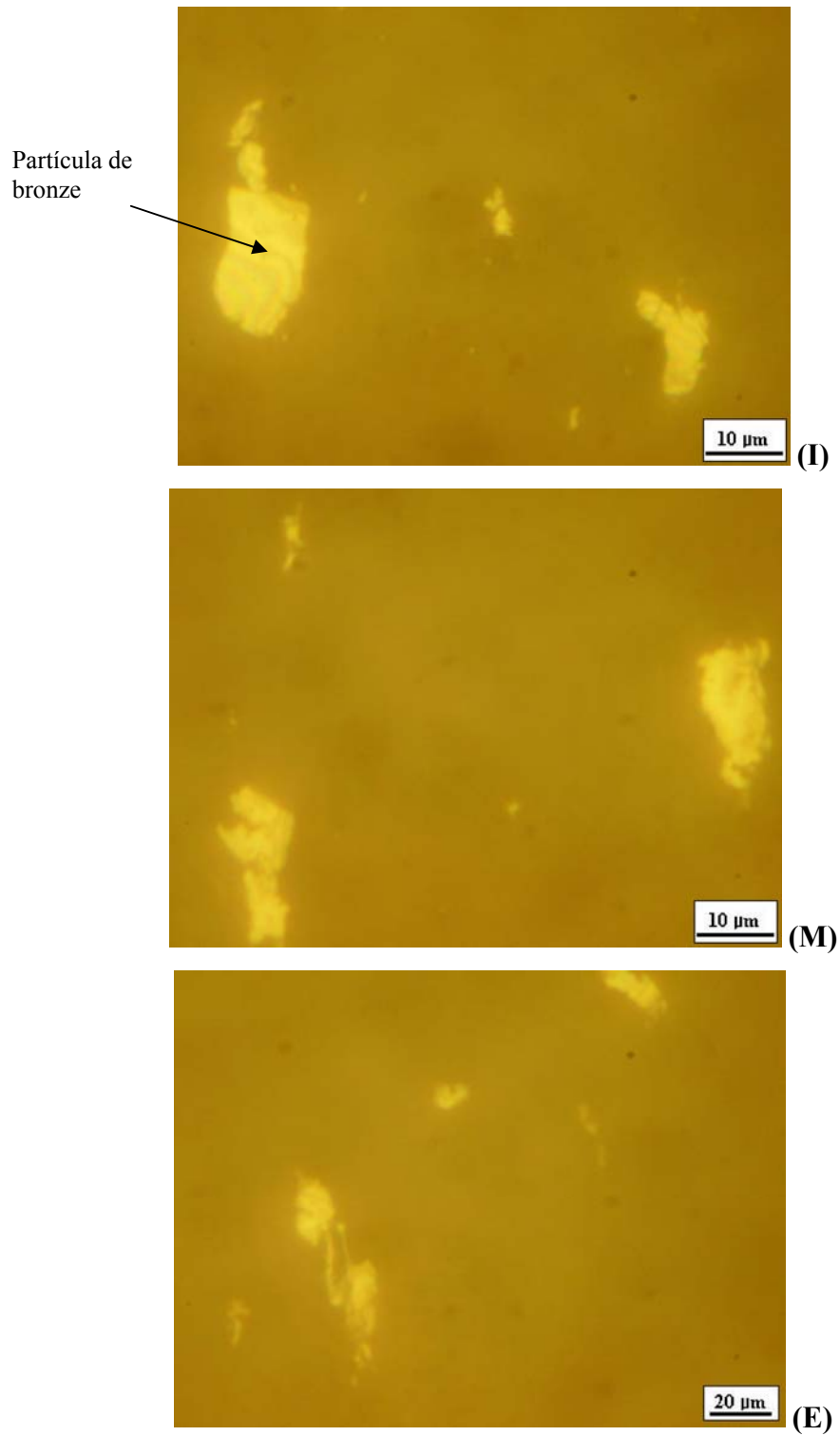


FIGURA 5. 12 - Partículas de desgaste presentes no óleo TIVELA S 150 do motor Briggs & Stratton. Luz Refletida. (I) anel interno, (M) anel intermediário, e (E) anel externo

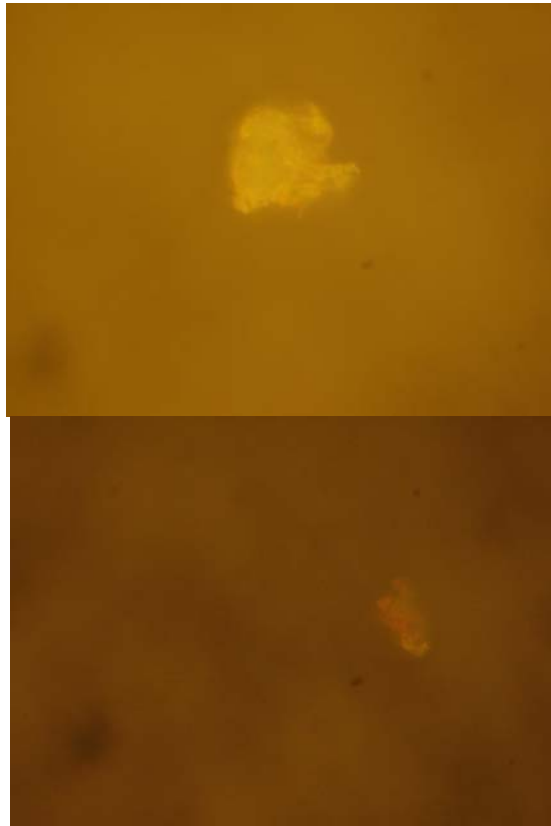


FIGURA 5. 13 - Partículas de desgaste presentes no óleo TIVELA S 150 do motor Briggs & Stratton. Filtragem em membrana. Partículas de bronze.

TABELA 5. 25 - Valores obtidos através da absorção atômica do óleo usado TIVELA S150 do motor Briggs & Stratton (ppm)

Cu	Si	Al	Fe	Pb	Cr	Ni
0	41	0	0	2	0	0

TABELA 5. 26 - Contagem de Partículas, porcentagem de água e número de ácidos totais do óleo usado TIVELA S150 do motor Briggs & Stratton

ISO 4406	% água	TAN
23/22/21	0,00	2,15

TABELA 5. 27 – Viscosidades, ponto de fulgor e Índice de Partículas Magnéticas do óleo usado TIVELA S150 do motor Briggs & Strattor

Viscosidade cinemática a 40 ⁰ C (cSt)	Viscosidade cinemática a 100 ⁰ C (cSt)	PQ	Ponto de fulgor (°C)
158,46	24,57	4	275

O consumo médio de combustível foi de 87,21 min/litro.

5.2.4 Com óleo da marca Shell TIVELA S320

A Figura 5.14 apresenta os resultados obtidos no ensaio RPD do lubrificante deste motor com luz transmitida, a Figura 5.15 com luz refletida e a Figura 5.16 algumas partículas obtidas pela filtragem em membrana. A Tabela 5.13 apresenta os resultados obtidos através da absorção atômica; a Tabela 5.14 o resultado obtido pela contagem de partículas, porcentagem de água e TAN; a Tabela 5.15 apresenta as viscosidades a 40⁰C e 100⁰C, o ponto de fulgor e o Índice PQ.

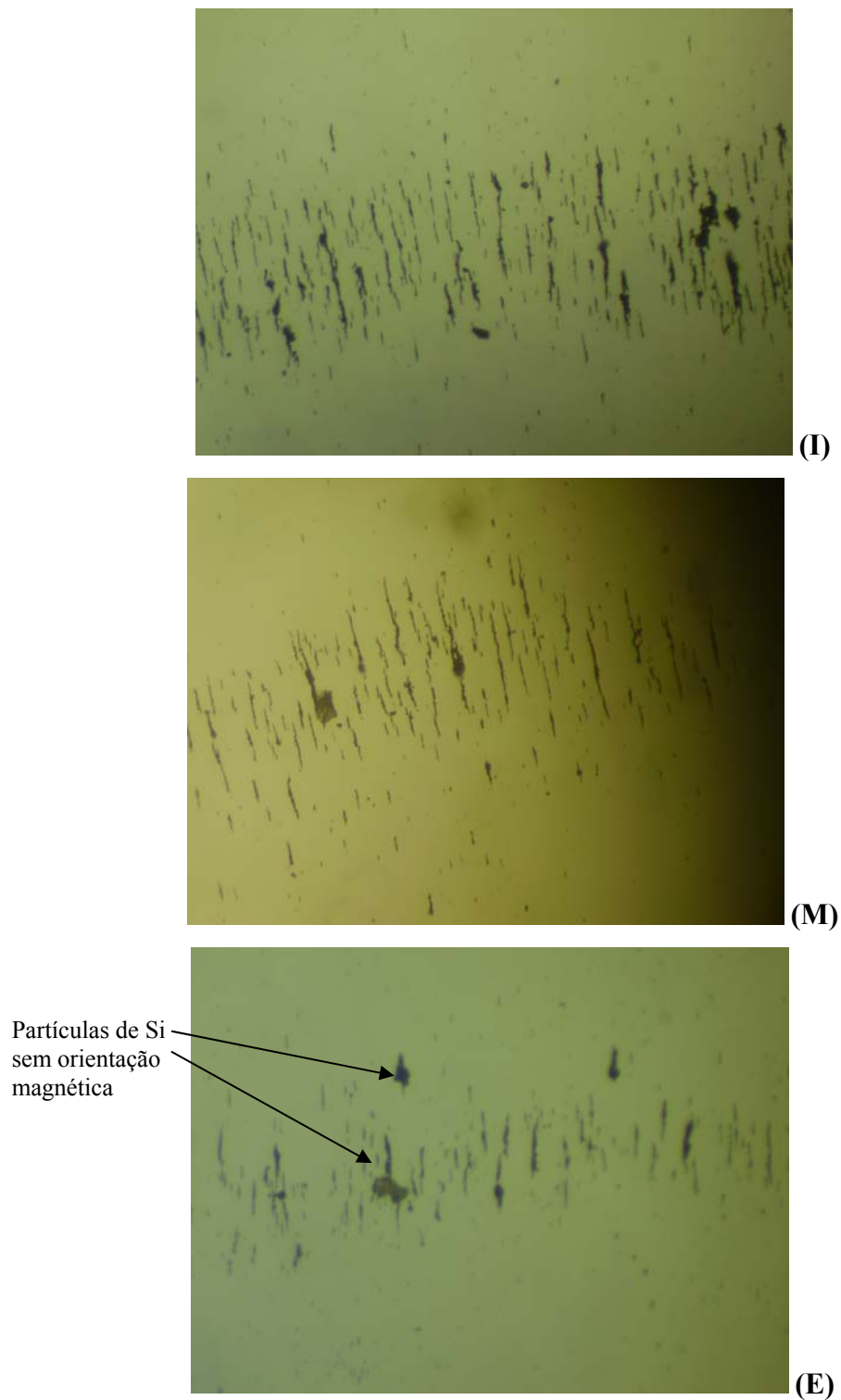


FIGURA 5. 14 - Partículas de desgaste presentes no óleo TIVELA S 320 do motor Briggs & Stratton. Luz Transmitida. (I) anel interno, (M) anel intermediário, e (E) anel externo

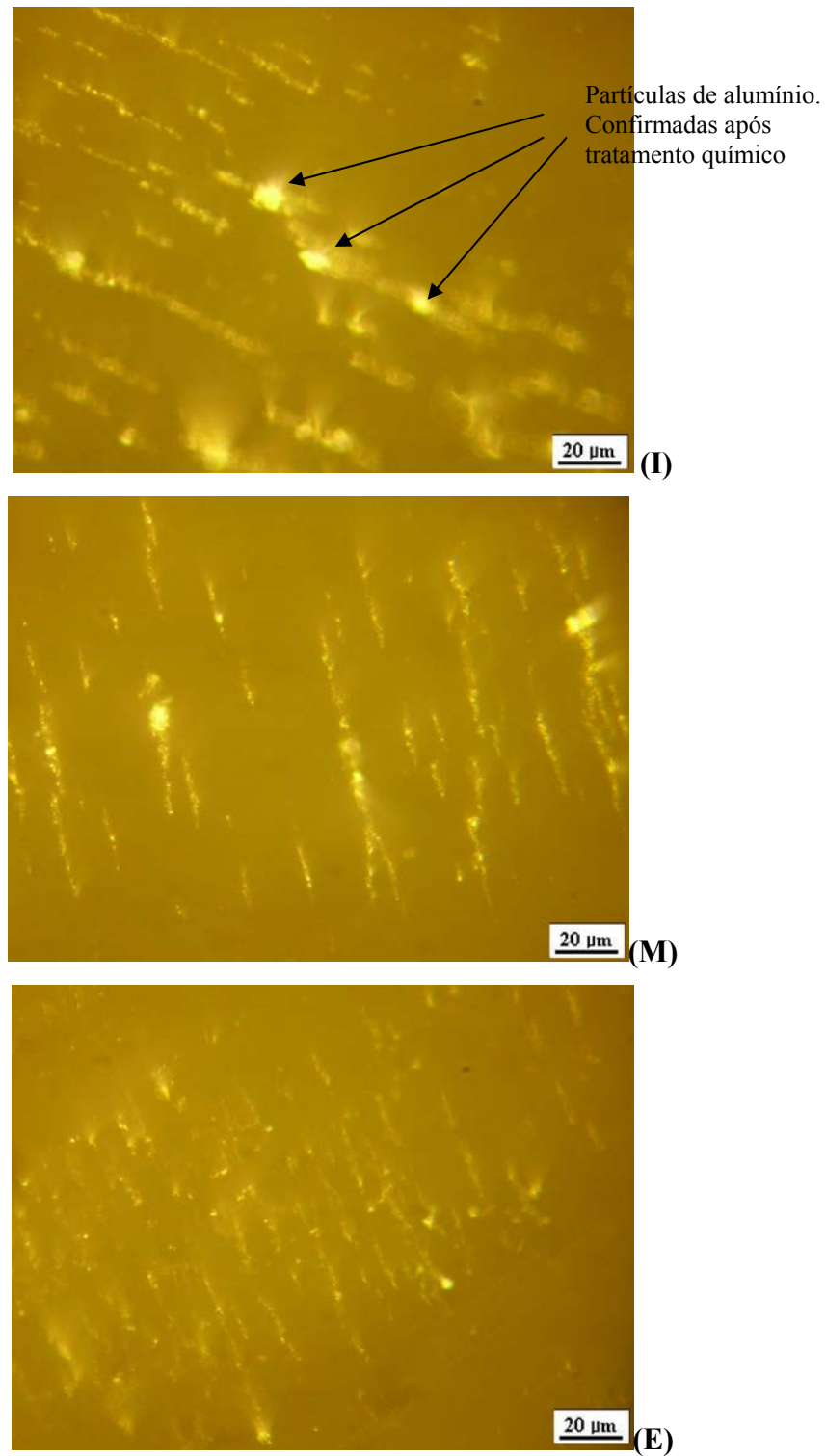


FIGURA 5. 15 - Partículas de desgaste presentes no óleo TIVELA S 320 do motor Briggs & Stratton. Luz Refletida. (I) anel interno, (M) anel intermediário, e (E) anel externo

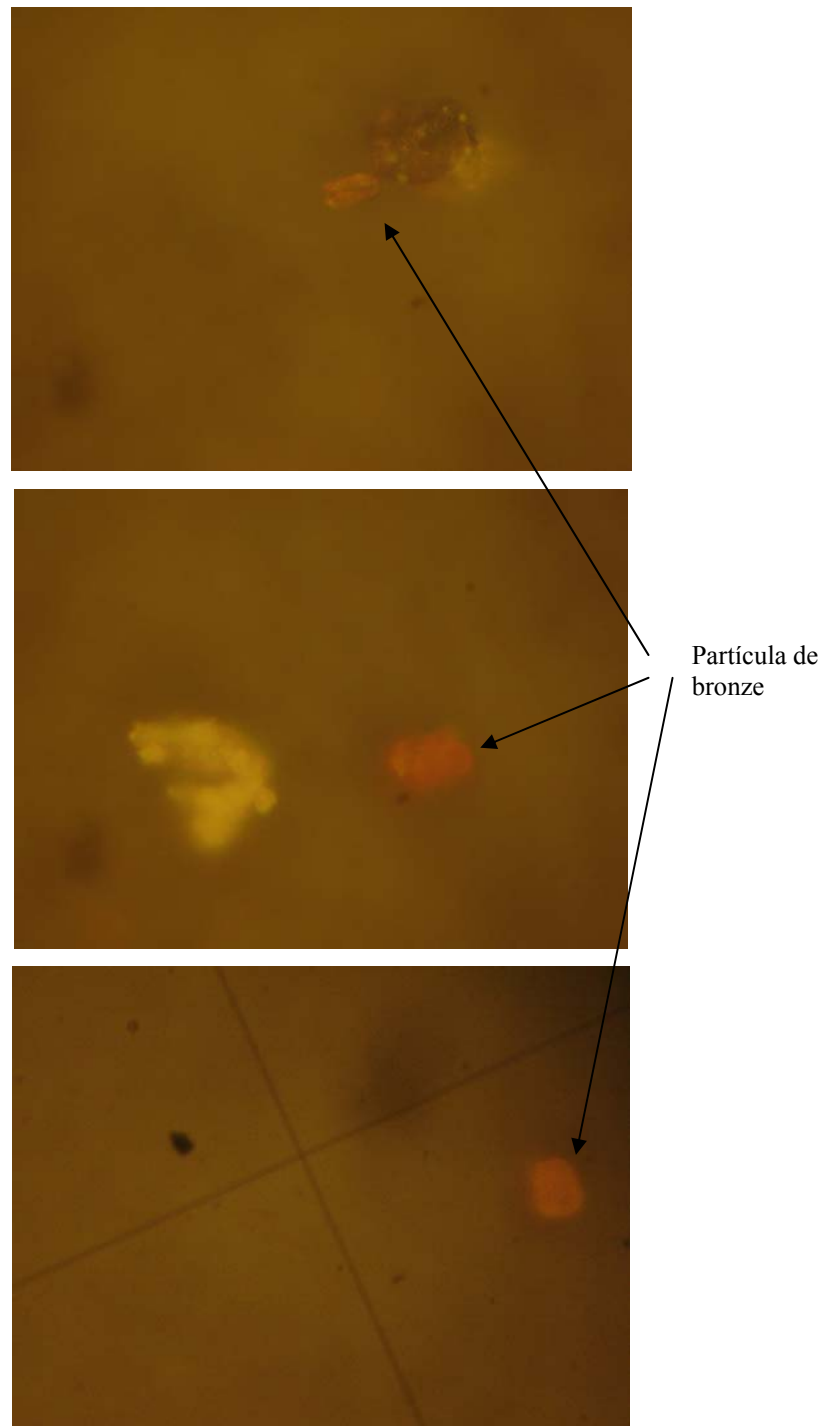


FIGURA 5. 16 - Partículas de desgaste presentes no óleo TIVELA S 320 do motor Briggs & Stratton.Filtragem em membrana.

TABELA 5. 28 - Valores obtidos através da absorção atômica do óleo usado TIVELA S320 do motor Briggs & Strattor (ppm)

Cu	Si	Al	Fe	Pb	Cr	Ni
0	43	4	22	5	0	0

TABELA 5. 29 - Contagem de Partículas, porcentagem de água e número de ácidos totais do óleo usado TIVELA S150 do motor Briggs & Strattor

ISO 4406	% água	TAN
23/22/21	0,00	1,46

TABELA 5. 30 – Viscosidades, ponto de fulgor e Índice de Partículas Magnéticas do óleo usado TIVELA S320 do motor Briggs & Strattor

Viscosidade cinemática a 40 ⁰ C (cSt)	Viscosidade cinemática a 100 ⁰ C (cSt)	PQ	Ponto de fulgor (°C)
334,37	48,96	10	250

O consumo médio de combustível foi de 87,21 min/litro.

Capítulo 6

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Várias técnicas de manutenção preditiva têm sido aplicadas em motores de combustão interna. Estas técnicas são aplicadas no intuito de se conhecer e estabelecer uma metodologia que possa ser aplicada, na prática, na detecção e diagnoses das condições do motor.

Para verificação do desgaste no motor, optou-se por técnicas quantitativas e qualitativas como RPD, PQ, Análise espectrométrica, TAN e TBN, viscosidade, ponto de fulgor, filtragem em membrana e ferrografia analítica.

6.1 – MOTOR MONTGOMERY

Não é possível analisar a tendência deste motor pois o mesmo foi ensaiado já em estado avançado de deterioração.

A viscosidade do óleo SAE 40 SF para o motor Montgomery (Tabela 5.3) diminuiu bastante em relação ao motor Briggs & Stratton (Tabela 5.6). Isto se deveu a maior contaminação do primeiro motor com o combustível que foi observado através do odor e através da diminuição do Ponto de Fulgor de 262 (Tabela 4.4) para 240 (Tabela 5.3).

O desgaste observado no primeiro motor, verificado através do alto teor de Si, Al, Fe, Cr (Tabela 5.1) e PQ (Tabela 5.3) foi ocasionado devido as condições desfavoráveis do motor. A Figura 5.4 mostra o estado do motor após realização dos testes.

O TBN (Tabela 5.2) caiu bastante indicando uma rápida deterioração do lubrificante com conseqüente perdas das propriedades de anulação dos ácidos formados durante a combustão.

A contagem de partículas (Tabela 5.2) apresenta valores elevadíssimos.

Pela ferrografia não se pode observar grande diferença entre as partículas geradas neste motor e no Briggs & Stratton.

6.2 – MOTOR BRIGGS & STRATTON

Os desgastes foram maiores com os óleos SAE 40 SF (Tabela 5.4) e SAE 30 SH (Tabela 5.7) em comparação aos óleos Tivela S 150 (Tabela 5.10) e Tivela S 320 (Tabela 5.13).

Os óleos Tivelas S proporcionaram economia de combustível em relação aos SAE.

A viscosidade do óleo SAE 40 SF para este motor (Tabela 5.6) diminuiu consideravelmente em relação ao óleo sem uso (Tabela 4.4). Isto indica uma contaminação por combustível que foi observado através da diminuição do Ponto de Fulgor (Tabela 4.4) de 262 para 250 (Tabela 5.6).

As partículas geradas nos dois motores foram pequenas e de difícil focalização pela ferrografia devido a baixa solicitação que os mesmos estavam submetidos. Não conseguiu-se focalizar partículas de alumínio que a absorção atômica detectou.

A grande quantidade de Si nas amostras indicam a má vedação do sistema que possibilitou a entrada de poeira no interior dos motores.

Os óleos Tivela S geraram menores desgastes, isto é, menor quantidade de partículas geradas conforme observado pela absorção atômica e pela ferrografia, sendo que o Tivela S 150 (Figura 5.11 e Tabela 5.10) apresentou o menor desgaste de todos.

A Figura 5.12 indicou a presença de partículas de cobre não detectadas pela absorção atômica (Tabela 5.10). Pelo tamanho das partículas de Cu observadas verifica-se que são partículas maiores que 10 μm e portanto não detectadas pela absorção atômica.

Capítulo 7

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O Número de informações coletadas, detalhadas e apresentadas neste trabalho , traz críticas e sugestões para que haja uma continuidade desta linha de pesquisa, ainda carente de desenvolvimento. As conclusões e recomendações do presente trabalho resumem-se nas seguintes:

7.1. CONCLUSÕES

◆ Da Revisão Bibliográfica

- ⇒ Para se ter uma manutenção preditiva, em motores de combustão interna, é necessário o completo conhecimento das características destes motores.
- ⇒ Apenas pela ferrografia necessitar-se ia de uma profunda experiência do analista para se executar a manutenção preditiva em motores de combustão interna.
- ⇒ A falha do motor e de seus elementos críticos devem ser corretamente prognosticados através da ferrografia aliadas a outras técnicas e não apenas em uma única.

- ⇒ A espectroscopia dá resultados precisos, porém seus resultados gerais são menos confiáveis devido à limitação da sensibilidade à partículas grandes.
- ⇒ Frente aos novos desenhos de motores de combustão interna, tem se desenvolvido novos tipos de ensaios sobre lubrificantes.
- ⇒ A realização de ensaios em bancos compostos de motores e combustão interna para avaliação dos lubrificantes tem hoje em dia enfrentado vários problemas como alto custo e falta de peças de reposição.
- ⇒ As partículas que podemos encontrar em um lubrificante são: partículas metálicas, de óxidos metálicos, pó da atmosfera, combustível, água, matéria oriunda da queima do combustível, ácidos provenientes dos gases de combustão e da própria oxidação do lubrificante.

◆ Dos Experimentos

- ⇒ O método da ferrografia, através do RPD, não foi suficiente na detecção do desempenho e característica geral do motor. Necessitou-se de outras técnicas auxiliares.
- ⇒ O método RPD, embora um pouco deficiente na detecção de materiais não ferrosos, tem uma grande vantagem na detecção quantitativa sem exigência de profunda experiência do analista, uma vez que o problema mais significativo de um motor de combustão interna é o desgaste da camisa do cilindro.

- ⇒ A utilização do RPD com a filtração em membrana encarece muito o processo e, portanto, não é recomendado.
- ⇒ A utilização do RPD em conjunto com o PQ torna mais econômicas as análises.
- ⇒ A diminuição da viscosidade não implicou necessariamente em menor consumo de combustível no motor analisado.
- ⇒ Um motor no estado avançado de deterioração não implica que se desgastará mais (gerará maior número de partículas) em relação a um motor novo. Daí a necessidade de outras técnicas de manutenção preditiva além da pura e simples contagem de partículas, ou da ferrografia analítica.
- ⇒ Apenas pelo ensaio de viscosidade do motor Montgomery já daria para condenar a continuidade da utilização do motor pois a mesma diminuiu cerca de 40%.
- ⇒ Apenas pelo ensaio do TBN do motor Montgomery já se daria para condenar a continuidade da utilização do motor pois o lubrificante já teria perdido a capacidade de anular os efeitos dos ácidos formados durante a combustão.
- ⇒ Pela análise ferrográfica não se observou grandes diferenças entre os resultados obtidos nos dois motores, pois mesmo o motor Montgomery estando em estado avançado de deterioração, ele não estava muito solicitado durante os experimentos.

- ⇒ A análise ferrográfica com microscópio óptico tornou difícil a especificação das partículas. O uso de um microscópio bi-cromático tornará estas especificações bem mais fáceis.
- ⇒ Embora o RPD seja de média eficácia na detecção de partículas não ferrosas e não metálicas, a combinação com o PQ fornecesse grande vantagem em relação a absorção atômica quando se analisa um motor de combustão interna, pois a maior incidência de defeitos e problemas neste ocorre nas camisas dos cilindros que contêm ferro na sua composição.

7.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os conhecimentos adquiridos durante o trabalho levaram a sugestões para futuras linhas de pesquisas que não puderam ser implementadas a este, as quais são descritas:

- ⇒ Prolongamento do tempo de ensaio com estas mesmas variáveis;
- ⇒ Aplicação de um torque contrário à rotação do eixo de saída do redutor para causar condições mais severas de desgastes;
- ⇒ Contaminação do óleo com um material mais abrasivo como areia para causar condições mais severas de desgastes;
- ⇒ Contaminação do óleo com água, em várias porcentagens, para haver a corrosão das partes mecânicas do motor;
- ⇒ Comparação do desgaste de motores a diesel e biodiesel sob as mesmas condições de operação.
- ⇒ Verificação do efeito do prolongamento do tempo de utilização do lubrificante no desgaste do motor.

Capítulo 8

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – p –TB – 116. **Confiabilidade de Equipamentos e Componentes Eletrônicos: Termos Básicos e Definições**, 1975.
- ADITEQ, Manutenção Preditiva de Equipamentos Industriais, Definição, objetivos e Benefícios, <http://www.aditeq.com.br/preditiva.htm> (consultado em 12 de março de 2007, as 14:05 h)
- ANDERSON, A.; SWEENEY, A.; WILLIAMS G., “Quantitative Approaches to Decision Making”. **South Western College Publishing**, 1999, 9th Edition, p.666-671.
- ANON, Is there a reliable method of introducing a centrifugal pump predictive maintenance program? 6-11, **The Mc Nally Institute**, 1986. Internet: www.mcnallyinstitute.com/06-html/6-11.html.
- BARRACLOUGH, T. G.; SPERRING. T. P.; ROYLANCE, B. J.; NOWELL, T., “Generic-based Wear Debris Identification –on the first step towards morphological classification”. **In Proceeding of the International Conference on Condition Monitoring, Swansea**, 1999, p.525-538, Coxmore Publishing, Oxford.
- BORGES, N., W., N.; **Parâmetros de qualidade de lubrificantes e óleo de oliva através de espectrometria vibracional, calibração multivariada e seleção de variáveis**. Dissertação de Mestrado, Campinas, SP[s.n], 2005.

BORIN, A., Aplicação de Quimioterapia e Espectroscopia no Infravermelho no Controle de Qualidade de Lubrificantes. Departamento de Química. Dissertação de Mestrado. Unicamp, 2003.

CUNHA, R. C., **Análise do Estado de Conservação de um Redutor de Velocidade Através da Técnica de Partículas de Desgastes no Óleo Lubrificante Auxiliada pela Análise de Vibrações**, Ilha Solteira, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, FEIS, UNESP.

FITHC, J., The agony of diesel engine oil particle counts. Practing on oil analysis. March-april,, pg 2-5, 2005.

FYGUERO, A. , SIMÓN, J., “**Mantenimiento de Motores Diesel**”.Consejo de Estudios de Postgrado. Universidad de Los Andes. Mérida, 1997.

GEAHC, A.L., An automated approach to measuring fuel dilution in used engine oil, Condition Monitoring, International Conference on Condition Monitoring, Univesity of Wales, Swansea, U.K.,pg 532-542, 1994.

IPIRANGA. Apostila sobre Lubrificantes, Brasil, 2000, 44p.

ISHIBASHI, A., SUNAGAWA, Y., SONDADA, K., Performance os Used Engine Oil as Gear-Cutting Oil, Tribology Transactions, 47, pg. 272-2792004.

ISO 11171. “Hydraulic Fluid Power – Calibration of automatic particle counters for liquids”, 1999.

ISO 4406. “Hydraulic Fluid Power – Fluids – Method for coding the level of contamination by solid particles”, 1999.

JUNIOR, J.F. S., Monitoramento e avaliação da condição de um sistema propulsor aeronáutico através de técnicas de análise de partículas em óleos lubrificantes / José Farias dos Santos Júnior, Dissertação de Mestrado, Unesp- 95p,2006.

Kittiwake Developments Limited. “Automatic Ferrous Debris Monitor”. User Manual, Mar 2003.

KODALI, P., TRUHAN, J. J., RICHARDSON, D. E. (1999), **3rd Int. Conf. Filtration**, Southwest Research Institute.

LANTOS, F, LANTOS, J, LANTOS, E., "An Unusual Twist to the Blotter Test - The Lantos Method". Practicing Oil Analysis Magazine. July 2002

MIRSHAWAHA, V., “Manutenção Preditiva: Caminho para Zero Defeitos”, São Paulo, **Markon**, McGraw-Hill, 1991,317p.

MOUSA, M. Monitoring the wear of internal combustion engines, Faculty of Engineering, El-Minia University,. PN 61111, El-Minia, EGYPT, Industrial Production e Mechanical Technology, 2006.

MYSHKIN, N.K., KONG, H., GRIGOIEV, A. Y, YONN, E. S., The use of color in wear debris analysis. WEAR, 251, pas 1218-1226, 2001.

PETROBRAS. Apostila “Lubrificantes – Fundamentos e Aplicações”, Brasil, 1999, 148p.

PH Catálogo 08/2001. Boletim Técnico. O Controle do TAN de Lubrificantes, <http://phanalisesdeoleo.com.br>.

PLUNLEY, A. Lubricant Oil Consumption Effect on Diesel Exhaust Ash Emission Using a Sulfur Dioxide Tracer Technique and Thermogravimetry. Master in Science in Naval Architecture and Marine Engineering, 1998, US Coast Guard Academy., 131 p.

RAADMUIS, S., Machinery Health Monitoring Through Low Cost Maintenance Tribology Techniques. The Journal of KMITNB, Vol 15, N.2, Apr-Jun,2005.

RAGHAVAN, M., “Number And Dimensional Synthesis Of Independent Suspension Mechanisms”, **Mechanism And Machine Theory**, Vol. 8, pp. 1141-1153, 1996.

RUEDA, M., “Tutorial de Ferrografia Directa, Analisis de Elementos Presentes y Ferrografia Analítica”, Janeiro, 2005.

SAE – J- 300. Society of Automotive Engineers, dez, 1995. Especificações para Motores.

SCILLING, A. “Los aceites para motores y la lubricación de los motores”. Intreiciencia. Madrid, 1965.

VAHAOJA, P, Oil analysis in machine diagnostics Faculty of Science, Department of Chemistry, University of Oulu, P.O.Box 3000, FI-90014 University of Oulu, Finland, Department of Mechanical Engineering, University of Oulu, P.O.Box 4200, FI-90014 University of Oulu, Finland Acta Univ. Oul. A 458, 2006 Oulu, Finland.

WANG, J.C. and Cusano, C.M. (1995), **Predicting Lubricity of Low Sulfur Diesel Fuel**, SAE Tech. Paper No. 952564.

WANG, S.S., Engine oil condition sensor: method for establishing correlation with total acid number. Sensor and Actuators , B86, 2002, pags 122-126, Elsevier.

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

YOSHIMURA, T. AND EDOKORO, K, "An Active Suspension Model for Rail/Vehicle Systems With Preview and Stochastic Optimal Control", **Journal of Sound and Vibrations**, Vol. 166, pp. 507 – 519, 1993.

YVE, C.; BUTSUEN,T. AND HEDRICK, J.K.,; “Alternative Control Laws For Automotive Active Suspensions”, **ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control**, 111, 2, pp286-291, 1989.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)